MANUAL DO PROFESSOR

SER PROTAGONISTA

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

FÍSICA

Área do conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias
Componente curricular:
Física

ENSINO MÉDIO

VOLUME ÚNICO

ANA FUKUI
MADSON MOLINA
VENERANDO SANTIAGO
DE OLIVEIRA (VENÊ)

Editor responsável: **André Zamboni**
Organizadora: **SM Educação**

Obra coletiva concebida,
desenvolvida e produzida
por SM Educação.

sm

MANUAL DO PROFESSOR

SER PROTAGONISTA

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

FÍSICA

Área do conhecimento:
Ciências da Natureza
e suas Tecnologias
Componente curricular:
Física

ENSINO MÉDIO

VOLUME ÚNICO

ANA FUKUI

Licenciada em Física pela Universidade de São Paulo (USP).
Mestra em Ciências - Ensino de Física pela USP.
Doutora em Linguística Aplicada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos).
Atuou como professora de Física em escolas das redes pública e particular de ensino e em projetos de formação de professores.
Pesquisadora em Comunicação da Ciência.

MADSON MOLINA

Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP.
Licenciado em Ensino de Física pela Universidade Católica de Brasília (UCB).
Licenciado em Pedagogia pela Universidade Cruzeiro do Sul.
Professor de Física em escolas da rede particular de ensino.

VENERANDO SANTIAGO DE OLIVEIRA (VENÊ)

Bacharel e licenciado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).
Especialista em Neurociências pela Universidade Federal de São Paulo (Unifesp).
Professor de Física em escolas das redes pública e particular de ensino e em curso pré-vestibular.
Pesquisador em novas metodologias e mídias para o ensino de Física, Astronomia e Ciências da Natureza.
Autor de diversos materiais em divulgação científica e ensino de Física.

Editor responsável:

ANDRÉ ZAMBONI

Licenciado em Ciências Biológicas pela Unicamp.
Especialista em Jornalismo Científico pela Unicamp.
Editor de livros didáticos.

Organizadora: **SM Educação**
Obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por SM Educação.
São Paulo, 1ª edição, 2024

Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias – Física

© SM Educação
Todos os direitos reservados

Direção editorial André Monteiro
Gerência editorial Lia Monguilhott Bezerra
Coordenação editorial André Zamboni
Edição executiva André Zamboni
Edição Mauro Faro (coord.), Daneele Saraçol Tusnski, Luciana Maria Garcia, Marcelo de Hollanda Wolff, Marcelo Augusto Barbosa Medeiros
Colaboração técnico-pedagógica Izael Araújo Lima, Camila Rufino de Souza Correa dos Santos, Marcio Guilherme Bronzato de Avellar, Matheus Veronez, Vivian Vieira
Suporte editorial Camila Alves Batista, Fernanda de Araújo Fortunato
Coordenação de preparação e revisão Cláudia Rodrigues do Espírito Santo
Preparação: Ana Paula Migiyama, Eliane de Abreu Santoro, Vera Lúcia Rocha
Revisão: Alexander Barutti Azevedo, Ana Paula Migiyama, Eliane de Abreu Santoro, Vera Lúcia Rocha, Waldeli Azevedo
Apoio de equipe: Camila Lamin Lessa, Matheus Sousa Costa
Coordenação de *design* Gilciane Munhoz
***Design*:** Paula Maestro
Coordenação de arte Vitor Trevelin
Edição de arte: Danilo Neves Pereira, Viviane Ayumi Yonamine, Vivian Dumelle
Assistência de arte: Alexandre Francisco da Silva Pereira
Assistência de produção: Júlia Stacciarini Teixeira
Coordenação de iconografia Josiane Laurentino
Pesquisa iconográfica: Adriana Neves
Tratamento de imagem: Marcelo Casaro, Robson Mereu
Capa APIS Design
Ilustração de capa: Davi Augusto
Projeto gráfico APIS Design
Editoração eletrônica Grapho Editoração
Pré-impressão Américo Jesus, Mauro Moreira
Fabricação Alexander Maeda
Impressão

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Fukui, Ana
Ser protagonista ciências da natureza e suas tecnologias : física / Ana Fukui, Madson Molina, Venerando Santiago de Oliveira (Venê) ; organizadora SM Educação ; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por SM Educação ; editor responsável André Zamboni. -- 1. ed. -- São Paulo : Edições SM, 2024.

Componente curricular: Física.
Área do conhecimento: Ciências da natureza e suas tecnologias.
ISBN 978-85-418-3554-1 (aluno)
ISBN 978-85-418-3548-0 (professor)

1. Física (Ensino médio) I. Molina, Madson. II. Oliveira, Venerando Santiago de. III. Zamboni, André. IV. Título.

24-229710 CDD-530.7

Índices para catálogo sistemático:
1. Física : Ensino médio 530.7

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

1ª edição, 2024

SM Educação
Avenida Paulista, 1842 – 18º andar, cj. 185, 186 e 187 – Condomínio Cetenco Plaza
Bela Vista 01310-945 São Paulo SP Brasil
Tel. 11 2111-7400
atendimento@grupo-sm.com
www.grupo-sm.com/br

APRESENTAÇÃO

CARA ESTUDANTE, CARO ESTUDANTE,

Você já deve ter ouvido falar nas mídias e até mesmo discutido em rodas de conversa sobre temas como preservação e conservação ambiental, energia e suas aplicações no cotidiano, reações químicas, engenharia genética e tecnologias aplicadas ao estudo dos átomos. Esses são alguns temas do mundo contemporâneo relacionados às Ciências da Natureza, e conhecê-los nos possibilita compreender assuntos que fazem parte de nossa vida e refletir de modo mais consciente sobre o mundo em que vivemos.

Esta coleção traz os fascinantes conhecimentos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias em três volumes únicos: um volume de Biologia, um de Física e um de Química. Neste volume de Física, os conteúdos são apresentados de forma organizada, simples e direta, para fortalecer sua compreensão e ampliar sua visão de si e do mundo. Esperamos que esta obra colabore para aprimorar seu pensamento crítico e incentivar sua participação na sociedade, contribuindo para que se torne uma cidadã ou um cidadão mais consciente e atuante. Aproveite-a para questionar e questionar-se, aprofundando suas reflexões e motivando-se para a ação.

Acreditamos em seu protagonismo e em sua capacidade de buscar respostas e soluções para os desafios presentes e para os que ainda estão por vir. Temos confiança de que, por meio de sua atuação e de sua interação com o mundo, você desenvolverá as competências e as habilidades necessárias ao pleno exercício da cidadania no século XXI, seguindo caminhos coerentes com seu projeto de vida.

Bom trabalho!

Equipe editorial

CONHEÇA SEU LIVRO

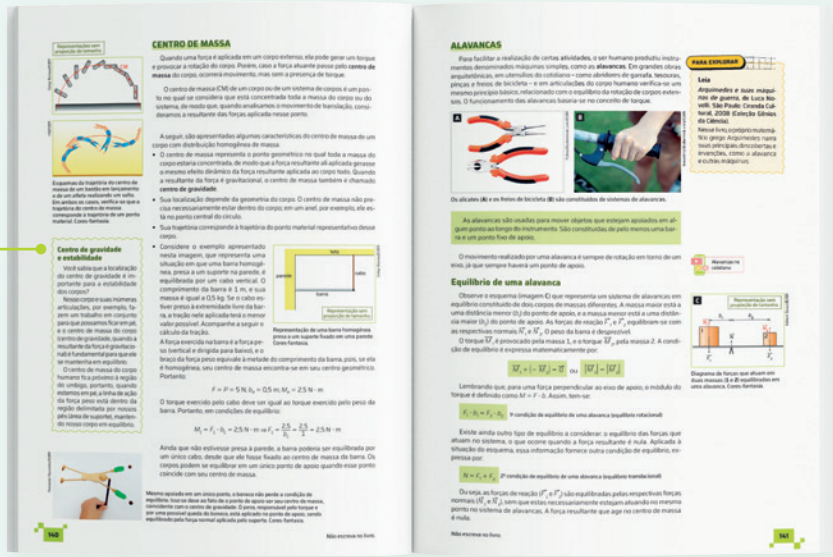
ABERTURAS

Abertura de unidade
A partir de um pequeno texto, perguntas e uma imagem impactante, você vai começar a refletir sobre o assunto da unidade; além disso, vai conhecer os objetivos que serão desenvolvidos ao longo da unidade.

Abertura de capítulo
Um texto e uma imagem abrem o capítulo, acompanhados de questões sobre o que você já sabe do tema em estudo.

APRESENTAÇÃO DOS CONTEÚDOS E BOXES

Ampliação
Boxe com informações que ampliam ou complementam o assunto.



Objeto digital
O ícone indica um objeto digital presente no livro digital.

Conteúdo apresentado de maneira organizada. Ilustrações, esquemas, fotografias e eventuais glossário e atividades resolvidas facilitam a compreensão do conteúdo.

Não escreva no livro.

O texto principal é complementado por boxes especiais, que aprofundam ou contextualizam o conteúdo.

Ação e cidadania
Apresenta exemplos de aplicações da ciência que promovem melhorias na vida das pessoas e no ambiente ou que se relacionam a direitos e deveres dos cidadãos.

AÇÃO E CIDADANIA

Poluição sonora

O controle dos níveis de ruído nos ambientes é uma preocupação da área da saúde. Dores de cabeça, irritação e até mesmo perdas auditivas podem ser consequências da poluição sonora, que se tornou crime ambiental com a Lei Federal n. 9605/1998.

PARA EXPLORAR

Acesse

Conheça a medicina nuclear

O *site* da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN) oferece respostas a várias perguntas comuns sobre a medicina nuclear.

Disponível em: https://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/. Acesso em: 25 set. 2024.

Para explorar
Traz indicações de *sites*, livros, filmes, entre outras, para você explorar o assunto.

Ciência se discute
Apresenta debates, conflitos e controvérsias entre a comunidade científica ou entre sociedade e ciência.

CIÊNCIA SE DISCUTE

A importância das mulheres nas Ciências

No passado, as restrições de acesso à educação para as mulheres não eram incomuns, e frequentemente elas eram proibidas de publicar artigos científicos. As mulheres precisaram lutar para quebrar re-

DE OLHO NO CONCEITO

A carga elementar

A carga elementar, cujo símbolo é *e*, recebe esse nome porque se refere à carga elétrica de prótons ($+e$) e elétrons ($-e$).

A determinação do valor de *e* foi realizada pelo físico estadunidense e ganhador do Prêmio Nobel Robert Millikan (1868-

De olho no conceito
Retoma e/ou define algum conceito importante para a compreensão do conteúdo.

Física e...
Explora tópicos que possibilitam um estudo interdisciplinar com os outros componentes das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ou com os componentes curriculares de outras áreas de conhecimento.

FÍSICA E FILOSOFIA

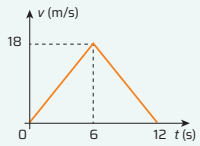
Terra: nosso lugar no Universo

Os filósofos foram os primeiros origem do Universo e da Terra e so do. Investigações na área da Físic também novas perguntas.

A Terra é um lugar. De forma algu te. Nem mesmo é um lugar típico. N galáxia pode ser considerado um lug

ROTEIRO

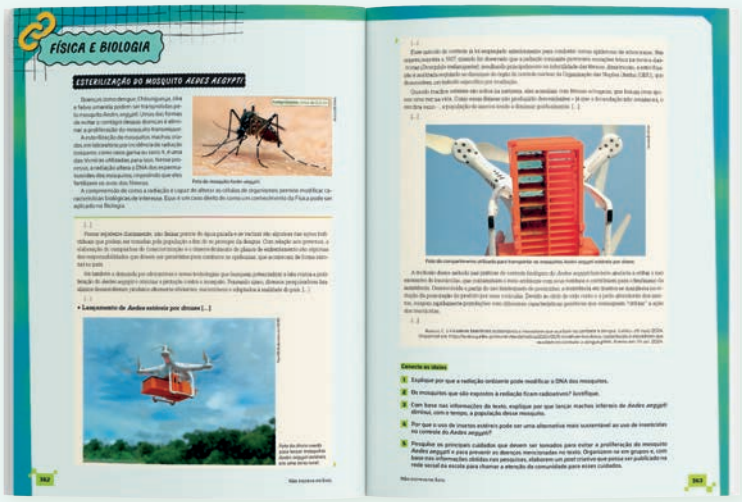
5. O gráfico a seguir mostra a velocidade de um automóvel em função do tempo. Analise o gráfico e faça o que se pede.



ID/BR

Roteiro
Propõe, ao longo dos capítulos, atividades que trabalham os conteúdos estudados.

APRESENTAÇÃO DOS CONTEÚDOS E BOXES

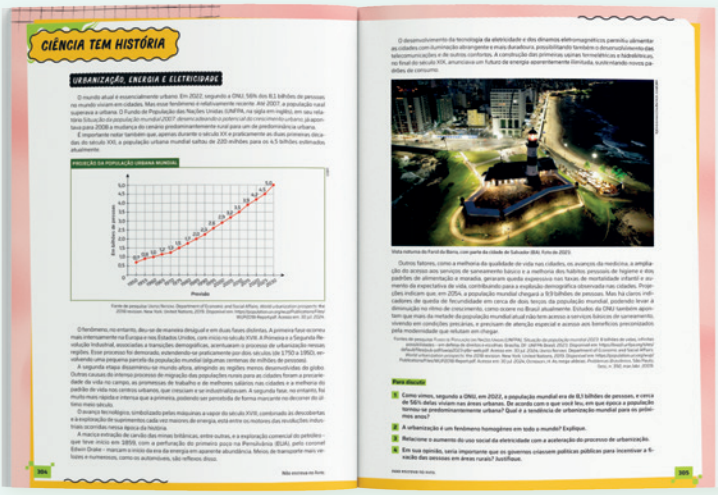


Física e...
Explora temas que possibilitam um estudo interdisciplinar com os outros componentes das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ou com os componentes curriculares de outras áreas de conhecimento.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente
Estimula a reflexão sobre ciência e tecnologia e suas implicações na sociedade e no ambiente.

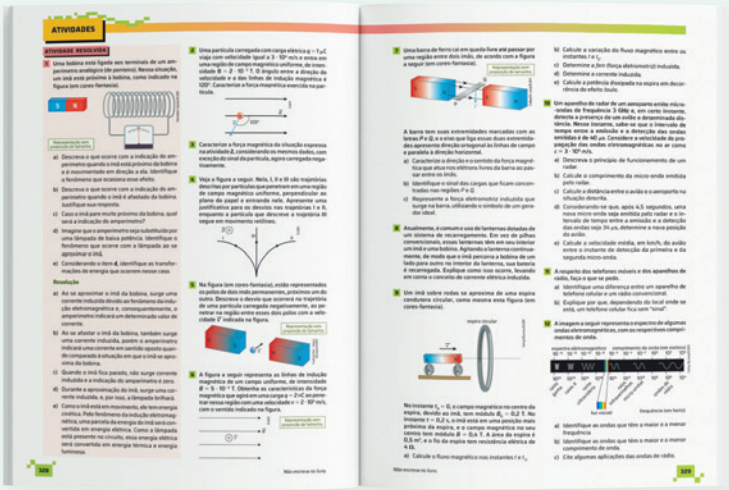
SEÇÕES DE CAPÍTULO

SEÇÕES DE CAPÍTULO



Ciência tem história

Apresenta e discute o contexto em que algumas ideias científicas foram construídas, estimulando a discussão e a reflexão.



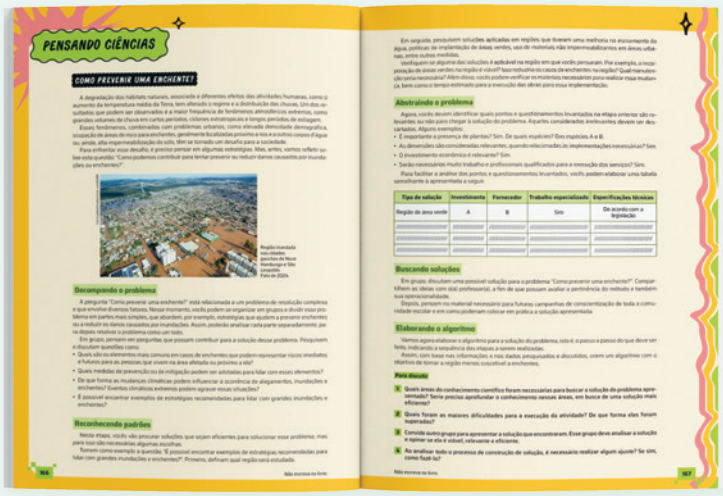
Atividades

Ao final dos capítulos, há um conjunto de atividades sobre os assuntos abordados. Pode incluir um exemplo de atividade resolvida.

Práticas de Ciências

Atividades práticas, experimentais e investigativas levam você a desenvolver as várias formas de investigação próprias da ciência.

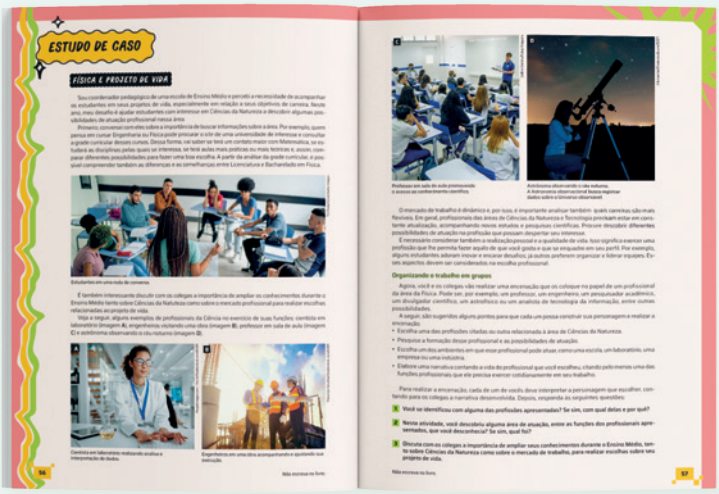
SEÇÕES DE FECHAMENTO DA UNIDADE



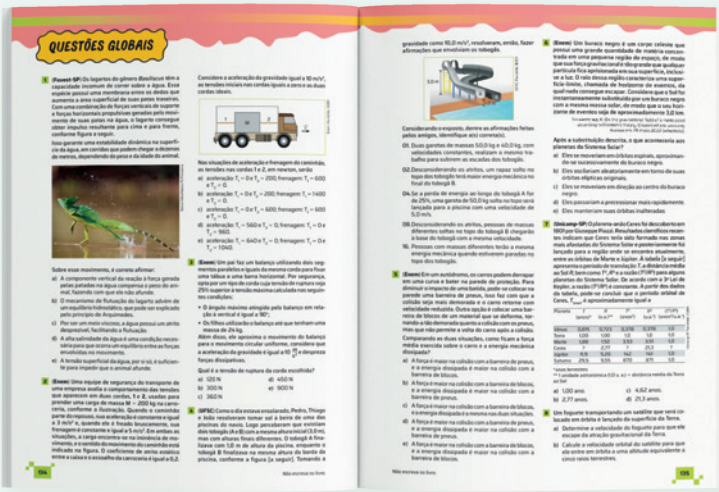
Pensando Ciências

Apresenta um problema / uma questão a ser solucionado(a) por meio da aplicação do pensamento computacional.

Não escreva no livro.

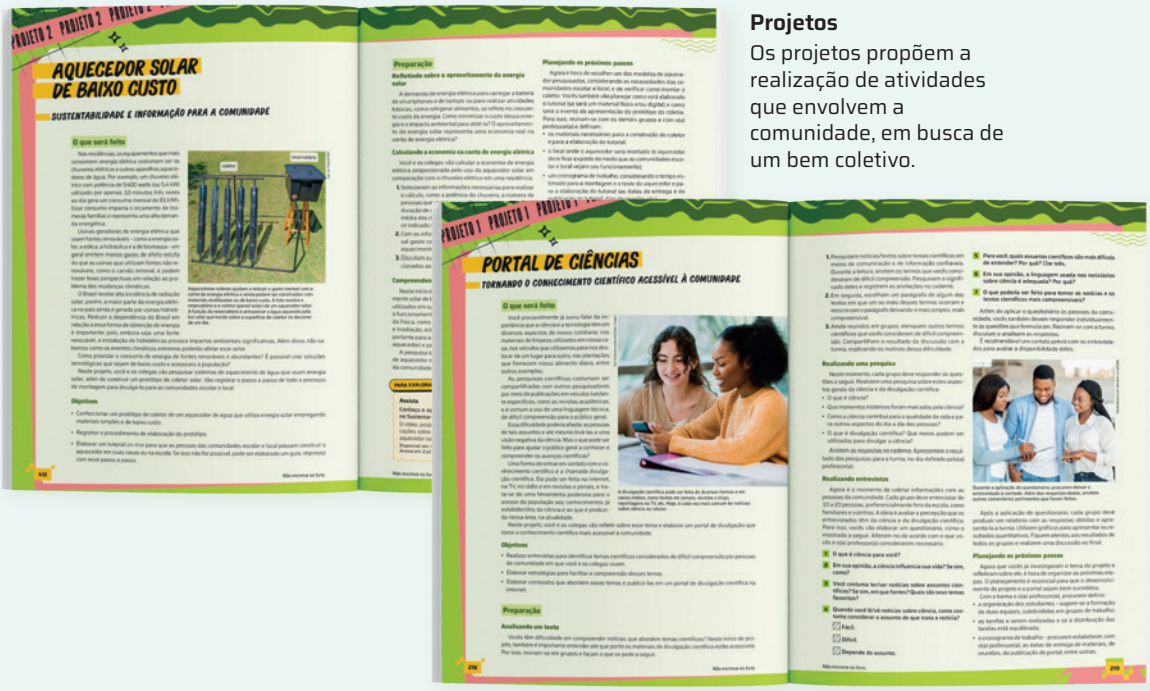


Estudo de caso
Texto narrativo em que uma personagem ou um narrador apresenta uma situação-problema, para que você e os colegas discutam e, em grupo, proponham uma solução e/ou interpretação para o caso.



Questões globais
Questões mais elaboradas e/ou atividades do Enem e de vestibulares do país para você se familiarizar com os exames de ingresso no Ensino Superior.

SEÇÕES DE FECHAMENTO DA UNIDADE



Projetos
Os projetos propõem a realização de atividades que envolvem a comunidade, em busca de um bem coletivo.

PROJETOS

SUMÁRIO

UNIDADE 1 — 12

FÍSICA E O ESTUDO DOS MOVIMENTOS

CAPÍTULO 1 **Física, ciência da natureza** ... 14
Ciências da Natureza ... 14
Ciência, tecnologia e ética ... 16
Ciência e religião na sociedade ... 17
Objeto digital – *Podcast*: Mulheres na ciência ... 17
Modelagem de fenômenos ... 18
Práticas de Ciências: Praticando o método científico ... 19
Ciência tem história: História do método científico ... 20
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Divulgação científica ... 21
Atividades ... 22

CAPÍTULO 2 **Medidas** ... 23
Medidas no dia a dia ... 23
A importância das medições ... 24
Grandezas físicas e medidas ... 25
Representações de medidas ... 26
Ciência tem história: Revolta do quebra-quilos: a obrigatoriedade do uso do quilo resultou em desavença e conflitos ... 29
Física e Biologia: Nanotecnologia e sociedade ... 30
Práticas de Ciências: Medindo volumes de corpos com forma irregular ... 32
Atividades ... 33

CAPÍTULO 3 **Cinemática escalar** ... 34
Estudo do movimento ... 34
Conceitos iniciais ... 35
Movimento uniforme (MU) ... 38
Movimento uniformemente variado (MUV) ... 43
Movimento circular ... 50
Práticas de Ciências: Investigação do movimento circular uniforme ... 53
Atividades ... 54

Estudo de caso: Física e projeto de vida ... 56
Questões globais ... 58

UNIDADE 2 — 62

DINÂMICA

CAPÍTULO 1 **Forças e leis de Newton** ... 64
Causas e alterações nos movimentos ... 64
Interações e forças ... 65
Caracterização de uma força ... 66
A inércia e a primeira lei de Newton ... 67
O princípio fundamental da dinâmica e a segunda lei de Newton ... 69
Força peso ($\vec{P}$) ... 70
O princípio da ação e reação e a terceira lei de Newton ... 72
Força normal ($\vec{N}$) ... 73
Força de tração ($\vec{T}$) ou força tensora ... 73
Força de atrito ... 74
Aplicações das leis de Newton ... 76
Movimento no plano inclinado ... 78
Forças no movimento circular ... 81
Ciência tem história: A amplitude dos estudos de Newton ... 84
Práticas de Ciências: Coeficiente de atrito estático ... 85
Atividades ... 86

CAPÍTULO 2 **Energia e trabalho** ... 88
Usos comuns de energia e trabalho ... 88
A grandeza energia ... 89
Tipos de energia ... 90
Trabalho de uma força constante ... 91
Trabalho de uma força variável ... 92
Energia cinética ... 94
Energia potencial e forças conservativas ... 95
Energia mecânica ... 96
Sistemas não conservativos e forças dissipativas ... 97
Potência e rendimento ... 98
Práticas de Ciências: Construindo uma roda-d'água ... 101
Atividades ... 102

CAPÍTULO 3 **Impulso e colisões** ... 104
Quantidade de movimento ... 104
Princípio da conservação da quantidade de movimento ... 105
Outro enunciado da segunda lei de Newton ... 106
Energia em colisões ... 109
Práticas de Ciências: Colisões intrigantes ... 111
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Segurança nas estradas ... 112
Ciência tem história: A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2? ... 113
Atividades ... 114

CAPÍTULO 4 **Bases da Mecânica celeste** ... 115
A evolução dos modelos cosmológicos ... 115
Os primeiros modelos cosmológicos ... 116
Objeto digital – *Podcast*: Astronomia indígena ... 118
Modelo aristotélico ... 118
Modelo ptolomaico ... 118

Não escreva no livro.

Modelo copernicano ... 119
Leis do movimento planetário ... 121
Práticas de Ciências: Exploração espacial virtual ... 123
Lei da gravitação universal ... 124
Movimento dos satélites artificiais ... 125
Ciência tem história: Brahe, Kepler e a órbita dos planetas ... 127
Física e Geografia: Detritos espaciais: um desafio para a geopolítica aeroespacial ... 128
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Como a Lua se formou? Cientistas mapeiam presença de hidrogênio na superfície lunar ... 130
Atividades ... 131
Pensando Ciências: Como saber se um carro é seguro? ... **132**
Questões globais ... **134**

UNIDADE 3 — 136
ESTÁTICA

CAPÍTULO 1 **Torque** ... **138**
Relação entre equilíbrio e força em corpos extensos ... 138
Torque ... 139
Relação entre o torque e a direção da força ... 139
Centro de massa ... 140
Alavancas ... 141
Objeto digital – Carrossel de imagens: Alavancas no cotidiano ... 141
Forças em uma alavanca ... 142
Práticas de Ciências: Alavancas no dia a dia ... 143
Atividades ... 144

CAPÍTULO 2 **Estudo dos fluidos** ... **145**
O que são fluidos ... 145
Grandezas básicas no estudo dos fluidos ... 146
Práticas de Ciências: Experimento sobre densidade ... 151
Princípios básicos no estudo dos fluidos ... 152
Alguns fenômenos que envolvem fluidos líquidos ... 160
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Embolia gasosa ... 161
Física e Educação Física: A física do futebol: efeito Magnus ... 162
Ciência tem história: A invenção do avião ... 164
Atividades ... 165
Pensando Ciências: Como prevenir uma enchente? ... **166**
Questões globais ... **168**

UNIDADE 4 — 170
FÍSICA TÉRMICA

CAPÍTULO 1 **Temperatura e calor** ... **172**
Calorimetria ... 172
Temperatura ... 173
Calor ... 173
Medidas de temperatura ... 176
Práticas de Ciências: Estimando o zero absoluto ... 178
Ciência tem história: As primeiras medições de calor ... 179
Atividades ... 180

CAPÍTULO 2 **Consequências do calor** ... **181**
O calor e a variação de temperatura ... 181
Capacidade térmica ... 182
Calor específico ... 182
Objeto digital – Infográfico clicável: Ilhas urbanas de calor ... 186
Calor latente ... 187
Equilíbrio térmico e mudanças de estado ... 188
Física e Geografia: Derretimento da geleira Thwaites e os eventos climáticos ... 190
Dilatação e contração térmica ... 192
Práticas de Ciências: Medindo as curvas de fusão e de solidificação do gelo ... 194
Atividades ... 195

CAPÍTULO 3 **Leis da Termodinâmica** ... **196**
Um pouco sobre a Termodinâmica ... 196
A Termodinâmica e a Revolução Industrial ... 197
Objeto digital – Vídeo: O surgimento do motor a vapor ... 197
A primeira lei da Termodinâmica ... 198
A segunda lei da Termodinâmica ... 201
Ciclo de Carnot ... 203
Entropia ... 204
Práticas de Ciências: Entropia ... 205
Máquinas térmicas ... 206
Combustíveis ... 209
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Carro elétrico: sua história é tão velha quanto o próprio automóvel ... 212
Atividades ... 213
Estudo de caso: Aquecimento global ... **214**
Questões globais ... **216**

PROJETO 1 — 218
Portal de Ciências: tornando o conhecimento científico acessível à comunidade

Não escreva no livro.

UNIDADE 5 — 222

LUZ, SOM E ONDAS

CAPÍTULO 1 Óptica ... **224**
Reflexão da luz ... 224
Modelos para a luz ... 225
Fontes de luz ... 225
Tipos de reflexão da luz ... 226
Espelhos ... 227
As cores dos objetos ... 230
Objeto digital – Carrossel de imagens: Tecnologia assistiva ... 230
Refração da luz ... 231
Práticas de Ciências: Determinação da distância focal de uma lente ... 233
Atividades ... 234

CAPÍTULO 2 Introdução às ondas ... **235**
Pulso e onda ... 235
Classificação e características das ondas ... 236
Práticas de Ciências: Fazendo onda ... 240
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Terremotos: eventos raros no Brasil ... 241
Ondas sonoras ... 242
Qualidades fisiológicas do som ... 243
Física e Biologia: Música e surdez ... 244
Objeto digital – Vídeo: Música para surdos ... 244
Atividades ... 246

CAPÍTULO 3 Fenômenos ondulatórios ... **247**
Estudo dos fenômenos ondulatórios ... 247
Compreendendo os fenômenos ondulatórios ... 248
Polarização da luz ... 250
Ressonância ... 251
Onda estacionária ... 253
Efeito Doppler ... 254
Ciência tem história: O rádio no mundo ... 255
Práticas de Ciências: Como determinar a velocidade da luz usando uma barra de chocolate ... 256
Atividades ... 257

Pensando Ciências: Como tornar a escola mais inclusiva e acessível? ... **258**
Questões globais ... **260**

UNIDADE 6 — 262

ELETRICIDADE E MAGNETISMO

CAPÍTULO 1 Força elétrica e campo elétrico ... **264**
Eletricidade ... 264
Introdução à força elétrica ... 265
Força elétrica ... 266
Campo elétrico ... 267
Energia potencial elétrica ... 268
Potencial elétrico ... 269
Práticas de Ciências: Interagindo com o campo elétrico ... 270
Atividades ... 271

CAPÍTULO 2 Corrente elétrica e circuitos elétricos ... **272**
Corrente elétrica e condutividade em metais ... 272
Resistência elétrica e a primeira lei de Ohm ... 274
Resistividade elétrica e a segunda lei de Ohm ... 275
Eletricidade, resistência e choques elétricos ... 276
Potência elétrica ... 277
Resistência elétrica e efeito Joule ... 278
Cálculo do consumo de energia elétrica ... 280
Associação de resistores ... 281
Práticas de Ciências: Associação de resistores ... 284
Circuitos residenciais ... 286
Geradores ... 287
Força eletromotriz ... 288
Práticas de Ciências: Leitura de uma "conta de luz" residencial ... 290
Física e Química: Baterias e pilhas ... 292
Atividades ... 294

CAPÍTULO 3 Produção e consumo de energia elétrica ... **296**
Transformações de energia ... 296
Energia ... 297
Usinas hidrelétricas ... 298
Objeto digital – Mapa clicável: O acesso à eletricidade no Brasil ... 298
O caminho da energia: das usinas às residências ... 300
O problema da escassez mundial de energia ... 302
Ciência tem história: Urbanização, energia e eletricidade ... 304
Práticas de Ciências: Construindo um minigerador eólico ... 306
Atividades ... 307

CAPÍTULO 4 Magnetismo e indução eletromagnética ... **310**
A importância das bússolas ... 310
Campo magnético ... 311
Objeto digital – Vídeo: Magnetorrecepção ... 311
Campo magnético de correntes elétricas em fios retilíneos ... 312
Força magnética ... 313
A descoberta da indução eletromagnética ... 316
Fluxo magnético ... 317
Práticas de Ciências: Freio eletromagnético ... 321
As ondas eletromagnéticas ... 322
O espectro eletromagnético ... 323
Computadores e Tecnologia da Informação (TI) ... 325
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Na memória: relembre a evolução dos dispositivos de armazenamento ... 326
Atividades ... 328

Não escreva no livro.

Estudo de caso: Que lâmpada você escolheria para sua casa? 330
Questões globais 332

UNIDADE 7 — 334
FÍSICA DO "MUITO PEQUENO"

CAPÍTULO 1 **Estrutura da matéria** 336
Modelos atômicos 336
O átomo contemporâneo 341
Práticas de Ciências: Investigando o espalhamento de Rutherford 342
Atividades 343

CAPÍTULO 2 **Física Quântica** 344
Fenômenos atômicos 344
O trabalho de Planck 345
O efeito fotoelétrico 346
Práticas de Ciências: Investigando o funcionamento de uma célula fotovoltaica 347
A dualidade onda-partícula 348
O princípio da incerteza 349
A descoberta do *spin* 350
A Física das partículas elementares 350
Objeto digital – Infográfico clicável: Sirius: acelerador de partículas brasileiro 351
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Iluminação LED: principais benefícios 353
Atividades 354

CAPÍTULO 3 **Física Nuclear** 355
Medicina nuclear 355
A descoberta da radioatividade 356
Ciência tem história: O Prêmio Nobel e Madame Curie 357
Decaimento radioativo 358
Efeitos biológicos da radiação ionizante 360
Práticas de Ciências: Explicando a radioatividade 361
Física e Biologia: Esterilização do mosquito *Aedes aegypti* 362
Alteração do núcleo atômico 364
Atividades 365
Pensando Ciências: É real ou ficção científica? 366
Questões globais 368

UNIDADE 8 — 370
FÍSICA DO "MUITO GRANDE"

CAPÍTULO 1 **Evolução da Terra** 372
A origem da Terra 372
A Terra primitiva 373
Os planetas do Sistema Solar 374
A estrutura da Terra 374
Práticas de Ciências: Desvendando a crosta terrestre 376
Atividades 377

CAPÍTULO 2 **Estrelas** 378
Céu noturno 378
Escala de distância cósmica 379
Práticas de Ciências: Tamanhos e distâncias no Sistema Solar 382
Classificação das estrelas 383
O destino das estrelas 385
Objeto digital – *Podcast*: Astronomia amadora 385
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente: Buraco negro 388
Física e Química: Química das estrelas 390
Atividades 392

CAPÍTULO 3 **Teoria da relatividade** 393
Espaço curvo 393
Contexto histórico-científico 394
Teoria da relatividade especial de Einstein 395
Teoria da relatividade geral de Einstein 396
Práticas de Ciências: Investigando a relação espaço-tempo e as simultaneidades 397
Ciência tem história: Há 100 anos, eclipse em Sobral pôs Einstein e teoria da Relatividade na história 398
Atividades 399

CAPÍTULO 4 **Modelo Cosmológico Padrão** 400
Universo em expansão 400
A geometria e a estrutura do Universo 401
A expansão do Universo 402
O Big Bang 403
Modelo Cosmológico Padrão – ΛCDM 405
Objeto digital – Infográfico clicável: Máquinas para exploração espacial 405
Práticas de Ciências: A lei de Hubble 406
Atividades 407
Estudo de caso: O Cruzeiro do Sul na cosmologia tupi-guarani 408
Questões globais 410

PROJETO 2 — 412
Aquecedor solar de baixo custo: sustentabilidade e informação para a comunidade

Respostas das atividades de cálculo 416
Transcrição dos áudios 420
Bibliografia comentada 424

Não escreva no livro.

FÍSICA E O ESTUDO DOS MOVIMENTOS

O estudo da ciência, especificamente da **Física**, estimula nossa capacidade de fazer perguntas, exercitando nossa criatividade e nosso raciocínio lógico. Somos instigados a compreender fenômenos naturais a ponto de conseguirmos prevê-los, recriá-los e aproveitá-los em benefício próprio.

Além das tecnologias, o estudo da Física, mais especificamente da Cinemática, pode ser aplicado para melhorar o desempenho em atividades físicas, como a corrida mostrada na imagem. Ele permite calcular o tempo de deslocamento e os intervalos necessários para atingir velocidades máximas, além de ajudar na criação de estratégias para completar um percurso em menor tempo .

Nesta unidade, vamos nos apropriar do pensar científico por meio do estudo do método científico e dos fundamentos do movimento, a **Cinemática**.

OBJETIVOS

- Identificar fenômenos e teorias elaboradas pelas áreas das Ciências Naturais e reconhecer em quais delas o conhecimento físico é estruturado.
- Reconhecer e apresentar exemplos da relação entre ciência e a tecnologia.
- Entender que ciência e religião, cada uma a seu modo, tentam compreender e interpretar o mundo.
- Reconhecer a importância do método científico.
- Identificar processos de medição em situações do cotidiano e a necessidade de precisão nas medidas.
- Compreender e utilizar adequadamente a notação científica e a normatização de unidades de medida definida pelo Sistema Internacional.
- Entender as aplicações da Cinemática para analisar e prever características de corpos em movimento, como posição, velocidade e aceleração.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Como a ciência influencia sua vida? Reflita sobre a tecnologia mostrada na imagem.**
2. **Você acredita que a compreensão da velocidade e da aceleração pode influenciar o desempenho de uma pessoa em uma corrida? Justifique.**
3. **Qual é a velocidade máxima que pessoas como a da imagem, que não são atletas profissionais, conseguem atingir?**

1, **2** e **3.** Veja respostas em *Respostas* e *comentários* no Manual do Professor.

Drs Producoes/iStock/Getty Images

Praticante de corrida utilizando um relógio inteligente. ▸

1

1 Física, ciência da natureza

2 Medidas

3 Cinemática escalar

CAPÍTULO 1

FÍSICA, CIÊNCIA DA NATUREZA

1. Respostas pessoais.

2. Os conhecimentos adquiridos na Física podem ser empregados em diversas áreas, como medicina diagnóstica (eletrocardiograma, ultrassonografia, ressonância magnética, etc.) e indústria aeroespacial (aviação civil comercial, desenvolvimento de satélites artificiais, etc.).

3. Respostas variáveis. Os estudantes podem optar por qualquer tema, desde que citem a aplicação prática da descoberta científica para a melhoria ou para o desenvolvimento de nossa sociedade.

PARA COMEÇAR

1. Você sabe qual é o objeto de estudo da Física? Explique.
2. Como a Física contribui para o desenvolvimento da sociedade?
3. Qual é a importância do trabalho de pesquisadores e cientistas nos diversos campos da ciência? Cite alguns exemplos.

CIÊNCIAS DA NATUREZA

O mundo natural e seus fenômenos sempre intrigaram o ser humano. A formação das nuvens e do arco-íris, a evaporação da água, os relâmpagos, a atração dos ímãs e o aparecimento de ferrugem em determinados objetos metálicos são alguns exemplos de **fenômenos naturais**.

As **Ciências da Natureza** (ou **Ciências Naturais**) são um campo do conhecimento que busca compreender os fenômenos que ocorrem na natureza, prever quando e como eles vão acontecer e também descobrir meios de controlá-los ou administrar seus efeitos. Os conhecimentos produzidos pelas Ciências Naturais são fundamentais para a exploração espacial, por exemplo, e também foram essenciais para a agricultura, que precisou da observação humana e do manejo de fenômenos naturais.

Arco-íris sobre as cataratas do Iguaçu, em Foz do Iguaçu (PR). Foto de 2023.

Lovelypeace/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

Três importantes áreas das Ciências Naturais

As Ciências Naturais são compostas de diversas áreas. A Biologia, a Química e a Física são algumas delas. Embora inúmeros fenômenos naturais sejam ou possam ser estudados simultaneamente por diferentes áreas, cada uma tem a própria maneira de observá-los e de interpretá-los.

- **Biologia** (*bio* vem do grego e significa "vida"). É a ciência que estuda a vida e seus processos. Seu campo envolve as características, as funções e o comportamento dos seres vivos, a origem e a evolução das espécies e a maneira como os indivíduos interagem uns com os outros e com o ambiente. A identificação de pessoas pelo exame de DNA, a clonagem de organismos, o desenvolvimento de vacinas e o controle de pragas agrícolas são exemplos de aplicação do conhecimento biológico.
- **Química** (do grego *chimia*, que significa "mistura"). É a ciência que estuda a matéria, sua composição, suas transformações e aplicações. Graças a esses conhecimentos, são criados e melhorados inúmeros produtos, como combustíveis, medicamentos, cosméticos, alimentos e insumos agrícolas.
- **Física** (do grego *physis*, que significa "natureza"). É a ciência que estuda a matéria e a energia que compõem o Universo, o movimento dos corpos, as interações entre os corpos e as consequências dessas interações.

Os fenômenos estudados pela Física abrangem todas as escalas de tamanho conhecidas: das partículas que compõem o átomo aos corpos celestes e ao Universo como um todo.

Muitas comodidades da vida moderna existem graças à aplicação do conhecimento produzido pela Física. Por exemplo: a obtenção e a distribuição da energia elétrica, que faz funcionar equipamentos domésticos, hospitalares e industriais; o desenvolvimento de diversos instrumentos empregados na medicina (como o aparelho de ressonância magnética, usado para diagnosticar doenças); a expansão das tecnologias de comunicação (com celulares, *tablets* e computadores); o aprimoramento dos meios de transporte (aviões, carros, motos, trens de alta velocidade), propiciando rapidez e economia de recursos nos deslocamentos.

As grandes áreas da Física

Para facilitar os estudos, a Física é tradicionalmente dividida de acordo com propriedades específicas dos fenômenos estudados.

Assim, a **Mecânica** é a parte da Física que estuda os fenômenos que envolvem movimento; a **Termodinâmica** estuda sistemas que, à custa de trocas de calor, conseguem produzir movimento, ou vice-versa; a **Óptica** trata dos fenômenos que envolvem a luz e a visão; o **Eletromagnetismo**, dos fenômenos relacionados à eletricidade e ao magnetismo; a **Ondulatória** estuda as ondas, ou seja, as perturbações que se propagam pelo espaço ou por um meio material, promovendo transporte de energia sem que ocorra transferência de matéria.

Outra abordagem comum do estudo da Física a divide em **Física Clássica**, que se baseia, por exemplo, nas leis de Newton e no eletromagnetismo para explicar alguns tipos de fenômeno, e **Física Moderna**, em referência ao conjunto de teorias formuladas no fim do século XIX e começo do século XX, com base nos trabalhos desenvolvidos pelos físicos alemães Max Planck (1858-1947) e Albert Einstein (1879-1955).

A Física Moderna abrange desde o estudo de partículas microscópicas até a vastidão do Universo e subdivide-se em duas grandes áreas: a **Mecânica Quântica**, que foca no estudo de eventos que ocorrem nas escalas atômica e subatômica, e a **Relatividade**, cuja aplicação encontra-se no estudo dos movimentos com velocidades próximas à da luz e no estudo dos astros e do Universo.

ROTEIRO

1. Situações naturais podem ser observadas e descritas em diferentes aspectos pelas diversas áreas da ciência. O exemplo a seguir mostra, do ponto de vista da Biologia, da Química e da Física, a análise de um beija-flor suspenso no ar e se alimentando.

Jiri Hrebicek/iStock/Getty Images

Biologia
Análise da relação de interdependência entre a ave e a planta: enquanto o beija-flor obtém o néctar (seu alimento), também realiza a polinização, auxiliando na reprodução das plantas.
Química
Análise das transformações químicas dos alimentos ingeridos, que proporcionam a energia necessária à contração muscular do bater de asas do beija-flor.
Física
Análise do equilíbrio entre forças para que o beija-flor permaneça no ar na mesma posição.

Escolha um fenômeno natural e, seguindo o exemplo apresentado, relacione análises que possam ser feitas do ponto de vista dessas áreas para compreendê-lo.

1. Resposta pessoal. As opções são muitas. Podem ser citados, por exemplo: processos de produção e consumo de energia em diferentes espaços, desde uma cidade até uma cadeia alimentar na natureza; preparação de alimentos na cozinha; ciclo do carbono na natureza.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem como o mercado de consumo é dinâmico devido ao rápido surgimento de novas tecnologias. Quando é lançada uma nova versão de um produto, geralmente, o preço da versão anterior diminui e as pessoas querem adquirir o produto mais atual.

Imago/Alamy/Fotoarena

Modelo de óculos com tecnologia assistiva capaz de transcrever a voz em textos, que são mostrados em suas lentes.

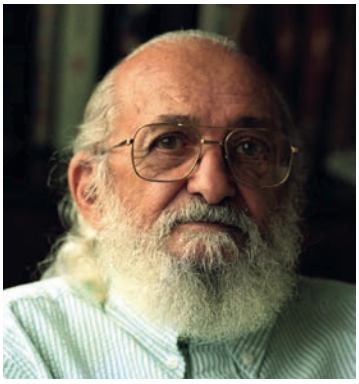
ROTEIRO

2. De modo geral, em todas as nossas atividades diárias, utilizamos algum tipo de tecnologia que foi desenvolvida a partir do conhecimento científico. Com base em suas experiências cotidianas, produza um texto sobre como as inovações científicas e tecnológicas influenciam o mercado de consumo.

Joá Souza/Shutterstock.com/ID/BR

Todo automóvel movido a combustível fóssil é poluente. Embora políticas ambientais tenham reduzido as emissões de poluentes dos modelos mais novos, eles continuam contribuindo para esse problema ambiental. Salvador (BA). Foto de 2024.

Bel Pedrosa/Folhapress



Paulo Reglus Neves Freire, educador e filósofo brasileiro. Foto de 1994.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ÉTICA

A **ciência** procura compreender a natureza e seus fenômenos. É comum que determinados fenômenos sejam descobertos e estudados sem que haja, necessariamente, uma aplicação prática imediata desse conhecimento.

Já a **tecnologia**, embora tenha muitas definições, pode ser entendida como a aplicação dos conhecimentos científicos no desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas, instrumentos e procedimentos. Nesse aspecto, é importante lembrar que muitos facilitadores da vida diária são produtos da tecnologia, como trens, ônibus, aviões, equipamentos utilizados em cirurgias robóticas, sistemas de geolocalização, computadores, internet e tecnologia assistiva.

A tecnologia utiliza conhecimentos científicos de diversas áreas. Por exemplo, a tecnologia agrícola pode depender de conhecimentos da Biologia, da Química e da Agronomia, ao passo que a tecnologia da informação geralmente se desenvolve com base em conhecimentos da Física e da Matemática.

Ciência e tecnologia fazem parte da cultura, mas precisam ser utilizadas com a consciência de que podem trazer benefícios ou prejuízos, dependendo de como são empregadas.

Muitas soluções tecnológicas podem acarretar problemas para a sociedade e para o meio ambiente. Um exemplo são os veículos automotores, que, embora facilitem a vida cotidiana, ao mesmo tempo contribuem para a poluição do ar e para as mudanças climáticas, pois, ao queimar combustíveis fósseis como gasolina, óleo *diesel* e querosene, liberam gases que intensificam o efeito estufa.

Por isso, toda inovação precisa ser muito bem analisada, discutida e avaliada, tanto por cientistas quanto pela sociedade, ponderando-se sua utilidade e suas implicações em médio e longo prazos.

A **ética** é um aspecto fundamental a ser considerado quando se trata de ciência e tecnologia. Muitas pessoas relacionam ética com moral, mas há grandes diferenças entre ambas. A ética independe de convenções; a moral, por sua vez, é variável, pois pode mudar com a época e a cultura de cada povo.

De acordo com o educador e filósofo brasileiro Paulo Freire (1921-1997), um dos nomes mais importantes da Pedagogia e reconhecido em todo o mundo, em seu livro *Pedagogia da autonomia*, a ética é sinônimo de decência. Resumidamente falando, a ética é a capacidade de viver bem com o outro, o que leva obrigatoriamente ao respeito dos limites entre direitos e deveres dos seres humanos como cidadãos. O estudo da ética se desenvolve no campo da Filosofia.

Desde o século XX, quando um grande número de descobertas científicas e avanços tecnológicos alteraram de maneira rápida e significativa o dia a dia das pessoas, surgiram debates sobre a ética na ciência. Esta é a questão mais recorrente: Como evitar que experimentos científicos e novas tecnologias coloquem em risco o bem-estar social e ambiental?

Esses debates ocorrem entre vários segmentos da sociedade (cientistas, jornalistas, estudantes, artistas, líderes religiosos, políticos, etc.). Alguns exemplos de questionamentos recentes: É válido ou não o desenvolvimento e o uso de organismos transgênicos para o aumento da oferta de alimento para a população mundial, considerando que tais organismos podem ser prejudiciais ao meio ambiente e que seus efeitos negativos para a saúde humana ainda não são totalmente conhecidos? É apropriado ou contraria o direito à vida o uso de células-tronco embrionárias para o tratamento de doenças? Como incentivar o desenvolvimento econômico de um país e, ao mesmo tempo, reduzir a emissão de gás carbônico (um gás de efeito estufa) pela queima de combustíveis fósseis pelas indústrias e pelos veículos automotores?

Esses são alguns exemplos que mostram como é importante que as pessoas estejam atentas às inovações tecnológicas e participem de alguma maneira dos debates que envolvem ciência, tecnologia e ética.

Não escreva no livro.

A importância do argumento ético

Embora nem sempre os argumentos éticos prevaleçam, debates sobre ciência e tecnologia merecem uma ponderação nesse sentido. Um exemplo de argumento ético que não foi levado em consideração e resultou em catástrofe para a humanidade foi a fabricação da bomba atômica. Em seus estudos, o cientista alemão Albert Einstein (1879-1955) demonstrou que teoricamente era possível usar a energia atômica, mas não imaginava que isso pudesse ser posto em prática para a fabricação de uma bomba. Com o início da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Einstein, em seu nome e em nome de vários físicos, escreveu uma carta ao presidente dos Estados Unidos, Franklin Roosevelt (1882-1945), expressando-lhe o temor de que os nazistas produzissem a bomba atômica. Esse alerta estimulou os Estados Unidos a agir rapidamente, a fim de produzir essa bomba primeiro. Coube novamente a Einstein fazer o pedido formal em nome da comunidade científica para que os Estados Unidos não lançassem a bomba sobre o Japão – a Alemanha já havia sido derrotada. Mas Roosevelt não teve tempo de ler essa carta, pois morreu repentinamente. Seu sucessor, Harry Truman (1884-1972), ignorou os pedidos e os argumentos de Einstein e autorizou o lançamento das bombas atômicas sobre as cidades de Hiroshima e Nagasaki.

Handout/Hiroshima Peace Memorial Museum/AFP

Foto da explosão da bomba atômica lançada pelos Estados Unidos sobre Hiroshima, em 6 de agosto de 1945. Três dias depois, outra bomba atômica foi lançada sobre Nagasaki. As duas cidades japonesas foram arrasadas, e centenas de milhares de civis foram mortos, incluindo crianças e idosos.

CIÊNCIA E RELIGIÃO NA SOCIEDADE

De modo geral, quando a sociedade debate os papéis da ciência e da religião, surgem muitas discussões a respeito do modo como cada uma dessas áreas interpreta a realidade. Essas discussões – que também aparecem em estudos da Filosofia, da Teologia e da Sociologia, por exemplo – não fazem parte do desenvolvimento deste livro, mas faremos uma breve apresentação de algumas diferenças e semelhanças entre essas duas atividades humanas.

A **ciência** (do latim *scientia*, que significa "conhecimento") é um conjunto de saberes construídos historicamente (no decorrer dos séculos). Sua ferramenta de trabalho é o método científico, aplicado para investigar a natureza, fazer previsões e criar modelos que expliquem os fenômenos naturais.

A **religião** (palavra cuja origem se atribui ao latim *religare*, que significa "religar") engloba crenças, doutrinas e formas de pensamento fundamentadas, por exemplo, em conteúdos metafísicos, ou seja, além do mundo físico.

Embora ciência e religião tenham características que as tornam bastante distintas, existem aspectos comuns a ambas, como o fato de serem aplicadas para compreender e interpretar o mundo. Tanto que há cientistas que seguem uma religião e há religiosos interessados na ciência. Além disso, no pensamento científico pode haver crenças religiosas que influenciem as atividades de pesquisa.

Dogmatismo e ceticismo

Dogmatismo é a atitude de quem tem convicção absoluta sobre as próprias crenças, recusando-se a revê-las. **Ceticismo** é uma postura constante de questionamento e dúvida, que pode levar à conclusão de que não se deve crer em nada que seja metafísico e/ou religioso. Ambas as posturas podem ser consideradas manifestações extremas da capacidade crítica: o dogmatismo seria sua ausência e o ceticismo seria seu excesso. Contar com um sistema de crenças pode ser necessário para dar um sentido à vida e ajudar as pessoas a se orientar no mundo.

CIÊNCIA SE DISCUTE

A importância das mulheres nas Ciências

No passado, as restrições de acesso à educação para as mulheres não eram incomuns, e frequentemente elas eram proibidas de publicar artigos científicos. As mulheres precisaram lutar para quebrar regras e, mesmo depois de conquistarem mais acesso à educação, enfrentaram desafios, como falta de espaços de trabalho, de verbas e de reconhecimento.

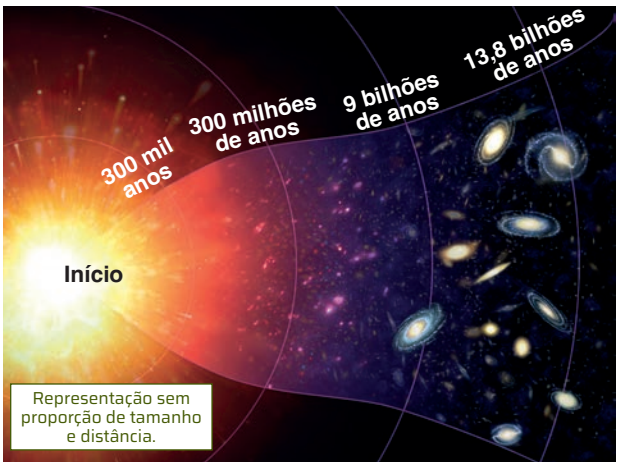
A cientista polonesa Marie Sklodowska Curie (1867-1934), por exemplo, conduziu suas pesquisas com elementos radioativos em condições precárias, em um galpão pequeno e empoeirado. Embora hoje seu nome seja reconhecido no campo da radioatividade, muitas outras mulheres não tiveram o devido reconhecimento e foram esquecidas.

Atualmente, esse panorama está mudando, mas ainda há muito a ser feito para que a contribuição das mulheres nas Ciências seja plenamente reconhecida.

1. **Reúna-se com um colega para discutir a importância do avanço da participação feminina nas áreas das Ciências, identificando possíveis obstáculos que ainda precisam ser superados.**

Mulheres na ciência

1. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes reflitam sobre o papel fundamental exercido pelas mulheres nas áreas das Ciências e sobre a importância de promover, de forma igualitária, o acesso, a participação e o reconhecimento de todos, independentemente do gênero.



Mark Garlick/SPL/Fotoarena

Ilustração que representa a ideia da teoria do Big Bang. Cores-fantasia.

MODELAGEM DE FENÔMENOS

De maneira geral, chamamos de **modelo** uma representação de uma ideia que visa torná-la mais compreensível.

Do ponto de vista científico, o termo "modelo" refere-se a uma aproximação da realidade. Um exemplo é o modelo do Big Bang, segundo o qual o Universo surgiu há cerca de 13,8 bilhões de anos, a partir da expansão de um estado muito denso e quente, dando início ao processo de formação de todos os corpos celestes. O Big Bang é um modelo científico que foi desenvolvido por diversos pesquisadores com base em observações sobre a expansão do Universo, permitindo fazer previsões, com certo grau de segurança, sobre seu futuro nos próximos bilhões de ano, e continua a ser aprimorado.

Atualmente, é comum a utilização da palavra "modelagem" (elaboração de modelos) para designar a busca de modelos matemáticos. Alguns exemplos de fenômenos nas três áreas das Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia) que podem ser descritos por modelos são: crescimento populacional; demanda futura de energia elétrica de um país; disseminação de um vírus em determinada população; previsão do tempo; variação da temperatura e do pH da água dos oceanos; propagação de sinais elétricos em uma rede de neurônios.

Vários cientistas, das mais diversas áreas, desenvolvem modelos matemáticos para esses e muitos outros fenômenos, o que revela a importância do estudo de modelos matemáticos para o presente e o futuro das sociedades humanas.

DE OLHO NO CONCEITO

Hipótese e teoria científica

Hipótese científica é uma explicação inicial, baseada em fatos e raciocínio lógico, que busca esclarecer fenômeno ou situação e que pode ser testada e refutada. Teoria científica é uma explicação embasada e organizada de um fenômeno ou de uma situação e que já foi testada e verificada de acordo com o método científico.

Método científico

O conhecimento científico é construído com base em um conjunto de métodos e procedimentos, que podem não ser exatamente os mesmos para todas as ciências. Um dos arranjos procedimentais mais comuns na Física é o elencado a seguir. Esse método traz quatro etapas que podem ser generalizadas em:

I. Elaboração de um problema	II. Observação e coleta de dados	III. Análise dos dados e formulação de hipóteses	IV. Teste das hipóteses
O cientista identifica um tema, uma situação ou um evento a ser estudado.	O cientista observa o fenômeno ou faz experimentos que o recriam, a fim de coletar dados que o ajudem em sua análise.	Análise e interpretação de dados, usando conceitos físicos e expressões matemáticas para criar um modelo e formular hipóteses.	O cientista revê suas observações e refaz seus experimentos para validar seus resultados anteriores e sua hipótese.

O passo seguinte, a **divulgação dos resultados**, é a publicação de um artigo com a descrição do trabalho em alguma revista científica. Tão importante quanto as etapas anteriores, nesta o conhecimento científico é compartilhado e pode ser comprovado ou refutado por outros cientistas de todo o mundo.

PARA EXPLORAR

Leia

***O que é Física*, de Ernst W. Hamburger. São Paulo: Brasiliense, 1988.**

O físico nuclear brasileiro, fundador da área de pesquisa em ensino de Física no Brasil e defensor da popularização da ciência, descreve, em linguagem simples, o que é a Física, seus campos de atuação, sua maneira de pensar e seus grandes conceitos.

A Física como construção humana

A ideia de modelo é importante para que se compreenda a ciência como construção humana, ou seja, conhecimento construído pelo ser humano, para o ser humano e passível de transformações. Para ser considerado científico, ele deve passar por todas as etapas do método e ser aceito pela comunidade científica.

Nesse sentido, é importante compreender o conceito de **paradigma**, proposto pelo historiador de ciências estadunidense Thomas Kuhn (1922-1996), definido como um conjunto de conhecimentos que perduram por períodos relativamente longos e, muitas vezes, norteiam o desenvolvimento de pesquisas. Quando a explicação de um fenômeno rompe com esse conjunto de conhecimentos estabelecidos, o paradigma começa a ser questionado. Com isso, pode-se chegar ao que Kuhn chama de **quebra de paradigma**.

Não escreva no livro.

Praticando o método científico

Como podemos aplicar o método científico em uma atividade experimental? Nesta atividade, você e os colegas vão empregar a metodologia científica para investigar causas e elaborar e testar hipóteses tendo como base o fenômeno da flutuabilidade de corpos.

Historiasperiodicas/Shutterstock.com/ID/BR

O que determina se um objeto flutua ou afunda na água?

Material

- cubas de água transparentes
- água
- diferentes tipos de objeto (por exemplo: lápis, tubinho vazio de caneta, tampa de caneta, pedras, frutas, borracha, régua, pedaço de isopor, etc.)

Como fazer

1. Inicialmente, os estudantes devem se organizar em grupos, escolher um representante e se posicionar diante de uma cuba parcialmente preenchida com água, mantendo sobre a mesa ou bancada os diferentes objetos selecionados pelo grupo.
2. Cada estudante deve construir, no caderno, uma tabela para registrar as seguintes informações: nome do objeto, se ele afundou ou boiou e a hipótese proposta pelo grupo para explicar o que foi observado.
3. Em seguida, um estudante do grupo seleciona um dos objetos para colocar na água e pergunta aos demais integrantes se eles imaginam que tal objeto vai afundar ou boiar. O objeto é então colocado na água, e seu comportamento é observado (se afundou ou flutuou). Todos anotam esses dados em suas tabelas.
4. O grupo deve discutir e elaborar hipóteses para justificar o que foi observado. Uma vez que todos estejam de acordo com a hipótese elaborada, devem registrá-la na tabela.
5. Essa sequência de ações deve ser repetida para cada objeto.
6. Cada grupo deve então se reunir para responder a algumas perguntas sobre o resultado do experimento, como:

   Quais são as características (formato, massa, material, etc.) dos objetos que afundaram? E dos que flutuaram?

   Existe algo em comum entre os objetos que afundaram? E entre os que flutuaram?
7. Analisem os resultados e os comparem com as hipóteses propostas. Caso as hipóteses iniciais não tenham sido comprovadas no experimento, proponham novas hipóteses e outros experimentos que possam verificá-las.
8. Cada grupo deve apresentar suas conclusões para os outros grupos.

2. A primeira etapa (elaboração do problema) foi fornecida pelo enunciado da prática. A segunda etapa (observação do experimento) foi realizada nos itens **2** e **3**, ao mergulhar os objetos na água e registrar os resultados e as hipóteses. A terceira etapa do método (estudo dos dados e interpretação) foi realizada nos itens **4**, usa **5** e **6** ao responder às perguntas. A quarta etapa do método (replicação do experimento) foi realizada no item **7**, e a divulgação dos resultados, no item **8**.

Para concluir

1 **Escreva as conclusões sobre flutuabilidade a que seu grupo chegou e pesquise qual área da Física estuda esse fenômeno.** A resposta depende das conclusões de cada grupo. Espera-se que os estudantes compreendam que a flutuabilidade de um objeto depende de sua densidade e que a área da Física que estuda esse tipo de fenômeno é a Hidrostática.

2 **Observe os passos realizados no experimento e identifique as etapas do método científico.**

3 **Explique o que é uma hipótese usando como exemplo as hipóteses propostas nesta prática.** Uma hipótese é uma explicação baseada em argumentos e fatos que pode ser testada. Sobre a prática experimental, os estudantes podem citar algumas hipóteses que podem ter sido sugeridas, como a de que objetos com massa menor ou objetos menores flutuariam.

4 **Você utiliza o método científico, ou parte dele, em alguma ação do seu cotidiano? Por exemplo, usa para decidir o tempo que precisa para ir de um lugar a outro ou para escolher um alimento no supermercado ou restaurante? Em uma roda de conversa, compartilhe essa ação com os colegas, procurando identificar como você utiliza o método científico de forma intuitiva (como ao elaborar hipóteses e realizar testes).**

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem, por exemplo, que estimam o tempo de deslocamento quando vão a um lugar que não conhecem, propondo uma hipótese com base em distâncias semelhantes. Depois, podem fazer experimentos, como simulações no GPS.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

HISTÓRIA DO MÉTODO CIENTÍFICO

No mundo ocidental, o método científico como o conhecemos hoje começou a ser pensado e estabelecido ainda na Idade Média, que, ao contrário do que se difundiu por muito tempo, não foi uma era de obscurantismo absoluto. Muitos pensadores desse longo período histórico fizeram descobertas e elaboraram teorias que fundamentariam todo o conhecimento posterior. Por exemplo, Leonardo de Pisa, italiano também conhecido como Fibonacci (c. 1170-c. 1240), desenvolveu uma matemática voltada para problemas práticos. O inglês Guilherme de Ockham (ou Occam) (1284-1347) elaborou uma lógica fundamental nas ciências – que passou a ser conhecida como "navalha de Ockham" –, propondo que, se duas teorias explicam igualmente um fenômeno, a mais simples é provavelmente a mais correta. O alemão Johann Müller, também conhecido como Regiomontanus (1436-1476), estudou sistematicamente o céu e estabeleceu relações trigonométricas importantes.

No século XV, a Europa ingressou no período histórico conhecido como Renascimento, que marcou a transição das tradições medievais para a Idade Moderna (1453-1789).

Tony Mcconnell/SPL/Fotoarena

Escola de Atenas, de Rafael Sanzio (1483-1520). Afresco, 5 m × 7,7 m. Pintada entre 1509 e 1511, a obra retrata alguns dos grandes pensadores da Antiguidade, como Platão, Sócrates, Pitágoras e Ptolomeu.

O interesse pela expansão ultramarina deu novo fôlego ao desenvolvimento tecnológico. Os relatos de navegadores que traziam, de lugares distantes, práticas, objetos, plantas e animais até então desconhecidos dos europeus levantaram questionamentos sobre se esse "mundo novo" deveria ser explicado com base em concepções antigas ou se deveria ser estabelecido outro modo de fazer ciência.

Enquanto uma parte dos europeus se aventurava em expedições ousadas à procura de caminhos marítimos alternativos às rotas comerciais da época, outra parte se dedicava a traduzir ou a retraduzir, diretamente do grego e do latim clássicos, diversos escritos da cultura da Antiguidade. O pensamento do filósofo Aristóteles ditava basicamente as regras do céu e da terra, uma vez que suas concepções sobre o movimento dos corpos celestes e dos objetos eram tidas como certas. Quando suas previsões não se aproximavam da realidade, explicações complementares eram propostas para "salvar os fenômenos". A nova ciência, para romper com esse pensamento, deveria ser capaz de explicar, simultaneamente, tanto o conhecimento já estabelecido quanto a realidade que não se encaixasse nos modelos preexistentes. Seria impossível realizar tal tarefa sem o uso e o aprimoramento do método científico.

Francis Bacon (1561-1626) defendeu a ideia de que, para a ciência progredir, é necessário um grande número de experimentos, dos quais seja possível retirar novos axiomas, que, por sua vez, gerem novos experimentos. Galileu Galilei (1564-1642) contribuiu enormemente para a Mecânica e para a consolidação de um novo modelo de Universo, ao realizar experimentos e estudar o céu usando instrumentos por ele aprimorados. René Descartes (1596-1650) sistematizou regras e meios estritamente racionais para o método científico, por acreditar que assim se chegaria ao verdadeiro conhecimento.

A ciência foi então adquirindo uma forma mais estruturada de investigação e vocabulários próprios, que foram sendo empregados e reformulados à medida que as ideias necessitavam de transformação, dando origem a leis e modelos científicos estudados até hoje.

Para discutir

1 **Durante a discussão de um problema prático no laboratório de Física, dois estudantes argumentam e discordam sobre a possível solução. De acordo com o princípio da "navalha de Ockham", como o(a) professor(a) poderia orientar essa discussão?** De acordo com o princípio da "navalha de Ockham", o(a) professor(a) deve escolher a solução mais simples.

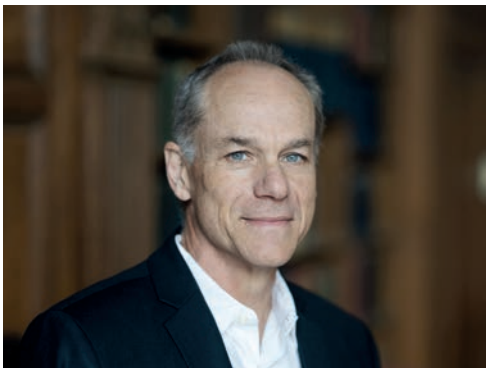
2 **O surgimento de um padrão de estudos e de vocabulário permitiu a construção de uma sociedade científica mais ampla. O que você entende por padrão de estudos e de vocabulário?**
Padrão é um modelo a ser seguido ou um exemplo a ser copiado, que pode se refletir no modo como alguém estuda ou adquire vocabulário.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A divulgação científica tem a finalidade de transmitir o conhecimento científico para todas as pessoas, sobretudo para as que estão fora do ambiente acadêmico. Leia, a seguir, um trecho de uma entrevista em que Marcelo Gleiser, um dos cientistas brasileiros que mais atuam com divulgação científica, comenta a importância social dessa atividade.



Eli Burakian/Dartmouth College/Handout/AFP

Marcelo Gleiser, professor e pesquisador da Faculdade de Darmouth, nos Estados Unidos. Foto de 2019.

[...] "A ciência é uma parte fundamental da cultura humana, e o cientista, da mesma forma que o artista, tem um dever de disseminar esse conhecimento para o maior número de pessoas possível. A intenção de não limitar o conhecimento científico aos cientistas é extremamente importante: enriquece a sociedade, fortalece o processo democrático e empodera cidadãos."

Que dicas você daria para fazer uma divulgação científica de qualidade?

"Uma das coisas mais importantes para qualquer pessoa que vá falar em público é entender para quem você está falando e adequar a maneira como veicula a informação. Além disso, tem que entender o seguinte: as pessoas se relacionam com informação não tanto intelectualmente, mas emocionalmente. Então, a maneira mais efetiva de impactá-las é através de histórias, não de dados. Se você falar sobre aquecimento global, conte a história de pessoas e locais que já estão sendo afetados por esse fenômeno – porque o público não se identifica com previsões do que irá acontecer em 10, 15 ou 20 anos."

Nos últimos 30 anos, quais foram as principais descobertas do seu campo de estudo?

"Na minha área, que mistura Cosmologia e Física de partículas, lembro de três momentos: a confirmação do bóson de Higgs, a observação de ondas gravitacionais através das colisões de buracos negros e a descoberta de que há exoplanetas em torno de praticamente todas as estrelas do Universo, o que transforma a busca por vida extraterrestre em algo absolutamente essencial para a ciência moderna."

E quais assuntos devem dominar a Física nos próximos 30 anos?

"Primeiro, a possibilidade de detecção indireta de vida em outro planeta. Não acho que encontraremos nada em Marte, Europa [lua de Júpiter], Encélado [lua de Saturno] etc. [...] poderemos analisar a composição química de outros planetas longínquos e detectar que tipo de elementos químicos existem neles. Outra questão central será a matéria escura, que sabemos que existe em quantidades cinco vezes maiores do que a matéria comum no Universo, mas nunca a encontramos. Eventualmente, vamos ter que resolver esse problema.

GLEISER, M. Marcelo Gleiser: "A ciência é parte fundamental da cultura humana". [Entrevista cedida a] Larissa Lopes. Revista *Galileu*, São Paulo, 9 set. 2021. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2021/09/marcelo-gleiser-ciencia-e-parte-fundamental-da-cultura-humana.html. Acesso em: 5 set. 2024.

1. O texto afirma que o conhecimento científico fortalece e enriquece a sociedade. Um exemplo é quando a sociedade, por falta de conhecimento, acredita em falsos tratamentos para a cura de doenças.

1 Qual é a importância de a sociedade ter acesso ao conhecimento científico? Justifique.

2 Na entrevista, Marcelo Gleiser destaca que o conhecimento científico "empodera cidadãos". Explique como o conhecimento pode transformar uma sociedade.

3 Na entrevista, Marcelo Gleiser dá dicas de como fazer divulgação científica. Comente essas dicas e cite alguma situação de divulgação científica em que você já tenha percebido essas estratégias sendo aplicadas, como em um vídeo ou em um *podcast*.

4 Releia as descobertas destacadas por Gleiser e os temas que devem dominar a Física nos próximos anos. Você já leu algum texto ou assistiu a algum vídeo sobre esses assuntos? Se sim, escreva sobre esses conhecimentos. Se não, escreva sobre uma curiosidade que gostaria de ver abordada em um material de divulgação científica.

2. O conhecimento científico leva ao desenvolvimento de novas tecnologias. Estimulando o mercado, pode gerar mais poder aquisitivo, condições de participação política e argumentação para buscar direitos e melhor qualidade de vida.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem a dica de abordar o tema a partir de uma história que sensibilize as pessoas. Exemplos que podem ser citados são os vídeos de canais da internet que chamam a atenção por serem divertidos e dinâmicos.
4. Resposta pessoal. Espera-se que alguns estudantes comentem notícias de vida fora da Terra, um dos temas que, geralmente, despertam interesse.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Leia, a seguir, o trecho de um artigo do professor do Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná e membro da Academia Brasileira de Ciências, Aldo José Gorgatti Zarbin.**

> [...] O impacto da ciência na qualidade de vida da população pode ser mensurado de várias maneiras, mas nada é tão evidente quanto a comparação na expectativa de vida. No início do século XX a expectativa de vida média de um cidadão comum variava entre 35 [e] 45 anos (de acordo com o país). A ciência trouxe os antibióticos, as vacinas, o saneamento básico, os equipamentos de proteção, a melhor compreensão do funcionamento dos organismos, o desenvolvimento de novos fármacos, aparelhos para identificação de doenças, a compreensão das relações entre hábitos (como o tabagismo e o sedentarismo) e a incidência de enfermidades específicas, e o resultado desse grande desenvolvimento científico foi um aumento da expectativa média de vida que nos dias atuais fica ao redor dos 80 anos. [...]
>
> Zarbin, A. J. G. Ciência para uma sociedade: a ciência é um dos motores que transformam a sociedade e produz um mundo melhor. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 74, n. 4, dez. 2022. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252022000400002. Acesso em: 5 set. 2024.

Escolha uma das inovações citadas no texto e, usando seu conhecimento sobre o método científico, faça o que se pede nos itens a seguir.

a) Pense e descreva que questão ou problema pode ter levado à inovação que você escolheu.

b) Quais observações e coletas de dados os cientistas devem ter feito? Cite pelo menos uma situação de observação que pode ter sido feita e um dado que seria necessário coletar.

c) Ao analisar as observações e os dados, quais hipóteses poderiam ser elaboradas? Proponha pelo menos uma hipótese para o problema.

d) Sugira pelo menos um teste experimental para validar ou refutar a hipótese sugerida e escreva qual é a última etapa do método científico.

Resolução

A resolução dessa atividade depende da inovação escolhida e das características a serem exploradas, por isso, apresentamos apenas um exemplo de resposta.

a) Inovação escolhida: saneamento básico. Por que, em algumas regiões específicas, existe alta taxa de doenças como cólera, disenteria e hepatite?

b) Observação de padrões das condições da água e da alimentação nas localidades onde mais pessoas ficam doentes e também nas regiões onde poucas pessoas apresentam essas doenças. Levantar número de infectados e dados socioeconômicos dos doentes; registrar número de óbitos pela doença; listar hábitos de vida dessas populações; entre outros dados. Comparação de dados.

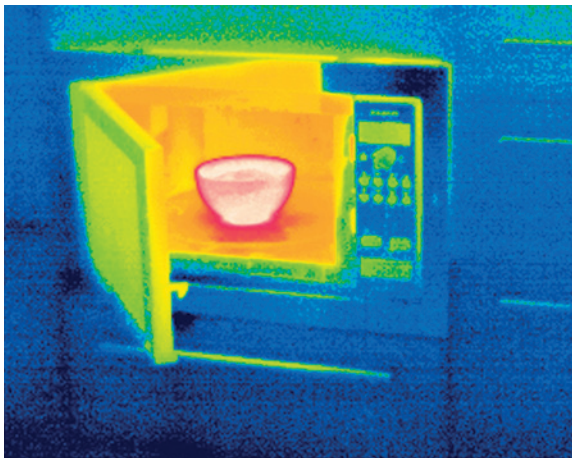
c) A má qualidade da água consumida pelos grupos estudados está causando as doenças infecciosas.

d) Com amostras de água de diferentes lugares, realizar testes em laboratório para verificar se existem microrganismos capazes de causar essas doenças em humanos. A última etapa é a divulgação dos resultados para a comunidade científica.

2 **Explique o que é fenômeno natural.**
Fenômeno natural é qualquer fato ou evento observável na natureza.

3 **Dê três exemplos de fenômenos naturais que fazem parte dos estudos da Física.** Respostas possíveis: relâmpagos, arco-íris, queda de corpos, reflexão em espelhos, eclipses, chuva, efeito estufa.

4 **Em meados da década de 1940, cientistas descobriram que a emissão de radiação fraca na faixa das micro-ondas (ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 mm e 1 m) é capaz de fazer vibrar as moléculas de água, provocando um rápido aquecimento em qualquer substância que tenha água em sua composição (como é o caso dos alimentos). Quarenta anos depois, o resultado foi uma invenção tecnológica de grande sucesso comercial: o forno de micro-ondas.**



Tony Mcconnell/SPL/Fotoarena

Usando uma câmera com capacidade de diferenciar a temperatura por cores (vermelho para mais quente e azul para mais frio), podemos perceber que a tigela foi mais aquecida por conter alimentos com água em sua constituição.

Mesmo sem conhecer os conceitos de radiação e ondas eletromagnéticas, é possível compreender o texto apresentado.

a) Identifique qual foi a descoberta científica citada no texto da questão e o nome da invenção tecnológica dela decorrente.

b) Cite algumas diferenças entre ciência e tecnologia.

4. a) e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

MEDIDAS

2. Não faz sentido, porque a unidade dá a referência com o que estamos comparando.

3. Sim, porque a utilização de um sistema de medidas padronizado pode facilitar a comunicação entre as pessoas e garantir clareza, precisão e eficiência em praticamente todas as áreas da sociedade moderna (ciência, tecnologia, comunicação, etc.).

MEDIDAS NO DIA A DIA

Os sentidos dos seres humanos permitem perceber o mundo ao redor e obter informações dos ambientes. As informações que os órgãos dos sentidos nos fornecem costumam ser suficientes para a maior parte das atividades do dia a dia; entretanto, em determinadas situações, é necessário o uso de instrumentos adequados para obter informações mais precisas. Por exemplo, consultamos um relógio comum quando precisamos chegar na hora marcada a um compromisso; já em situações como uma corrida de 100 metros rasos, em que mínimas diferenças nas medidas de tempo determinam quem ganha e quem fica em segundo lugar, é necessário o uso de um cronômetro de precisão.

Na imagem a seguir, uma atleta brasileira participa de uma prova de judô, em uma de suas categorias individuais. É possível observar ao fundo da imagem uma medida do tempo e uma indicação de categoria, definida pela massa mínima das atletas (+78 kg).

Neste capítulo, você vai aprender a importância das medições e da padronização das unidades de medida para as atividades humanas e também de estimar as imprecisões que podem ocorrer nas medidas de grandezas físicas, as quais correspondem às propriedades mensuráveis de um corpo ou de um fenômeno, como a massa de um corpo, a duração do tempo de um evento, entre outros.

PARA COMEÇAR

1. Cite algumas situações de seu cotidiano que envolvem medidas de grandezas físicas. Medidas de distância, de tempo e de massa.
2. Considerando as diferentes escalas de medida com as quais você lida no seu dia a dia, faz sentido expressar o valor de uma medida física sem explicitar sua unidade de medida?
3. Você acha importante adotar um sistema de medidas padronizado? Justifique.

A judoca Beatriz Souza competindo nos Jogos Olímpicos de Paris, em 2024. Foi nesses jogos que Beatriz se tornou a primeira mulher brasileira estreante em uma olimpíada a conquistar uma medalha de ouro.

Harry Langer/DeFodi Images/Getty Images

A IMPORTÂNCIA DAS MEDIÇÕES

Provavelmente a agricultura e as formas iniciais de comércio fizeram surgir a necessidade de comparar quantidades de alimentos, volumes de bens produzidos e distâncias, por exemplo. O estabelecimento de um padrão confiável para as medições foi um processo lento. Houve épocas em que partes do corpo humano – como o pé, o polegar, a palma da mão e o braço – foram usadas como padrões naturais de medida, mas, como os corpos das pessoas têm tamanhos distintos, o uso desses padrões gerava discordâncias.

Apesar dessas divergências, algumas medições específicas ainda hoje usam como referências partes do corpo humano, como ocorre na medida da distância entre a barreira e a bola em uma cobrança de falta no futebol: a distância oficial é de 9,15 metros, mas o árbitro mede essa distância de maneira aproximada, contando suas passadas.

Um dos marcos na adoção de padrões universais de medidas ocorreu durante a Revolução Francesa, quando a França passou a utilizar um sistema de medidas com múltiplos e submúltiplos de base 10 – o chamado sistema métrico decimal. A praticidade desse sistema contribuiu para a criação do Sistema Internacional de Unidades, em 1960.

A importância das medições pode ser verificada em atividades simples do cotidiano. Por exemplo, ao comprar 1 quilograma (1 kg) de feijão, 1 litro (1 L) de leite ou 200 gramas (200 g) de queijo, percebe-se como a medida é uma informação fundamental.

Avanços científicos e tecnológicos têm tornado as medições cada vez mais precisas e os valores medidos mais confiáveis.

PARA EXPLORAR

Leia

***A medida do mundo: a busca por um sistema universal de pesos e medidas*, de Robert P. Crease. Rio de Janeiro: Zahar, 2013.**

O livro traz a incrível história da invenção de uma rede mundial de pesos, balanças e instrumentos de medição e de como os seres humanos vêm improvisando meios de obter medidas desde sociedades antigas até chegar ao Sistema Internacional de Unidades, adotado por quase todos os países nos dias atuais.

Justin Tallis/AFP

Cobrança de falta em jogo durante a final da Liga dos Campeões da Uefa, em 2024. Segundo a regra, a barreira deve estar posicionada a 9,15 metros de distância da bola.

Medidas extremas

[...] Há cerca de 30 mil anos, enquanto lascava pedras e manuseava ossos para fabricar instrumentos de caça e de defesa, o homem começou a avaliar dimensões. Comparava as lascas entre si e analisava se eram adequadas para o uso que esperava delas. Quando caçava, aprendeu – após repetidas tentativas – a calcular a distância do alvo, a força com que deveria atirar a lança e a velocidade que deveria conferir ao arremesso. "Não se trata apenas de um comportamento instintivo", diz o historiador da ciência Ubiratan D'Ambrosio, da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). "A capacidade de avaliar dimensões surge de um pensamento abstrato que começa a despontar de modo tênue nesse homem primitivo."

[...]

Erros e acertos também modelaram a experiência humana. Mas o desenvolvimento da linguagem e, posteriormente, da cultura possibilitou ao homem identificar as diferentes dimensões presentes no ambiente e conferir-lhes um significado. "A vida em sociedade exigiu comunicação", diz Ubiratan. "A troca de impressões com os demais membros do grupo foi a base para a criação de um padrão comum." Assim surgiram os primeiros sistemas de medidas, que permitiam a todos compreender determinados conceitos, mesmo que não tivessem lidado com eles anteriormente.

Medidas extremas. *Superinteressante*, [*s. l.*], 31 out. 2016. Disponível em: https://super.abril.com.br/historia/medidas-extremas/. Acesso em: 9 set. 2024.

Não escreva no livro.

GRANDEZAS FÍSICAS E MEDIDAS

Como vimos anteriormente, podemos considerar de forma simplificada que **grandeza física** é tudo aquilo que pode ser quantificado. Tempo, massa, deslocamento, velocidade e comprimento são exemplos de grandezas físicas.

Medir uma grandeza física significa compará-la com uma unidade de medida escolhida como padrão, indicando quantas vezes a grandeza contém a unidade. Ao usar uma régua para medir o comprimento de uma folha de papel, por exemplo, vemos quantas vezes o centímetro indicado na régua se repete ao longo de sua margem lateral.

As unidades são definidas de forma precisa com base nas constantes fundamentais e, para indicar a unidade de medida associada a uma grandeza física em determinada situação, iguala-se o símbolo da grandeza representado entre colchetes à unidade correspondente. Por exemplo, se a massa *m* de um corpo é dada em quilograma, escrevemos: $[m] = \text{kg}$.

Existem, no entanto, grandezas físicas que não têm unidade de medida. Elas são denominadas **grandezas físicas adimensionais**. Por exemplo, quando dizemos que uma pessoa é duas vezes mais alta do que outra, o número 2 não é acompanhado de unidade de medida. Outros exemplos são grandezas dadas pela razão entre duas grandezas com a mesma unidade de medida, como o coeficiente de atrito, que veremos mais adiante.

ROTEIRO

1. Quando você vai à feira ou ao supermercado, quais unidades de medida são utilizadas nos diversos produtos à venda? Existe algum produto que seja vendido sem nenhuma indicação de unidade de medida? Se sim, cite alguns exemplos.

São utilizadas as unidades de medida grama, quilograma, metro, litro e mililitro, por exemplo. Não há indicação de unidades de medida em produtos vendidos em dúzia, por exemplo, como banana e laranja.

Instrumentos de medida

Para medir diversas grandezas físicas, utilizamos **instrumentos de medida**. De acordo com as características do que se deseja mensurar, usam-se instrumentos e métodos diferentes. Com uma régua graduada em centímetro, por exemplo, não é viável determinar a espessura de um fio de cabelo ou a distância entre duas cidades, mas é possível saber o comprimento de uma folha de papel. A seguir, apresentamos alguns exemplos de instrumentos de medida e suas aplicações.

Béquer
Usado para medir volumes líquidos.

StudioVin/Shutterstock.com/ID/BR

Hodômetro
Usado para medir distâncias percorridas.

Paulpaladin/Dreamstime.com/ID/BR

Termômetro
Usado para medir temperaturas.

DVARG/Shutterstock.com/ID/BR

Fita métrica
Usada para medir comprimentos.

Jiri Hera/Shutterstock.com/ID/BR

Balança
Usada para medir a massa de um corpo.

Sergey Ogaryov/Shutterstock.com/ID/BR

Cronômetro
Usado para medir intervalos de tempo.

T_kimura/iStock/Getty Images

Em algumas situações, não é conveniente ou não é possível medir uma grandeza diretamente por meio de instrumentos. Nesses casos, pode-se recorrer à medição indireta, que consiste em determinar o valor de uma grandeza por intermédio de medições diretas – isto é, feitas com instrumentos – de outras grandezas, que, por sua vez, têm uma relação conhecida com aquela que se deseja mensurar. Para determinar a distância entre alguns corpos celestes, por exemplo, os astrônomos fazem cálculos usando medidas de ângulos obtidas de forma direta em observações feitas na superfície da Terra.

REPRESENTAÇÕES DE MEDIDAS

Erros de medida

Sempre que se mede uma grandeza, há fatores que causam imprecisões na leitura da medida, como eventuais inabilidades e imperícias da pessoa que está medindo, falhas na fabricação dos instrumentos e, principalmente, imprecisões relativas às escalas dos instrumentos.

As alterações nas medidas decorrentes desses fatores são conhecidas como **erros de medida** e podem ocorrer em medições de quaisquer grandezas. A ciência leva em consideração esses erros e os expressa em suas medições, aplicando o conceito de algarismos significativos e o conceito de incerteza.

Algarismos significativos

Considere, por exemplo, dois velocímetros com graduações diferentes medindo a mesma velocidade.

Velocímetro 1: escala de 5 km/h	Velocímetro 2: escala de 1 km/h
Sérgio Dotta Jr./ID/BR	Sérgio Dotta Jr./ID/BR
De acordo com esse velocímetro, o valor da velocidade parece estar próximo de 77 km/h, porém não se pode ter certeza desse valor. A estimativa dependerá de cada leitor – e certamente haverá erros na estimativa. Olhando para o mostrador, o motorista pode fazer a seguinte estimativa:	Nessa situação, o velocímetro marca uma velocidade de valor entre 76 km/h e 77 km/h, porém não se pode dizer com precisão absoluta o valor medido. Olhando para o mostrador, o motorista pode fazer a seguinte estimativa:
7 7 km/h O algarismo 7 é uma estimativa; portanto, ele será chamado de **algarismo duvidoso**. Pode-se ter certeza desse algarismo, então ele será chamado de **algarismo correto**.	7 6,8 km/h O algarismo 8 é uma estimativa; portanto, ele será chamado de **algarismo duvidoso**. Pode-se ter certeza desses dois algarismos; logo, eles serão chamados de **algarismos corretos**.

São considerados **algarismos significativos** de uma medida os algarismos corretos junto com o primeiro algarismo duvidoso.

Para representar uma medida, escrevemos apenas os algarismos significativos, ou seja, não podemos escrever mais do que um algarismo duvidoso. Por isso, nos casos mostrados nos velocímetros, não podemos escrever, por exemplo, 77,8 km/h para o velocímetro **1**, nem 76,82 km/h para o velocímetro **2**.

Imagine agora que a medida x = 8,43 cm seja convertida para quilômetro. Assim, temos:

$$x = 8{,}43 \text{ cm} = 0{,}0000843 \text{ km}$$

Note que a medida continua com três algarismos significativos (8, 4 e 3), uma vez que a precisão não foi alterada. Os zeros à esquerda do algarismo 8 servem apenas para posicionar a vírgula decimal. Portanto, os zeros à esquerda do primeiro algarismo diferente de zero não são algarismos significativos.

Não escreva no livro.

Notação científica

A **notação científica** é uma maneira de escrever um número como uma multiplicação de dois outros números, na qual o primeiro fator é um número real maior ou igual a 1 e menor que 10, e o segundo fator é uma potência de base 10. Ou seja, para escrever um número N em notação científica, fazemos $N = x \cdot 10^n$, em que x é um número real tal que $1 \leqslant x < 10$ e n é um número inteiro. Por exemplo, os números 14,20 e 0,0023 são escritos em notação científica da seguinte forma:

- $14{,}20 = 1{,}420 \cdot 10^1$
- $0{,}0023 = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$

Quando estamos trabalhando com grandezas físicas de números muito grandes ou muito pequenos, é mais conveniente que esses números sejam escritos na forma de notação científica. Veja os exemplos a seguir:

- Sabendo que a massa da Terra é aproximadamente 5 972 200 000 000 000 000 000 000 kg, podemos escrever: $m_T \cong 59\,722 \cdot 10^{20}$ kg $= 5{,}9722 \cdot 10^{24}$ kg
- Sabendo que o diâmetro de um dos maiores vírus conhecidos, o *Megavirus chilensis*, é aproximadamente 0,00000044 m, podemos escrever: $d_M \cong 44 \cdot 10^{-8}$ m $= 4{,}4 \cdot 10^{-7}$ m

Ordem de grandeza

Em algumas situações, o valor exato de uma medida é irrelevante. Quando isso acontece, é comum dar como resultado a potência de 10 mais próxima do valor exato. Esse resultado aproximado é chamado **ordem de grandeza**.

Para determinar a ordem de grandeza de um número, primeiro devemos escrevê-lo em notação científica, isto é, na forma $N = x \cdot 10^n$. Em seguida comparamos x com $\sqrt{10}$ ($\sim$3,16). Assim, se $x \geqslant 3{,}16$, a ordem de grandeza do número é $10^{(n+1)}$; se $x < 3{,}16$, a ordem de grandeza do número é 10^n.

Leia os exemplos a seguir.

- Sabendo que a distância da Terra à Lua é aproximadamente 384 000 000 m, vamos calcular sua ordem de grandeza. Usando a notação científica, temos: 384 000 000 m $= 3{,}84 \cdot 10^8$ m. Como $3{,}84 \geqslant 3{,}16$, concluímos que a ordem de grandeza da distância da Terra à Lua é 10^9 m.
- Sabendo que o raio médio da Lua é aproximadamente 1 740 000 m, vamos calcular sua ordem de grandeza. Usando a notação científica, temos: 1 740 000 m $= 1{,}74 \cdot 10^6$ m. Como $1{,}74 < 3{,}16$, concluímos que a ordem de grandeza do raio médio da Lua é 10^6 m.

ROTEIRO

2. **Você já pensou em quantos passos seriam necessários para atravessar o Brasil caminhando, do extremo sul ao extremo norte?**

A distância entre os extremos sul e norte do Brasil – do arroio Chuí, no Rio Grande do Sul, ao monte Caburaí, em Roraima, respectivamente – é cerca de 2 730 milhas.

Sabendo que uma milha equivale a aproximadamente 1 600 metros e considerando, para simplificação, que um passo mede 1 metro, determine a ordem de grandeza da distância desse percurso em passos.

Considerando que cada passo equivale a 1 m, então 1 600 m = 1 600 passos. Se uma milha tem 1 600 passos, logo 2 730 milhas têm 4 368 000 passos.
Como 4,368 é maior que 3,16, a ordem de grandeza é dada por 10^{6+1}. Portanto, a ordem de grandeza dessa distância, em notação científica, é 10^7 passos.

Setup Bureau/ID/BR

A distância entre a Terra e a Lua varia ao longo do tempo. Na representação esquemática, temos a distância máxima, a distância mínima e a distância média. Perceba que, em todas elas, a ordem de grandeza é sempre a mesma: 10^9 m. Cores-fantasia.

DE OLHO NO CONCEITO

Quilograma-padrão

A unidade de massa do SI é o quilograma (kg), que foi inicialmente definido como a massa de um cilindro de platina iridiada armazenado no Escritório Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, na França. O cilindro de 39 mm de diâmetro e 39 mm de altura, composto de 90% de platina e 10% de irídio, é conservado no interior de três redomas de vidro desde 1889, quando a 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas sancionou o protótipo do quilograma-padrão.

Tal definição foi aceita entre 1889 e 2019, porém novas técnicas de medição mais precisas surgiram, e hoje o quilograma-padrão é calculado com base em constantes da natureza.

Escritório Internacional de Pesos e Medidas, Paris, França. Fotografia: BIPM/AFP

Protótipo internacional do quilograma-padrão armazenado no Escritório Internacional de Pesos e Medidas, na França. Foto de 2003.

O Sistema Internacional de Unidades (SI)

Para normatizar os sistemas de medições em todo o mundo, a comunidade científica padronizou algumas unidades de medida. Assim, em 1960, na Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), em Paris, na França, foi criado o Sistema Internacional de Unidades (SI), que estabelece diversos padrões.

De acordo com o SI, as grandezas e as unidades podem ser classificadas em grandezas e unidades de base ou grandezas e unidades derivadas. A tabela a seguir mostra todas as grandezas e unidades de base e algumas derivadas.

GRANDEZAS E UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL					
Grandezas e unidades de base			Grandezas e unidades derivadas		
Grandeza	Unidade	Símbolo da unidade	Grandeza	Unidade	Símbolo da unidade
comprimento	metro	m	velocidade	metro por segundo	m/s
massa	quilograma	kg	densidade	quilograma por metro cúbico	kg/m^3
tempo	segundo	s	aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s^2
intensidade de corrente elétrica	ampere	A	força	newton	N
temperatura	kelvin	K	área	metro quadrado	m^2
quantidade de matéria	mol	mol	volume	metro cúbico	m^3
intensidade luminosa	candela	cd	luminância	candela por metro quadrado	cd/m^2

Fonte de pesquisa: Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). *Sistema Internacional de Unidades*: SI. Duque de Caxias: Inmetro/Cicma/Sepin, 2012. 1. ed. bras. da 8. ed. do BIPM. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf. Acesso em: 9 set. 2024.

Prefixos de unidades

Algumas potências de base 10 podem ser representadas por prefixos e símbolos. O SI adotou prefixos para representar algumas potências de 10 na formação dos múltiplos e submúltiplos das unidades de medida. Veja a tabela a seguir.

PREFIXOS DO SISTEMA INTERNACIONAL					
Fator	Prefixo	Símbolo	Fator	Prefixo	Símbolo
10^{-15}	femto	f	10^{1}	deca	da
10^{-12}	pico	p	10^{2}	hecto	h
10^{-9}	nano	n	10^{3}	quilo	k
10^{-6}	micro	μ	10^{6}	mega	M
10^{-3}	mili	m	10^{9}	giga	G
10^{-2}	centi	c	10^{12}	tera	T
10^{-1}	deci	d	10^{15}	peta	P

Fonte de pesquisa: Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). *Sistema Internacional de Unidades*: SI. Duque de Caxias: Inmetro/Cicma/Sepin, 2012. 1. ed. bras. da 8. ed. do BIPM. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf. Acesso em: 25 jul. 2024.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

REVOLTA DO QUEBRA-QUILOS: A OBRIGATORIEDADE DO USO DO QUILO RESULTOU EM DESAVENÇA E CONFLITOS

O quilo, o metro, o litro, medidas sem as quais muita gente hoje não saberia como viver, foram implantados à custa de muita desavença e conflitos por todo o mundo.

Depois de determinadas por comissões científicas no fim do século 18, as unidades demoraram décadas para serem estabelecidas – ainda hoje ingleses custam a render-se às unidades francesas. Aderir a uma unidade alheia significava deixar a própria cultura de lado – e, quando a mudança se tornou obrigatória, queixas eram quase inevitáveis.

Foi assim em todo o planeta – e pouca gente sabe que, no Brasil, também. Em 1874, a obrigatoriedade do uso do quilo foi a gota-d'água para a "revolta do quebra-quilos", um movimento que começou na Paraíba, se espalhou por mais três estados do Nordeste e só foi contido pelo envio de tropas federais.

Em 31 de outubro, em Campina Grande, na Paraíba, centenas de pessoas invadiram a feira da cidade protestando contra os novos pesos e medidas. Aos gritos, a massa quebrava os moldes de quilos dos feirantes, que eram fornecidos (vendidos ou alugados) pela administração municipal.

Os revoltosos invadiram os mercados, coletorias e a Câmara Municipal, destruíram os novos padrões e queimaram os arquivos contábeis do governo. [...]

[...]

[...] Aos poucos, a revolta se alastrou para outras vilas e cidades paraibanas, além dos estados de Pernambuco, Alagoas e Rio Grande do Norte. Em todos esses lugares, a multidão revoltada tinha a mesma característica: a de buscar nas sedições uma espécie de legitimação para seus costumes, que de repente vinham sendo atacados pelas autoridades.

[...]

Quem não utilizasse os novos padrões poderia ser punido com prisão de cinco a dez dias e pagaria multa. [...] o clima esquentou ainda mais por causa do aumento da cobrança de tributos. O país vinha enfrentando uma crise econômica devido à queda das vendas internacionais de açúcar e de algodão.

[...] Para o governo, o aumento de impostos era a solução. Para o povo, porém, os tributos, assim como as novas medidas, ofendiam os costumes e a tradição do país.

Bernd Juergens/Dreamstime.com/ID/BR

Corpo utilizado como referência para medir massas.

[...] Como os tributos eram calculados utilizando as novas medidas (quilos, litros e metros), a obrigatoriedade de utilizá-las foi a gota-d'água para a revolta.

[...]

[...] líderes passaram a ser perseguidos no começo de 1875, com o crescimento da revolta. No Rio Grande do Norte, duas pessoas morreram e cinco se feriram depois de um dia de reação das forças imperiais.

As tropas do governo, armadas de baionetas e espingardas, chegaram por mar, a bordo do navio Werneck, vindas do Maranhão para o Rio Grande do Norte. Os cabeças do movimento foram processados e, alguns, obrigados a restabelecer os novos pesos e medidas por eles destruídos nos mercados e feiras, e obrigaram-se a indenizar aos particulares o dano causado nos seus estabelecimentos.

O ato mais ferrenho da repressão foi a aplicação dos chamados "coletes de couro". Segundo o historiador Armando Souto Maior, "amarrados, os prisioneiros eram em seguida metidos em grosseiros coletes de couro cru; ao ser molhado, o couro encolhia-se, comprimindo o tórax das vítimas, quase asfixiando-as". O método causou a revolta de muitos comerciantes, mas também medo – à custa do qual a medida do quilo foi finalmente implantada no Nordeste.

Medeiros, P. de. Revolta do quebra-quilos: a obrigatoriedade do uso do quilo resultou em desavença e conflitos. *Aventuras na História*, São Paulo, 20 set. 2020. Disponível em: https://aventurasnahistoria.com.br/noticias/almanaque/revolta-do-quebra-quilos-obrigatoriedade-do-uso-do-quilo-resultou-em-desavenca-e-conflitos.phtml. Acesso em: 9 set. 2024.

Para discutir **1**, **2** e **3**. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1 **No primeiro parágrafo do texto, o autor afirma: "O quilo, o metro, o litro, medidas sem as quais muita gente hoje não saberia como viver". Você concorda com essa afirmação? Justifique.**

2 **Faça uma pesquisa ou entreviste um(a) professor(a) de História para responder ao que se pede.**

a) O movimento popular do "quebra-quilos" espalhou-se por outras regiões ou ficou restrito ao Nordeste brasileiro?

b) Como terminou essa revolta?

3 **Do ponto de vista do comércio nacional e internacional, qual é a importância de o Brasil ter adotado o Sistema Internacional de Unidades?**

Não escreva no livro.

FÍSICA E BIOLOGIA

NANOTECNOLOGIA E SOCIEDADE

A nanotecnologia é hoje considerada uma das áreas de estudo mais promissoras quando se fala em pesquisa tecnológica. Em razão de sua característica multidisciplinar, ela pode ser aplicada em diferentes setores e situações, como na criação de novos materiais e de produtos para atividades agrícolas e industriais, no desenvolvimento de fármacos e cosméticos, em tratamentos de saúde e na purificação da água – incluindo alternativas para o tratamento de água após a ocorrência de desastres ambientais.

Mas você sabe o que é nanotecnologia?

Ela é fruto de uma ciência que estuda e desenvolve aplicações tecnológicas da matéria em escalas nanométricas, chegando aos níveis molecular e atômico. Na medicina e nos cuidados com a saúde humana, a nanotecnologia busca criar técnicas de diagnóstico e de tratamento mais precisas e menos invasivas; fármacos de liberação controlada no organismo; máscaras e tecidos especiais constituídos de diferentes tipos de nanomateriais para proteção, entre outros avanços. Assim, surge uma nova área da saúde, que vem sendo chamada de **nanomedicina**.

Na conservação e recuperação do meio ambiente, por exemplo, a nanotecnologia tem oferecido possibilidades para o tratamento de áreas contaminadas em decorrência de desastres naturais ou devido a ações humanas.

A nanotecnologia já é, portanto, uma realidade nos estudos e nos avanços da Física, da Química e da Biologia.

[...]

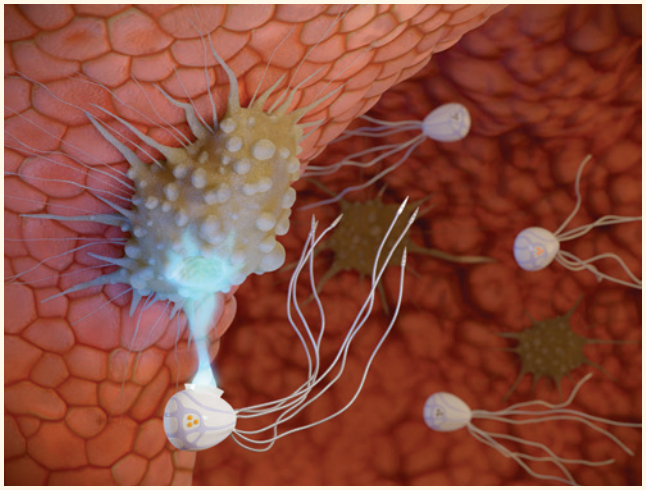
DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DO CÂNCER

Diferentes tipos de nanopartículas estão sendo testadas para diagnosticar (localizar) a célula tumoral no nosso corpo. Esses nanomateriais são biocompatíveis e foram modificados para localizar especificamente aquele tumor (mama, próstata, intestino). Para isso, anticorpos são colocados na superfície da nanopartícula para reconhecer somente as células tumorais, ou seja, não "se ligam" às células sadias do corpo. Ao encontrar o tumor, exames de imagens podem ser usados para identificar a região do corpo onde está a nanopartícula e, com estímulos externos, as pesquisas já demonstraram resultados onde as próprias nanopartículas são capazes de destruírem a célula tumoral.

Nanopartículas de ouro e magnéticas vêm sendo muito estudadas para essas aplicações, onde ambas são capazes de "aquecer localmente" a célula tumoral, matando somente ela e preservando as células sadias. No futuro, pode vir a ser um complemento para as sessões de quimioterapia.

[...]

Tim Vernon/SPL/Fotoarena



Representação sem proporção de tamanho.

Representação de nanorobôs administrando medicamentos quimioterápicos em células cancerosas do corpo humano. Essa técnica promissora permite um tratamento mais rápido e pode reduzir os efeitos colaterais em pessoas que precisam realizar quimioterapia para o tratamento de diferentes tipos de câncer. Cores-fantasia.

Não escreva no livro.

TRANSPORTE DE MEDICAMENTOS ATÉ O ÓRGÃO DOENTE

Parece algo fora do nosso imaginário, mas que as pesquisas já demonstraram ser possível entregar o medicamento próximo ao órgão (ou mais precisamente – dentro da célula) que precisa de tratamento.

Nanoestruturas são confeccionadas para essa finalidade e podem ser levadas ao alvo certo por diferentes estratégias de direcionamento e isso, no futuro, pode revolucionar muitos tratamentos, pois os resultados demonstram um aumento da eficiência terapêutica.

[...]

DESASTRES AMBIENTAIS

Muito mais importante que a exploração, a nanotecnologia também tem oferecido alternativas para tratamento de áreas contaminadas por acidentes ambientais de derramamento de petróleo. Os danos ambientais causados por derramamentos de óleo sempre foram um desafio para o setor, pois o óleo contamina os animais selvagens que vivem na área imediata, assim como afeta toda a cadeia alimentar do ecossistema.

Diferentes tipos de nanoestruturas têm sido desenvolvidas para esta finalidade. Nanopartículas magnéticas que se misturam ao petróleo na superfície permitem que a mancha seja facilmente removida por uma esteira magnética colocada dentro da área de contenção. Há também aplicações que usam nanocompósitos com alta capacidade de absorção (nanoesponjas). Esses materiais são altamente porosos funcionando como uma superesponja de retenção de hidrocarbonetos e, por ser hidrofóbica, pode flutuar na água sem se molhar (encharcar), facilitando a sua remoção da superfície.

[...]

Silva, D. G. da; Toma, H. E. *Nanotecnologia para todos!* Cartilha educativa para divulgação e ensino da nanotecnologia. São Paulo: Edição dos Autores, 2018. p. 47-48, 53-54. Disponível em: https://storage.googleapis.com/ebook-ensinano/Cartilha-Nanotecnologia_v5. Acesso em: 14 ago. 2024.

Ricardo Funari/Brazil Photos/LightRocket/Getty Images

Área contaminada por derramamento de óleo na baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Foto de 2023.

Conecte as ideias **1**, **2** e **3**. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1 De que forma a possibilidade de medir e manipular objetos, em diferentes escalas, e o desenvolvimento dos instrumentos de medição contribuíram para os estudos e os avanços em diferentes diversas áreas do conhecimento científico, como a nanotecnologia?

2 Devido às suas dimensões reduzidas, as nanopartículas podem interagir diretamente com células e biomoléculas, modulando funções fisiológicas no diagnóstico e no combate de patologias, como visto anteriormente. Faça uma pesquisa, em livros e *sites* confiáveis, sobre outras possibilidades de uso da chamada nanomedicina e produza um texto apresentando as novas descobertas e as possibilidades para o futuro. Como ponto de partida, busque informações sobre os avanços na produção de vacinas.

3 Converse com os colegas sobre a importância da divulgação de temas científicos, como a nanotecnologia, para os estudantes e para a comunidade escolar de maneira geral. Depois, escreva um texto destacando as vantagens de conhecer os avanços nas ciências.

Medindo volumes de corpos com forma irregular

O conceito de medida está presente em diversas situações do cotidiano e, para realizar determinadas atividades, a medição é essencial. Mas como medir corpos que não apresentam um formato definido?

Nesta atividade, você e os colegas vão aplicar conceitos que permitem a medição do volume desses corpos.

ATENÇÃO!

Nunca recolha seringas e agulhas de lixo hospitalar nem de qualquer outro lixo, pois em geral estão contaminadas por vírus e bactérias que podem transmitir diversas doenças.

Material

- seringa nova sem agulha
- fita adesiva
- uma pedra cujo tamanho não ultrapasse muito o tamanho de uma borracha nova, por exemplo
- recipiente no qual caiba a pedra
- água suficiente para encher esse recipiente
- recipiente graduado em mililitros (pode ser uma jarra ou um copo de medidas graduados)
- um pedaço de massa de modelar nova

Como fazer

1. No recipiente não graduado, coloque água até um pouco além da metade.
2. Marque, com um pedaço de fita adesiva, o nível de água no recipiente.
3. Coloque uma pedra no recipiente de modo que ela fique totalmente imersa na água sem que a água transborde.
4. Com outro pedaço de fita adesiva, marque o nível de água após a introdução da pedra. O volume de água que alcançou esse nível corresponde ao volume do corpo nela colocado (a pedra).
5. Com a seringa, vá retirando a água do recipiente até que o nível atinja a primeira marca feita com fita adesiva (no procedimento 2). A água retirada com a seringa deve ser colocada no recipiente graduado.
6. Verifique, no recipiente graduado, o volume correspondente à água nele colocada. Esse é o volume da pedra.

Para concluir

1 **Em alguns casos, os matemáticos usam equações para saber o volume de determinados sólidos geométricos, como uma esfera ou um cubo. A maioria dos corpos que nos cercam, porém, tem forma irregular, o que dificulta calcular seu volume, como é o caso do motor de um carro, ou de uma berinjela, por exemplo.** **1. a)** e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) De acordo com o experimento, o volume de água deslocada correspondeu a qual propriedade do corpo que a deslocou?

b) O que se obtém ao medir o volume de água deslocada por um corpo?

2 **Extrapolação do experimento.**

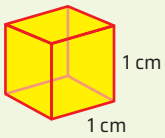
a) Se for colocado na água um corpo que flutue nela, a que corresponderá o volume medido?

b) Caso o corpo seja muito grande, para medir seu volume pode-se utilizar um protótipo em miniatura, ou seja, um modelo reduzido do corpo com as mesmas proporções de seu tamanho original. Como seria feita a correspondência do volume do protótipo com o volume do corpo? (**Dica**: utilize o conceito de figuras semelhantes e razão de semelhança.)

c) Dê exemplos de situações em que a forma de medir volumes investigada nessa prática não é adequada.

d) Com um pedaço de massa de modelar e utilizando uma régua, construa um cubo de 1 cm de lado. O volume desse cubo será de 1 cm^3. Seguindo os procedimentos dados para a experiência, meça o volume desse corpo. Sabe-se que 1 cm^3 equivale a 1 mL.

2. a), **b)**, **c)** e **d)** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.



Setup Bureau/ID/BR

Cubo de lado 1 cm, a ser construído com massa de modelar.

- Compare o volume do cubo com o valor do volume previamente conhecido. Os valores são muito diferentes? Justifique.
- Estime um valor para a incerteza de seu instrumento de medição.
- Represente, com notação científica, os valores obtidos para a pedra e para o cubo. Na representação da medida, coloque o número de algarismos significativos e a incerteza que você estimou.
- Identifique as causas para os eventuais erros que podem ter tornado discrepantes o valor obtido experimentalmente e o valor esperado.

Não escreva no livro.

8. a) Muitas unidades de medida são profundamente relacionadas à cultura de um povo, o que dificulta a adoção e implementação cotidiana do SI.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

1 **Determine a ordem de grandeza da duração de um dia medido em segundo.**

Resolução

Sabe-se que a duração de um dia sideral – período real de translação de um planeta em torno do Sol (uma estrela fixa) – é aproximadamente 24 horas. Como em cada hora há 60 minutos, e em cada minuto, 60 segundos, temos:

duração do dia $= 24 \cdot 60 \cdot 60 = 86\,400$ s
duração do dia $= 8{,}6 \cdot 10^4$ s

Como o fator de multiplicação da potência de 10 é 8,6 ($8{,}6 \geqslant 3{,}16$), a ordem de grandeza da duração do dia, medida em segundo, é 10^5 s.

2 **A nutricionista de uma fábrica planeja, para uma refeição, um prato típico da cozinha brasileira: arroz de carreteiro. Sabendo que, no almoço, cada funcionário come em média 150 g de arroz e que a fábrica tem 6 mil funcionários, determine a ordem de grandeza, em grama, da quantidade de arroz que será consumida no almoço.**

Resolução

Como cada funcionário come, em média, 150 g de arroz e serão servidas 6 mil refeições, a quantidade de arroz consumida no almoço é dada por:

$m = 150 \text{ g} \cdot 6\,000 = 900\,000 \text{ g} = 9 \cdot 10^5 \text{ g}$

Como $9 \geqslant 3{,}16$, a ordem de grandeza da quantidade de arroz consumida no almoço é 10^6 g.

3 **Nos veículos automotores, como carros, ônibus e caminhões, existe um instrumento, conhecido como hodômetro, que mede a distância percorrida. Sabendo que determinado hodômetro é graduado em quilômetro, indique a alternativa que expressa corretamente a distância percorrida por um caminhão. Justifique.**

a) 18 784 km
b) 18 784,0 km
c) 18,784 km
d) 18 784,02 km
e) 18 784,002 km

Resolução

Alternativa **a**. Como o hodômetro é graduado em quilômetro, o algarismo duvidoso é a unidade.

8. b) Resposta pessoal. Resposta possível: Sim. Um padrão mundial de numeração facilitaria a compra de calçados, principalmente pela internet, visto que as diferenças entre os sistemas de numeração podem causar confusão e levar a erros. Também beneficiaria os fabricantes, que não precisariam adaptar seus produtos a diferentes mercados, consequentemente facilitando as exportações de calçados.

4 **Converta para metro as seguintes medidas:**

a) 3,4 km 3400 m
b) 2 000 mm 2 m
c) 187 cm 1,87 m
d) 0,008 mm $8 \cdot 10^{-6}$ m

8. c) Entre outros benefícios, a adoção de um único padrão de medidas, como o Sistema Internacional de Unidades, facilita a comunicação entre cientistas de diferentes países e áreas do conhecimento, favorece a replicação de experimentos e pesquisas e garante maior precisão nas medições.

5 **Use a notação científica para escrever os valores mencionados nos itens a seguir.**

a) Período de translação sideral da Lua em torno da Terra: aproximadamente 27,32 dias. $2{,}732 \cdot 10^1$ dias
b) População brasileira estimada em 2022: aproximadamente 203 100 000 de habitantes. $2{,}031 \cdot 10^8$ habitantes
c) Diâmetro do vírus da hepatite B: aproximadamente 0,000000042 m. $4{,}2 \cdot 10^{-8}$ m

6 **Represente as seguintes medidas de massa em notação científica, utilizando o grama como unidade de medida:**

a) 0,2 kg $2 \cdot 10^2$ g
b) 200 mg $2 \cdot 10^{-1}$ g
c) 25 000 kg $2{,}5 \cdot 10^7$ g
d) 379 kg $3{,}79 \cdot 10^5$ g

7 **Um fator importante na análise da economia do Brasil é o preço da Cesta Básica Nacional, composta de alimentos de 10 grupos, como arroz, feijão, açúcar, óleo e leite.**

a) Que unidades de medida são utilizadas para quantificar os alimentos citados? kg, g, L e mL.
b) Sabendo que a massa de um grão de arroz é aproximadamente 20 mg, quantos grãos deve haver em um saco de 1 kg? Escreva a resposta usando a notação científica. $5 \cdot 10^4$ grãos

8 **Em alguns calçados, o tamanho é medido em várias unidades diferentes. No Brasil, por exemplo, o número de um calçado com 26 cm de comprimento é 39; no padrão europeu, 42; no padrão americano, 8½; no padrão australiano, 8; e, no padrão japonês, 26½.**

Marcelo Parducci/ID/BR

a) O que explica que o mesmo comprimento seja expresso por diversas unidades diferentes?
b) Você acha que seria útil existir um único padrão mundial de medida para a numeração de calçados?
c) Qual é a importância de utilizarmos um único padrão, como o Sistema Internacional de Unidades (SI), na ciência?

CAPÍTULO 3

CINEMÁTICA ESCALAR

PARA COMEÇAR

1. Ao viajar por uma estrada, é comum ver anúncios de postos de serviços com a indicação do tempo para chegar até eles. Como essa previsão é feita?
2. O que é movimento periódico? Cite três exemplos.

1. Essa previsão é feita usando a velocidade máxima da estrada e a distância entre o ponto da placa e o posto.

2. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes identifiquem movimentos do cotidiano que se repetem de forma idêntica em intervalos de tempo iguais.

ESTUDO DO MOVIMENTO

O movimento dos corpos pode ser percebido em diversos eventos, como em uma viagem de ônibus da casa para a escola ou no movimento aparente de alguns astros do Universo, como o movimento aparente da Lua em relação à Terra.

Seja ele relacionado a ações cotidianas, como no primeiro exemplo, seja a ações periódicas, como no segundo exemplo, o movimento dos corpos é um dos objetos de análise da ciência.

A área da Física que estuda o movimento dos corpos é chamada Mecânica, e seu estudo é dividido em três partes: a Cinemática, a Dinâmica e a Estática.

Neste capítulo, você vai estudar a descrição dos movimentos dos corpos sem considerar as causas desses movimentos, ou seja, a **Cinemática**.

Foto de longa exposição evidenciando a trajetória da decolagem de um avião no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Tom Jobim. Foto de 2018.

pabst_ell/iStock/Getty Images

Não escreva no livro.

CONCEITOS INICIAIS

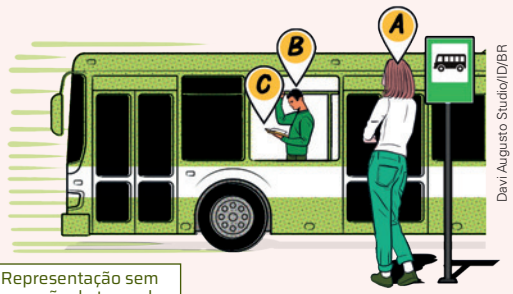
Antes de começar os estudos de Cinemática, é necessário abordar alguns conceitos iniciais importantes para se descrever o movimento de um corpo.

Para identificar se um corpo está em repouso ou em movimento, utiliza-se um **referencial**, ou seja, um corpo ou uma posição de referência são pré-adotados para determinar se o corpo em estudo está em movimento ou em repouso em relação ao referencial. Assim, dizemos que o movimento é relativo, ou seja, que depende do referencial adotado.

Dessa forma, dizemos que um corpo está em **movimento** quando sua posição varia ao longo do tempo com relação ao referencial adotado. Se a posição de um corpo não se altera com o passar do tempo, ele está em **repouso** com relação ao referencial adotado.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Uma pessoa (A), parada ao lado de um ponto de ônibus, observa um ônibus passar. Ela vê uma pessoa (B) dentro do ônibus lendo um livro (C).



Davi Augusto Studio/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Analise as afirmativas a seguir e reescreva no caderno aquelas que estão incorretas, fazendo as correções necessárias e justificando-as.

a) Em relação a **A**, **B** está em movimento e **C** está em repouso.

b) Em relação a **A**, **B** está em repouso e **C** está em movimento.

c) Em relação a **A**, **B** e **C** estão em movimento.

Resolução

a) A afirmativa está incorreta, pois o livro, **C**, está em movimento em relação a **A**.

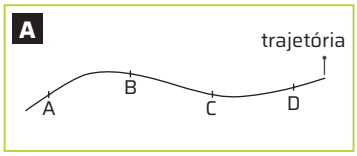
Correção possível: Em relação a **C**, **A** está em movimento e **B** está em repouso.

b) A afirmativa está incorreta, pois **B** está em movimento em relação a **A**.

Correção possível: Em relação a **B**, **C** está em repouso e **A** está em movimento.

c) A afirmativa está correta.

O conjunto das diversas posições ocupadas por um corpo em movimento é conhecido como **trajetória** (imagem **A**). Em outras palavras, a trajetória é o lugar geométrico das diversas posições ocupadas por um corpo em movimento em relação a um referencial. Portanto, a trajetória de um corpo sempre depende do referencial adotado.



ID/BR

As posições **A**, **B**, **C** e **D** foram ocupadas pelo corpo em movimento.

O acontecimento de qualquer tipo de fenômeno da natureza pressupõe a presença de um conceito primitivo conhecido como tempo. Para o estudo do movimento dos corpos, é importante diferenciar dois conceitos relacionados ao tempo: o instante de tempo (t) e o intervalo de tempo (Δt) (lê-se "delta t").

O **instante de tempo** (t) é uma medida realizada a partir de um instante inicial (t_0), ao qual usualmente é atribuído o valor zero ($t_0 = 0$). O **intervalo de tempo** (Δt) corresponde à duração de determinado evento, e, para calculá-lo, deve-se realizar a subtração entre o instante final (t) e o instante inicial (t_0), nessa ordem: $\Delta t = t - t_0$.

DenPhotos/Shutterstock.com/ID/BR

Atualmente, uma representação de ponto material muito comum é a de veículos em um GPS.

Quando as dimensões do corpo são irrelevantes para o estudo do movimento que ele está realizando, o corpo é chamado de **ponto material**; quando as dimensões do corpo são relevantes para o estudo do movimento, o corpo é denominado **corpo extenso**.

Um dos principais objetivos do estudo do movimento de um corpo é determinar sua posição. Para localizar um corpo com precisão, deve-se tomar um ponto de referência, que será a origem (O) da trajetória, e adotar uma escala de unidades e uma orientação para a trajetória.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Com base na foto A e fundamentando-se no conceito de movimento, responda às questões.

a) Tomando como referência a Terra, pode-se afirmar que a surfista está em movimento? Explique.

b) Tomando como referência a prancha de surfe, é **correto** afirmar que a surfista está em repouso? Explique.

Carlos Costa/AFP

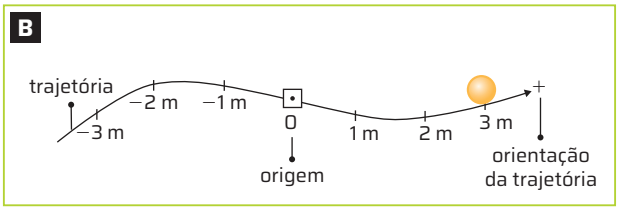
Surfista brasileira Maya Gabeira surfando em onda gigante na praia do Norte, em Nazaré, Portugal. Foto de 2022.

Resolução

a) Sim. Quando observamos a surfista em relação à Terra, percebemos que ela se desloca sobre a superfície da água. O rastro de espuma (trajetória em relação à água) deixado pela prancha na água mostra que, conforme o tempo passa, sua posição varia em relação ao referencial adotado.

b) Sim. À medida que o tempo passa, a surfista não altera sua posição em relação à prancha.

Dizemos que uma grandeza física é uma **grandeza escalar** quando basta um número e uma unidade de medida adequada para indicá-la. A **posição** (s) é uma grandeza escalar que permite localizar um ponto material em uma trajetória conhecida que apresenta origem e orientação (imagem **B**).



ID/BR

O corpo ocupa a posição 3 m nessa trajetória.

O movimento de um corpo em uma trajetória pode ser identificado pelo **deslocamento escalar** (Δs) (lê-se "delta s"), grandeza que representa a variação da posição de um corpo em certo intervalo de tempo: $\Delta s = s - s_0$.

Para o movimento de um corpo em uma trajetória, admite-se a noção de rapidez. **Velocidade escalar média** (v_m) é a grandeza que expressa a rapidez de um corpo em movimento e é definida como:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

A análise dessa relação permite algumas observações:

- O sinal da velocidade escalar média coincide com o sinal do deslocamento escalar. Assim, quando o deslocamento escalar for positivo, a velocidade escalar média será positiva. De modo contrário, quando o deslocamento escalar for negativo, a velocidade escalar média será negativa, já que intervalos de tempo são sempre positivos.
- No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade da velocidade escalar média é: $[v_m]$ = m/s. Já em situações do cotidiano, a unidade mais utilizada é o km/h.

A velocidade escalar média (v_m) expressa a velocidade que, se fosse constante, ocasionaria o mesmo deslocamento escalar realizado pelo corpo no mesmo intervalo de tempo considerado.

ROTEIRO

1. O número mostrado no painel de um elevador indica o andar (a posição) da cabine no instante em que a fotografia foi registrada.

Antpkr/Shutterstock.com/ID/BR

Na trajetória vertical desse dispositivo, sua origem é o térreo. Sabendo que a orientação da trajetória é para cima, qual é o significado de o número ser negativo?

O número ser negativo significa que, segundo o referencial, o andar em que a cabine do elevador se encontra está antes da marca zero da trajetória, ou seja, abaixo do térreo.

Não escreva no livro.

Em muitos casos, além de conhecer a velocidade média, é importante conhecer a velocidade do corpo, em um intervalo de tempo muito pequeno. Essa velocidade é conhecida como **velocidade escalar instantânea** (v).

A velocidade escalar instantânea (v) de um ponto material em um instante (t) é o valor a que tende a velocidade escalar média (v_m) em um intervalo de tempo (Δt) muito pequeno.

Matematicamente, tem-se:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t_{pequeno}}$$

Benz65/Shutterstock.com/ID/BR

Velocímetro de um carro marcando a velocidade instantânea em km/h.

Um exemplo de velocidade escalar instantânea é a velocidade indicada em determinado instante pelo velocímetro de um automóvel em movimento, ou seja, o **módulo** da velocidade instantânea, e que pode variar instante a instante dependendo se há uma aceleração ou uma frenagem.

módulo: magnitude ou tamanho de uma grandeza.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Um carro vai da cidade A à cidade B, situada a 50 km a leste de A, em 1 hora. Em seguida, esse carro volta pela mesma estrada até a cidade C, a 25 km de B, demorando meia hora nesse percurso. Calcule:

a) o deslocamento escalar de **A** até **C**;

b) a velocidade escalar média no trecho **AC**.

Resolução

Considere Δs_1 o deslocamento no trecho **AB**, Δs_2 o deslocamento no trecho **BC**, Δt_1 o intervalo de tempo do trecho **AB**, Δt_2 o intervalo de tempo do trecho **BC** e Δt_{total} o intervalo de tempo total.

Assim:

$\Delta s_1 = 50$ km; $\Delta s_2 = 25$ km;

$\Delta t_1 = 1$ h; $\Delta t_1 = 0{,}5$ h; $\Delta t_{total} = 1{,}5$ h

a) Considerando s_A a posição inicial e s_C a posição final de 25 km, o deslocamento escalar Δs de **A** até **C** é:

$\Delta s = s_C - s_A = 25 \text{ km} - 0 \text{ km} \Rightarrow \Delta s = 25 \text{ km}$

b) Para calcular a velocidade escalar média do carro no trajeto de **A** até **C**, fazemos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t_{total}} = \frac{25}{1{,}5} \cong 16{,}6 \therefore v_m \cong 16{,}6 \text{ km/h}$$

AÇÃO E CIDADANIA

Velocidade no trânsito: uma questão de educação

Além de estudar a definição de velocidade e suas aplicações físicas, é importante conhecer alguns usos do conceito de velocidade no trânsito. Note o que recomenda a cartilha *Direção defensiva*, publicada pelo Denatran (Departamento Nacional de Trânsito).

[...]

Você tem a obrigação de dirigir numa velocidade compatível com as condições da via, respeitando os limites de velocidade estabelecidos.

Embora os limites de velocidade sejam os que estão nas placas de sinalização, há determinadas circunstâncias momentâneas nas condições da via – tráfego, condições do tempo, obstáculos, aglomeração de pessoas – que exigem que você reduza a velocidade e redobre sua atenção, para dirigir com segurança. Quanto maior a velocidade, maior é o risco e mais graves são os acidentes e maior a possibilidade de morte no trânsito. [...]

Toda infração é passível de uma penalização. Uma multa, por exemplo. Algumas infrações, além da penalidade, podem ter uma consequência administrativa, ou seja, o agente de trânsito deverá adotar "medidas administrativas", cujo objetivo é impedir que o condutor continue dirigindo em condições irregulares.

[...]

Brasil. Ministério das Cidades. Denatran. *Direção defensiva*: trânsito seguro é um direito de todos. [Brasília, DF:] Denatran: Ministério das Cidades, 2005. p. 30, 31, 56.

O excesso de velocidade e a ingestão de bebida alcoólica respondem pelo maior número de multas de trânsito e por um número elevado de mortes em acidentes rodoviários. Não bastam apenas a instalação de radares nas avenidas e a sinalização das vias públicas. É necessário que o motorista respeite a vida e exerça a cidadania. Um dos instrumentos para conscientizar os motoristas são as campanhas públicas para a educação no trânsito.

1. Forme grupo com os colegas para elaborar uma mensagem informativa, visando à conscientização no trânsito.

2. Criem um título para ela e apresentem-na ao restante da turma e, depois, para toda a comunidade escolar.

1. e **2.** Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes organizem uma campanha em redes sociais, por exemplo.

MOVIMENTO UNIFORME (MU)

O **movimento uniforme** (MU) é um tipo de movimento em que o valor da velocidade se mantém constante.

No movimento uniforme, as distâncias percorridas são iguais para intervalos de tempo iguais. Por isso, a velocidade escalar instantânea é igual à velocidade escalar média em todos os instantes.

A tabela a seguir mostra as posições de um veículo em movimento de acordo com o tempo. Neste exemplo, o tempo começa a ser contado no momento em que o carro passa pelo marco de 300 metros da estrada.

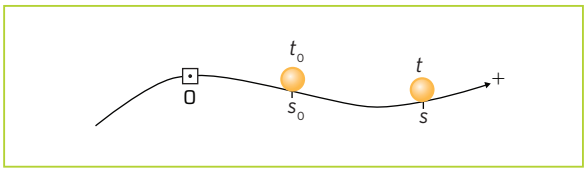
Instante *t* (s)	Posição *s* (m)
0 (4 s)	300 (100 m)
4 (4 s)	400 (100 m)
8	500
12	600
16	700

De acordo com os dados da tabela, é possível perceber que o automóvel percorreu 100 metros a cada 4 segundos, ou seja, ele percorreu distâncias iguais em intervalos de tempo iguais. Portanto, o automóvel realizou um movimento uniforme, com velocidade de 25 metros a cada 1 segundo (25 m/s).

Função de posição do movimento uniforme

A descrição do movimento uniforme (MU) é feita por meio de uma expressão matemática que descreve a posição de um móvel em função do tempo. A essa expressão dá-se o nome de **função de posição** ou **função horária da posição no MU**.

Consideremos um ponto material em movimento em uma trajetória com origem *O* e sentido indicado na figura a seguir, realizando um movimento uniforme (MU). Nesse caso, s_0 é a posição inicial do corpo, t_0 é a medida do instante inicial, e *s* é a posição do móvel em um instante de tempo *t* posterior.



ID/BR

Como se trata de um MU, a velocidade escalar instantânea (*v*) coincide com a velocidade escalar média (v_m).

$$v = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

Como essa expressão é válida para um intervalo de tempo qualquer, uma vez fixados o instante e a posição iniciais, pode-se isolar a grandeza *s* no primeiro membro da equação. Dessa maneira, a descrição do movimento do corpo é dada pela função: $s = s_0 + v(t - t_0)$.

Essa é a **função de posição de um móvel** em movimento uniforme. Se a escolha do instante inicial for zero, isso significa que a contagem de tempo começa com o cronômetro zerado. Nesse caso, a função de posição será:

$$s = s_0 + v \cdot t$$

ROTEIRO

2. Escreva, no caderno, a função de posição de um esqueitista que percorre uma pista muito lisa. Considere que a contagem do tempo se iniciou no momento em que ele estava na posição 10 m a partir de uma bandeira tomada como origem e que ele se move com velocidade constante de módulo igual a 4 m/s. $s = 10 + 4 \cdot t$

Não escreva no livro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Considerando um aeroporto como referencial, um avião em pleno voo tem seu movimento descrito pela função horária $s = 100 + 700t$, sendo a posição medida em km, e o tempo, em horas. Determine o que se pede em cada item a seguir.**
  - a) A posição inicial do avião em relação à origem.
  - b) A velocidade com que o avião trafega.
  - c) A posição do avião depois de 2 horas de voo.
  - d) Quanto tempo o avião leva para chegar a uma cidade a 2 200 km do aeroporto do qual partiu, considerado como a origem do sistema.

Resolução

a) A posição inicial pode ser obtida diretamente da função horária por comparação $s = s_0 + vt$; seu valor é $s_0 = 100$ km.

b) O valor da velocidade é o número que multiplica o tempo na função; no caso, $v = 700$ km/h.

c) A posição do avião após 2 horas de voo é dada a partir da substituição do valor de t na função. Assim:

$s = 100 + 700 \cdot 2 = 100 + 1400 = 1500$

Portanto, após 2 horas de voo, o avião está na posição 1500 km.

d) O instante em que o avião atinge a posição $s = 2200$ km pode ser obtido pela substituição desse valor na função horária.

$s = 100 + 700\,t \Rightarrow 2200 = 100 + 700\,t$

Colocando t no primeiro lado da igualdade, obtemos:

$-700\,t = 100 - 2200 \Rightarrow -700\,t = -2100$

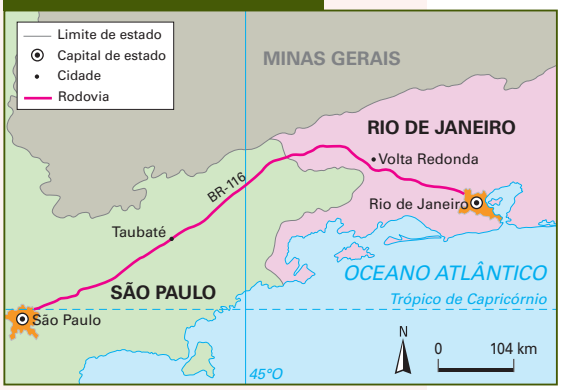
Multiplica-se o resultado por (-1) e coloca-se t em evidência:

$t = \dfrac{+2100}{700} \Rightarrow t = 3$ h

Portanto, o avião leva 3 horas para chegar à posição 2 200 km.

- **Um carro parte de Taubaté (SP) às 11 h, em direção à cidade do Rio de Janeiro, pela rodovia Presidente Dutra (BR-116). Sabe-se que a distância entre Taubaté e o centro de São Paulo é 130 km e entre São Paulo e Rio de Janeiro é 430 km. O motorista chegou a seu destino às 15 h 30 min.**
  - a) Determine a função de posição, considerando a velocidade constante e a origem da trajetória no centro de São Paulo.
  - b) Calcule quanto tempo, em hora, o carro demora para chegar até a cidade de Volta Redonda, distante 204 km de São Paulo.

RODOVIA PRESIDENTE DUTRA



Allmaps/ID/BR

Fonte de pesquisa: *Atlas geográfico escolar*. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. p. 90.

Resolução

a) A posição inicial em relação a São Paulo é $s_0 = 130$ km. Para calcular a velocidade, podemos chamar a posição final de $s = 430$ km; a posição inicial, $s_0 = 130$ km; o instante final, $t_f = 15h30min$ (15,5h); e o instante inicial, $t_0 = 11h$.

Usando a expressão da velocidade:

$v = \dfrac{s - s_0}{t - t_0} \Rightarrow v = \dfrac{430 - 130}{15{,}5 - 11} \Rightarrow$

$\Rightarrow v = \dfrac{300}{4{,}5} \Rightarrow v \cong 66{,}7$ km/h

Assim: $s = 130 + 66{,}7\,t$.

b) Para saber o tempo que o automóvel leva para chegar a Volta Redonda, basta substituir a posição da cidade em relação à referência na função de posição obtida no item **a**.

$s = 130 + 66{,}7\,t \Rightarrow 204 = 130 + 66{,}7\,t \Rightarrow$

$\Rightarrow -66{,}7\,t = 130 - 204 \Rightarrow$

$\Rightarrow t = \dfrac{74}{66{,}7} \Rightarrow t \cong 1{,}11 \therefore t \cong 1{,}11$ h

Gráficos do movimento uniforme

Além da função de posição, outra ferramenta utilizada para descrever os movimentos é o gráfico. No caso do movimento uniforme, dois gráficos são particularmente úteis: o que apresenta a relação da posição em função do tempo ($s \times t$) e o que apresenta a relação da velocidade desenvolvida em função do tempo ($v \times t$).

Acompanhe a seguinte situação:

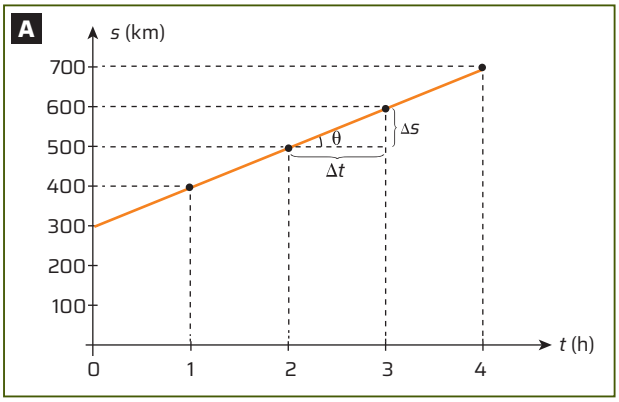
Um trem percorreu 400 km entre duas cidades com velocidade constante. Seu tempo de percurso foi marcado a cada 100 km da ferrovia e contado a partir da posição 300 km em relação a um referencial. Os dados obtidos sobre as posições e os instantes do movimento estão representados na tabela a seguir.

Instante *t* (h)	0	1	2	3	4
Posição *s* (km)	300	400	500	600	700

Gráfico da posição em função do tempo ($s \times t$)

Para construir o gráfico da posição em função do tempo ($s \times t$) com os dados da tabela, representa-se a posição no eixo das ordenadas e o instante no eixo das abscissas.

ID/BR



As distâncias percorridas são iguais para intervalos de tempo iguais. O trem percorre 100 km a cada 1 h.

Por se tratar de um movimento uniforme, a expressão que o descreve é a função de posição, representada graficamente por uma reta inclinada em relação aos eixos, como se vê no gráfico. Além disso, como as posições aumentam com o passar do tempo, a velocidade é positiva, o que caracteriza o gráfico da posição em função do tempo como uma reta crescente.

Determinação gráfica da velocidade

A inclinação da reta pode ser representada por um ângulo θ, cuja tangente é chamada **coeficiente angular** (m) e é dada por:

$$m = \text{tg}\,\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$$

Veja como obter o coeficiente angular da reta com base no gráfico **A**.

- O cateto oposto equivale ao módulo do deslocamento escalar, dado por: $\Delta s = s - s_0$.
- O cateto adjacente equivale ao intervalo de tempo, dado por: $\Delta t = t - t_0$.
- O coeficiente angular é dado por: $m = \dfrac{s - s_0}{t - t_0}$.

Essa expressão é a mesma da velocidade. Portanto, conclui-se que a velocidade é numericamente igual $\left(\overset{N}{=}\right)$ ao próprio coeficiente angular de inclinação da reta no gráfico do movimento uniforme. Logo:

$$v \overset{N}{=} m$$

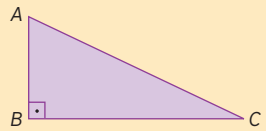
No caso do exemplo apresentado, tem-se:

$$v \overset{N}{=} m = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} = \frac{100}{1} = 100 \Rightarrow v = 100\ \text{km/h}$$

DE OLHO NO CONCEITO

Triângulo retângulo

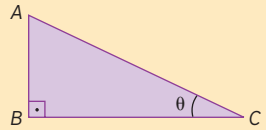
Em Geometria, os lados de um triângulo retângulo recebem nomes especiais: catetos são os dois lados menores que formam seu ângulo reto; hipotenusa é o lado maior.



ID/BR

Cada ângulo agudo do triângulo é formado por um cateto e pela hipotenusa.

Considere o ângulo agudo θ:



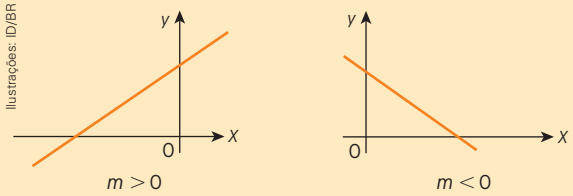
ID/BR

- cateto adjacente ao ângulo θ: $\overline{BC}$
- cateto oposto ao ângulo θ: $\overline{AB}$

Função polinomial do 1º grau ou função afim

Chama-se função polinomial do 1º grau (ou função afim, ou função linear) toda função do tipo $y = mx + b$, em que m é denominado coeficiente angular (sendo $m \neq 0$) e b é o coeficiente linear. A curva dos gráficos que representam essas funções é sempre reta.

Ilustrações: ID/BR



Não escreva no livro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **O gráfico ao lado representa a posição de uma partícula em função do tempo.**

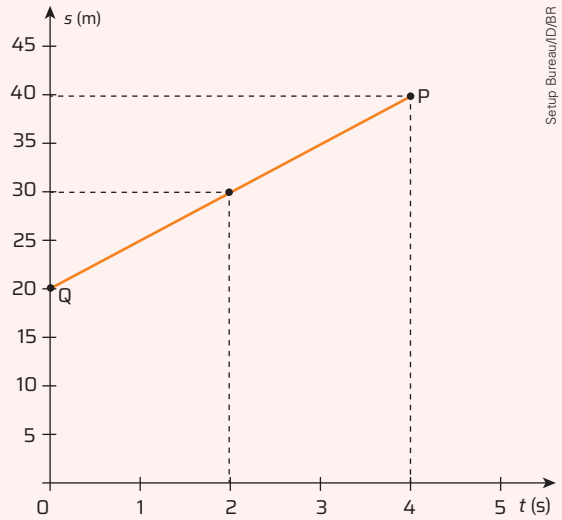
  Com base nesse gráfico, responda às questões a seguir.

  a) Pode-se dizer que o movimento representado no gráfico é uniforme?

  b) Pode-se dizer que o movimento é retilíneo? Justifique.

  c) Qual é a posição inicial da partícula?

  d) Qual é o valor da velocidade?



Resolução

a) O gráfico da posição em função do tempo mostra uma reta. Portanto, o movimento representado é uniforme.

b) Não é possível saber se o movimento é retilíneo, pois o gráfico não fornece informação alguma sobre a direção do movimento ou a forma da trajetória.

c) A posição inicial da partícula é 20 m.

d) Para calcular o módulo da velocidade é preciso obter o coeficiente angular da reta, tomando as coordenadas de dois pontos quaisquer. Escolhendo *P* (4; 40) e *Q* (0; 20), obtemos:

$$\text{tg}\ \theta = \frac{40 - 20}{4 - 0} = \frac{20}{4} \Rightarrow \text{tg}\ \theta = 5$$

Como o módulo da velocidade é numericamente igual ao coeficiente angular da reta, $v = 5$ m/s.

- **A função de posição de determinado movimento é dada pela expressão $s = -5 + 6t$. Faça o gráfico desse movimento e explique se a velocidade é positiva ou negativa.**

Resolução

Para construir o gráfico desse movimento, vamos atribuir valores para o tempo e calcular sua posição correspondente.

Quando $t = 0$: $s = -5 + 6 \cdot 0 \Rightarrow s = -5$ m

Quando $t = 1$: $s = -5 + 6 \cdot 1 \Rightarrow s = +1$ m

Com base nesses cálculos, construímos a tabela e o gráfico a seguir.

t (s)	*s* (m)
0	−5
1	1
2	7
3	13
4	19

Como a inclinação da reta é positiva, a velocidade é positiva.

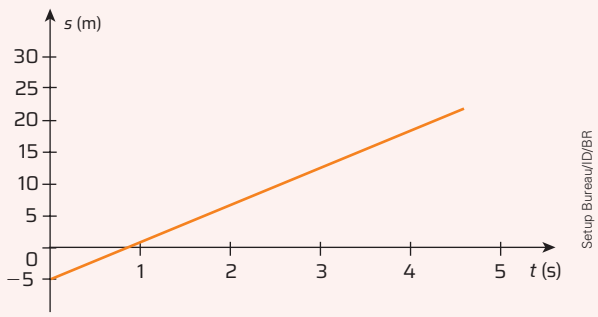


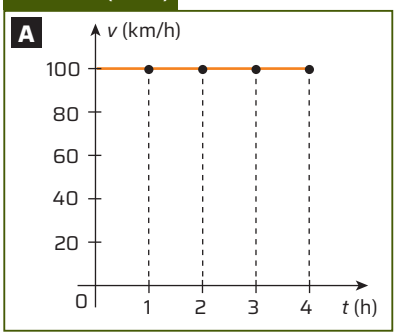
Gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$)

Como vimos anteriormente, no movimento uniforme, a intensidade da velocidade não varia. No caso de um trem em movimento, por exemplo, caso fosse anotada a velocidade do trem ao longo do tempo, os dados obtidos seriam como os da tabela a seguir.

Instante (h)	0	1	2	3	4
Velocidade (km/h)	100	100	100	100	100

Para construir o gráfico da velocidade em função do tempo com os dados da tabela, representa-se a velocidade no eixo das ordenadas e o instante no eixo das abcissas (gráfico **A**).

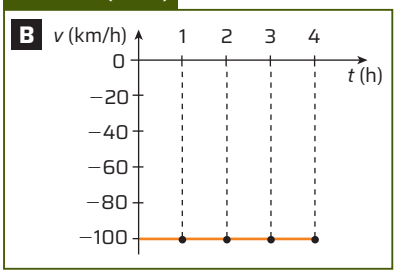
GRÁFICO ($v \times t$)



A curva do gráfico ($v \times t$) do MU sempre será paralela ao eixo do tempo.

Observe que esse gráfico representa uma função constante. Todas as vezes em que o movimento for uniforme, o gráfico da velocidade será uma reta paralela ao eixo do tempo, ou seja, uma reta horizontal. Como o trem se desloca a favor da orientação da trajetória, sua velocidade é positiva e o gráfico é uma reta horizontal acima do eixo do tempo. Caso o trem se deslocasse contra a orientação da trajetória, sua velocidade seria negativa e o gráfico da velocidade seria uma reta horizontal abaixo do eixo do tempo (gráfico **B**).

GRÁFICO ($v \times t$)

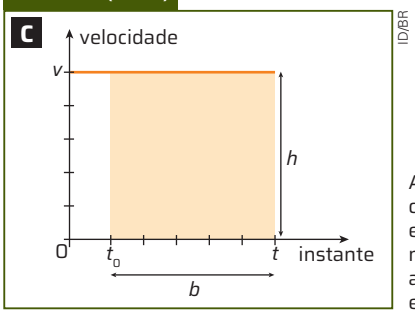


Determinação do deslocamento escalar a partir do gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$)

O gráfico **C** representa a generalização do gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$) de um movimento uniforme, no qual o deslocamento é realizado a favor da orientação da trajetória, portanto, com velocidade positiva.

Sabe-se que a área A de um retângulo (como o destacado em laranja no gráfico **C**) de base b e altura h é dada por: $A = b \cdot h$.

GRÁFICO ($v \times t$)



A área delimitada pela curva da função e o eixo do tempo é numericamente igual ao deslocamento escalar do móvel.

Como h corresponde ao valor de v e como b corresponde ao valor de $t - t_0$ (Δt), tem-se:

$$A = v \cdot \Delta t$$

Da definição de velocidade média, sabe-se que $\Delta s = v \cdot \Delta t$, em que Δs é o deslocamento escalar. Logo:

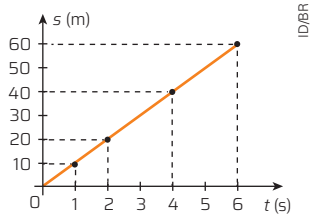
$$\Delta s \overset{N}{=} A$$

No gráfico da velocidade em função do tempo, o valor do deslocamento escalar é numericamente igual à área limitada pelo eixo horizontal e a curva da função. No exemplo apresentado, tem-se:

$$\Delta s \overset{N}{=} A = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s = 100 \cdot 4 = 400 \Rightarrow \Delta s = 400 \text{ km}.$$

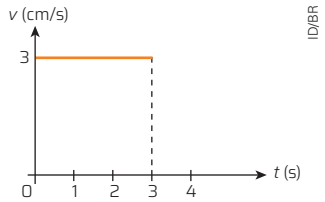
ROTEIRO

3. O movimento de um corpo é descrito por este gráfico:



No instante $t = 10$ s, qual será a distância do corpo em relação ao ponto de partida? 100 m

4. Calcule o deslocamento escalar efetuado pelo móvel cujo movimento é descrito pelo gráfico a seguir. 9 cm



Não escreva no livro.

1. Outras preocupações relacionadas ao uso de carros autônomos são, por exemplo, o impacto disso no mercado de trabalho para motoristas (como taxistas e motoristas por aplicativo) e a segurança cibernética.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Uma moto mantém sua velocidade praticamente constante ao longo de uma rua, em movimento com velocidade negativa em relação ao referencial de intensidade de 60 km/h durante 6 min.

a) Construa o gráfico da velocidade em função do tempo.

b) Determine o valor do deslocamento escalar da moto durante seu trajeto.

Julio Ricco/iStock/Getty Images

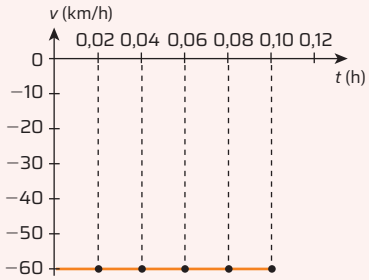
As motos são cada vez mais frequentes nas grandes cidades porque permitem percorrer distâncias em menos tempo em comparação com os carros.

Resolução

a) Como a velocidade está em km/h, vamos converter 6 minutos em horas.

$$\frac{1\text{ h}}{\Delta t} = \frac{60}{6} \Rightarrow \Delta t = \frac{6}{60} \Rightarrow \Delta t = 0{,}1\text{ h}$$

Como a velocidade é negativa e permanece constante ao longo do tempo, podemos construir o gráfico a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

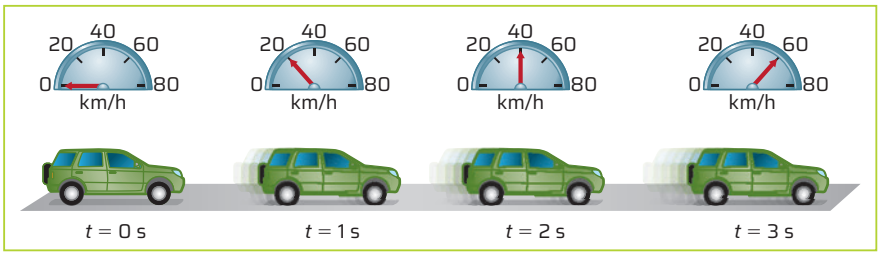
b) O deslocamento escalar será numericamente igual à área do retângulo mostrado no gráfico. Por essa razão, utilizamos somente o valor absoluto da velocidade.

área $= b \cdot h = 60 \cdot 0{,}1 = 6 \therefore \Delta s = -6$ km

O deslocamento escalar foi de 6 km.

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO (MUV)

Há movimentos nos quais a velocidade varia de acordo com certo padrão, como mostra o esquema a seguir, em que a indicação do velocímetro de um carro que se movimenta partindo do repouso é alterada.



Ilustrações: Alex Argozino/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Representação da variação da velocidade de um carro.

Pelo velocímetro representado, é possível medir a velocidade do carro em diversos instantes e verificar que ela aumenta 20 km/h a cada segundo. Nesse caso, a velocidade varia de maneira constante (uniformemente), ou seja, sua variação é sempre a mesma para cada intervalo igual de tempo. Essa característica define o **movimento uniformemente variado (MUV)**.

Movimento uniformemente variado (MUV) é o movimento no qual a variação da velocidade é a mesma para intervalos de tempo iguais.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Inteligência Artificial e os carros autônomos

A Inteligência Artificial (IA) tem sido aplicada para conduzir carros de forma autônoma, ou seja, sem a necessidade de um motorista.

Sensores, como câmeras e radares, captam dados sobre o ambiente e essas informações são processadas pela IA. Aplicando os princípios da Cinemática, a IA calcula com precisão a velocidade, a aceleração e a posição do carro e de outros veículos e objetos ao seu redor. Com essas informações, a IA toma decisões como desviar de algo, parar ou acelerar o carro.

Essa nova tecnologia tem levantado questões éticas, principalmente em relação à segurança no trânsito. Em uma situação de acidente inevitável, por exemplo, como a IA vai decidir entre proteger os passageiros do veículo ou os pedestres? Além disso, existem outros impactos que essa tecnologia pode trazer para a sociedade.

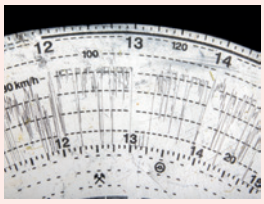
1. Imagine que está sendo discutida na sua cidade a liberação do uso de carros autônomos para aplicativos de transporte. Quais preocupações, além da apresentada no texto, você considera que deveriam ser discutidas nesse processo de aprovação?

AÇÃO E CIDADANIA

Tacógrafo

O tacógrafo, também conhecido como registrador instantâneo inalterável de velocidade e tempo, é um instrumento utilizado para registrar graficamente a velocidade de um veículo. Ele é obrigatório em veículos de transporte de passageiros com mais de dez lugares.

Nesse instrumento, existe um disco de papel, como o da imagem a seguir, em que ficam registradas as velocidades atingidas pelo veículo durante as viagens.



Piotr Wytrazek/Shutterstock.com/ID/BR

1. Discuta com os colegas: Qual é a importância desse registro em um eventual acidente de trânsito?

1. O registro é importante porque fornece dados precisos sobre a velocidade do veículo, o tempo de condução e as paradas realizadas antes do acidente.

PARA EXPLORAR

Acesse

Movimento com aceleração constante

Nesse simulador desenvolvido pelo professor Walter Fendt, é possível simular o movimento de um carro em uma trajetória retilínea variando as grandezas físicas como posição, velocidade e aceleração e observar os gráficos das funções desse movimento.

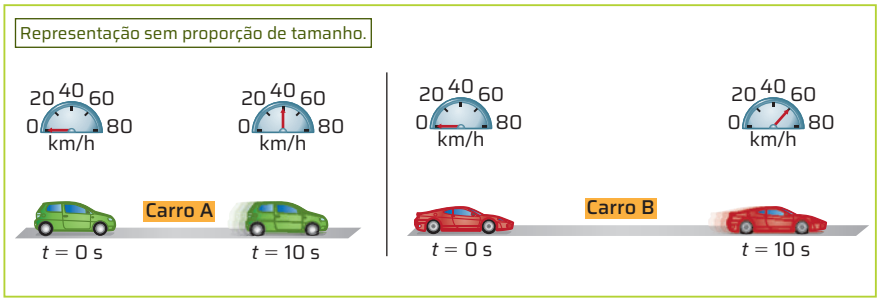
Disponível em: https://www.walter-fendt.de/html5/phpt/acceleration_pt.htm. Acesso em: 20 set. 2024.

Aceleração escalar média

No movimento uniformemente variado (MUV), o módulo da velocidade sofre variação no decorrer do tempo. Para medir essa variação, pode-se utilizar uma grandeza denominada **aceleração escalar média**.

Aceleração escalar média é a grandeza que indica a taxa de variação da velocidade escalar com a passagem do tempo em um determinado intervalo de tempo.

O exemplo a seguir mostra como a aceleração, em uma corrida entre dois automóveis, **A** e **B**, que partem do repouso, pode ser calculada com base na indicação dos velocímetros em diferentes instantes.



Ilustrações: Alex Argozino/ID/BR

Comparativo da variação de velocidade de dois modelos de automóvel em um mesmo intervalo de tempo.

Observando os velocímetros representados no esquema, é possível verificar que a velocidade final do carro **B** é maior que a do carro **A**.

No intervalo de 10 s, a velocidade do carro **A** variou 40 km/h, enquanto a velocidade do carro **B** variou 60 km/h.

Matematicamente, a aceleração escalar média (a_m) é definida pela expressão:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Quando a aceleração de um corpo é constante, a velocidade varia uniformemente. Essa é a característica fundamental de um movimento uniformemente variado (MUV), o que também implica afirmar que a aceleração escalar instantânea é igual à aceleração escalar média em todos os instantes.

A função de velocidade no MUV

Como no **MUV** a aceleração escalar instantânea de um corpo é igual à aceleração escalar média, temos:

$$a = a_m = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Se o instante inicial t_0 for nulo, tem-se:

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0} \Rightarrow v - v_0 = a \cdot t$$

Assim, obtém-se a função de velocidade no MUV, dada por:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Com essa função, é possível obter os valores da velocidade v em qualquer instante t.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **O tacógrafo é um instrumento usado para registrar e monitorar a velocidade de um veículo. De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), o uso do tacógrafo é obrigatório, por exemplo, em veículos de transporte escolar e em veículos que transportam produtos perigosos a granel. A tabela a seguir apresenta registros de velocidade do tacógrafo de um caminhão.**

  Observe a tabela e faça o que se pede.

Trecho	Velocidade média (km/h)	Velocidade máxima (km/h)
1	29	60
2	34	51
3	23	54
4	38	80
5	17	45
6	30	72

a) Identifique se, nos trechos registrados, o caminhão realizou movimento uniforme ou movimento com velocidade variável. Justifique sua resposta.

b) A tabela indica um trecho em que o caminhão atingiu velocidade máxima de 54 km/h. Considere que, partindo do repouso, o caminhão atingiu essa velocidade após 1 minuto e calcule, em unidades do SI, sua aceleração escalar média nesse intervalo de tempo.

Resolução

a) Analisando os registros de velocidade do tacógrafo, podemos verificar que a velocidade do caminhão nos trechos registrados variou. Portanto, o caminhão realizou um movimento com velocidade variável.

b) Para obter a aceleração em unidades do SI, devemos converter as unidades de velocidade e de tempo. Assim:

54 km = 54 000 m, e 1 h = 3 600 s. Logo:

54 km/h = 15 m/s

1 min = 60 s

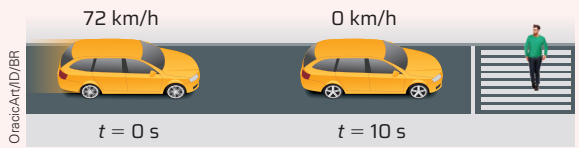
Calculando a aceleração escalar média, temos:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{15 - 0}{60} \Rightarrow a_m = 0{,}25 \text{ m/s}^2$$

Portanto, a aceleração escalar média do caminhão no intervalo considerado foi 0,25 m/s².

- **Um motorista está em uma avenida dirigindo seu carro a 72 km/h, como ilustrado a seguir. Ao observar um pedestre atravessando a pista na faixa de segurança, o motorista pisa no freio e para o carro em 10 s.**

Representação sem proporção de tamanho.



OracicArt/ID/BR

Considerando que, durante a frenagem, o carro realizou um movimento uniformemente variado, determine:

a) a aceleração escalar média em unidades do SI;

b) a função de velocidade.

Resolução

a) Para obter a aceleração em unidades do SI, devemos converter a unidade da velocidade de km/h para m/s. Como 72 km/h = 20 m/s, temos:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{0 - 20}{10} \Rightarrow a_m = -2 \text{ m/s}^2$$

Portanto, a aceleração escalar média do carro é −2 m/s². O sinal negativo indica que a velocidade está decrescendo.

b) A função de velocidade no MUV é dada por:

$v = v_0 + a \cdot t$.

Como v_0 = 20 m/s e a = −2 m/s², temos:

$v = 20 - 2t$.

DE OLHO NO CONCEITO

Transformação de unidades de velocidade

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a velocidade escalar média é expressa em metro por segundo (m/s), mas outras unidades também são usadas, como o quilômetro por hora (Km/h), sendo essa a unidade comercial mais usada em situações do cotidiano.

Veja a seguir como fazer a transformação da unidade de medida de km/h para m/s, considerando uma velocidade de 1 km/h.

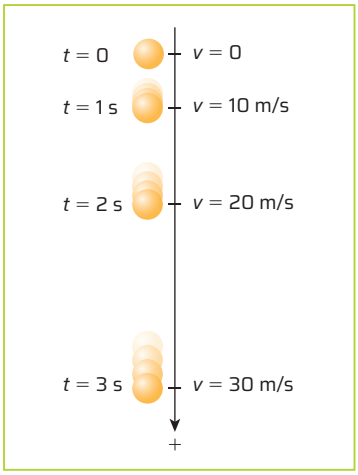
1 km/h = 1 000 m/3 600 s

1 km/h = 1 m/3,6 s

3,6 km/h = 1 m/s

Sendo assim, um deslocamento de 3,6 km a cada 1 h corresponde ao de 1 m a cada 1 s.

Gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$)



Queda livre com trajetória orientada para baixo.

Dizemos que estão em **queda livre** os corpos que se movem próximo à superfície terrestre e que se deslocam verticalmente para baixo sob a ação exclusiva da gravidade, isto é, no vácuo ou em uma situação em que a força de resistência do ar é desprezível. Em queda livre, o módulo da velocidade dos corpos aumenta, ou seja, o movimento é acelerado. Essa aceleração, conhecida como **aceleração da gravidade**, geralmente é indicada por g. Em corpos abandonados do repouso próximo à superfície terrestre, a aceleração da gravidade é praticamente constante e corresponde a cerca de 10 m/s²; logo, a queda livre é considerada um movimento uniformemente variado.

Tomando como exemplo um corpo em queda livre e abandonado a partir do repouso, com a trajetória orientada para baixo, como no esquema ao lado, obtém-se a seguinte função da velocidade:

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + 10t$$

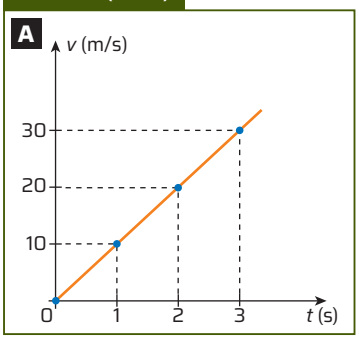
Substituindo na função alguns valores de t, como $t = 1$s, $t = 2$s e $t = 3$s, tem-se:

Velocidade (v)	0	10 m/s	20 m/s	30 m/s
Instante (t)	0	1 s	2 s	3 s

Transferindo os valores dessa tabela para o plano do gráfico e ligando os pontos, constrói-se o gráfico **A**.

Como a função que relaciona a velocidade e o tempo no MUV é uma função do 1º grau, a curva do gráfico é uma reta. Nesse caso, a aceleração positiva do corpo determina uma reta crescente, como a reta ilustrada no gráfico **A**.

GRÁFICO ($v \times t$)

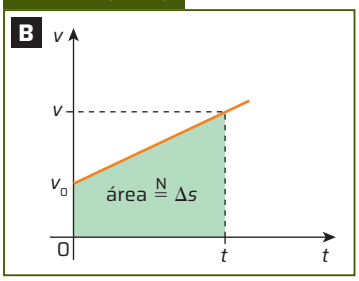


Note que a variação da velocidade é a mesma para intervalos de tempo iguais.

O gráfico da velocidade e o deslocamento escalar

Como já vimos, em um gráfico da velocidade em função do tempo, a área delimitada entre a curva do gráfico e o eixo do tempo corresponde ao deslocamento escalar desenvolvido pelo corpo. No gráfico **B**, está representada a curva de um corpo que realiza um MUV com velocidade inicial v_0 no instante inicial $t_0 = 0$.

GRÁFICO ($v \times t$)

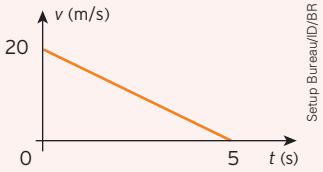


A área sob a curva é numericamente igual ao deslocamento escalar.

ATIVIDADE RESOLVIDA

O gráfico a seguir mostra a velocidade de um objeto em função do tempo.

Analise o gráfico e determine:



a) o valor da aceleração escalar do objeto;

b) a função de velocidade;

c) o valor da velocidade no instante $t = 2$ s.

Resolução

a) No instante inicial ($t = 0$), a velocidade é 20 m/s; no instante final ($t = 5$ s), a velocidade é nula. Assim, temos:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{0 - 20}{5 - 0} \Rightarrow a_m = -4 \text{ m/s}^2$$

b) A função de velocidade no MUV é:

$$v = v_0 + at$$

Como a velocidade inicial (v_0) é 20 m/s e a aceleração é -4 m/s², obtemos a seguinte função da velocidade: $v = 20 - 4t$.

c) Para determinar a velocidade no instante $t = 2$ s, fazemos:

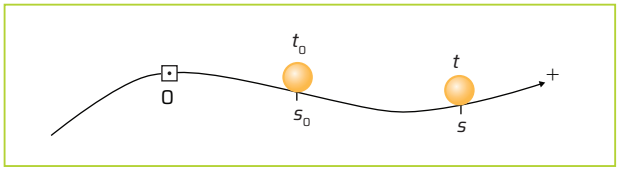
$$v = 20 - 4t \Rightarrow v = 20 - 4 \cdot 2 \Rightarrow v = 12 \text{ m/s}$$

Não escreva no livro.

A função de posição no MUV

Para conseguir prever as posições de um corpo móvel que esteja realizando um MUV, pode-se deduzir uma equação com base no gráfico da velocidade em função do tempo ($v \times t$). Essa equação é conhecida como **função de posição**.

Inicialmente, considera-se um corpo que, em determinado instante inicial t_0, ocupa uma posição inicial s_0 em uma trajetória com origem e orientação conforme a figura a seguir.



Representação de um móvel em dois instantes.

O gráfico da velocidade em função do tempo desse MUV obedece à função $v = v_0 + a \cdot t$. Portanto, essa curva é representada por uma reta no diagrama $v \times t$.

A área delimitada entre a linha do gráfico e o eixo do tempo corresponde, numericamente, ao valor do deslocamento escalar realizado pelo corpo. O cálculo dessa área é a soma dos valores da área do retângulo (representado em laranja) e a do triângulo (representado em azul), como mostrado a seguir.

$$\Delta s = \text{área do retângulo} + \text{área do triângulo}$$

$$\Delta s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t \cdot t}{2} \Rightarrow s - s_0 = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Portanto, a função de posição no MUV é representada por esta expressão:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

GRÁFICO ($v \times t$)

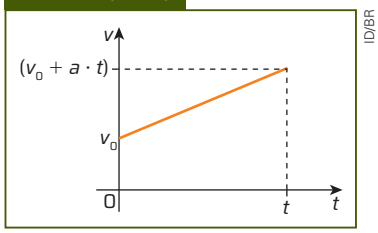
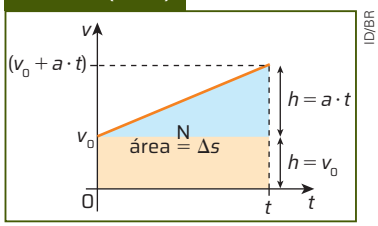


Gráfico ($v \times t$) com variação positiva da velocidade.

GRÁFICO ($v \times t$)



A partir da análise da área do gráfico ($v \times t$) é possível chegar à função da posição no MUV.

Equação de Torricelli

A equação de Torricelli permite relacionar diretamente a variação de velocidade com o deslocamento escalar sem que o intervalo de tempo seja conhecido. O cálculo da velocidade final envolve três grandezas: a velocidade inicial, a aceleração e o deslocamento escalar.

Para deduzir a equação de Torricelli, pode-se, inicialmente, isolar o instante de tempo (t) na função da velocidade de um MUV:

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow t = \frac{(v - v_0)}{a}$$

Em seguida, pode-se substituir esse instante de tempo na função de posição do MUV:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{(a \cdot t^2)}{2} \Rightarrow s - s_0 = v_0 \frac{(v - v_0)}{a} + a \cdot \frac{\frac{(v - v_0)^2}{a^2}}{2}$$

Realizando algumas operações algébricas, tem-se a **equação de Torricelli**:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

A equação de Torricelli não envolve o instante de tempo, por isso pode ser utilizada em casos em que essa variável não é explicitamente apresentada.

Acelerado ou retardado?

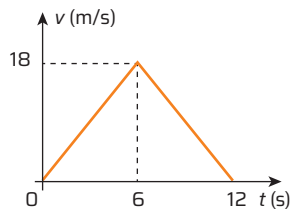
O movimento uniformemente variado pode ser classificado em movimento acelerado ou em movimento retardado, conforme o comportamento do módulo da velocidade.

Por exemplo, em um lançamento vertical para cima, durante a subida, o corpo realiza um **movimento retardado**, pois o módulo da velocidade diminui ao longo do tempo. Durante a descida, o corpo realiza um **movimento acelerado**, pois o módulo da velocidade aumenta ao longo do tempo.

$$|v| \begin{cases} \text{Aumenta: acelerado} \\ \text{Diminui: retardado} \end{cases}$$

ROTEIRO

5. O gráfico a seguir mostra a velocidade de um automóvel em função do tempo. Analise o gráfico e faça o que se pede.



ID/BR

a) Classifique o movimento do automóvel em MU ou MUV. Justifique sua resposta.

b) Calcule a aceleração do automóvel entre os instantes 0 e 6 s e entre os instantes 6 s e 12 s. 3 m/s² e −3m/s².

c) Determine a velocidade do carro no instante 2 s. 6 m/s

d) Calcule a distância percorrida pelo automóvel entre os instantes 0 e 12 s. 108 m

6. Um corpo parte do ponto **A** de uma trajetória (s_0 = 13 km) com velocidade inicial v_0 = 10 m/s. Realizando um MUV, esse corpo chega ao ponto **B** da trajetória 30 minutos após ter saído de **A**. Com base somente nessas informações, é possível determinar o valor da aceleração desse corpo? Por quê?

5. a) MUV, pois a velocidade varia com o tempo.
6. É impossível, porque faltam informações como a posição final ou a velocidade final.

O gráfico de posição em função do tempo no MUV

Como vimos, um corpo em queda livre realiza um MUV, e sua aceleração é a aceleração da gravidade, que vale aproximadamente 10 m/s².

Para analisar algumas características desse movimento, pode-se orientar a trajetória para baixo e adotar como origem a posição a partir da qual o corpo foi abandonado, conforme o esquema de queda livre da página 46. Nesse caso, como o movimento é acelerado, a aceleração do corpo é positiva. Assim, a função de posição do movimento é:

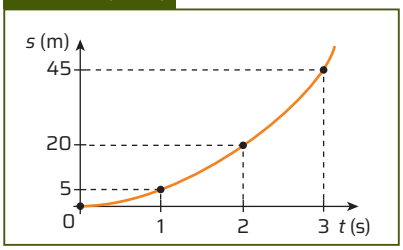
$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{(a \cdot t^2)}{2} \Rightarrow s = 0 + 0 \cdot t + \frac{(10 \cdot t^2)}{2} \Rightarrow s = 5 \cdot t^2$$

Com base na função de posição, é possível construir uma tabela e um gráfico que relacionam a posição com o tempo na queda livre a partir do repouso.

Instante (s)	Posição (m)
0	0
1	5
2	20
3	45

O gráfico a seguir representa um arco de parábola com a concavidade para cima, pois o sinal do número que acompanha o termo quadrático, determinado pela aceleração, é positivo.

GRÁFICO ($s \times t$)



ID/BR

A curva do gráfico da posição em função do tempo no MUV é um arco de parábola.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Os poços artesianos são uma alternativa para obter água em regiões nas quais não há abastecimento. Para determinar a profundidade de um poço artesiano, uma pessoa abandona uma pedra de seu topo e, após 3 s, ouve o som da pedra batendo na água. Desprezando a resistência do ar e o tempo que leva para o som da pedra ao atingir a água ser ouvido pela pessoa e considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², faça o que se pede.**

a) Determine a função de posição da pedra.

b) Calcule a profundidade do poço até a superfície da água.

Resolução

a) Sem a resistência do ar, o movimento do corpo é em queda livre. Adotando o topo do poço como a origem das posições e orientando a trajetória para baixo, obtém-se:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow s = 0 + 0 \cdot t + \frac{10 \cdot t^2}{2} \Rightarrow s = 5t^2$$

b) Como a pedra leva 3 s para atingir a água do poço, tem-se:

$$s = 5t^2 \Rightarrow s = 5 \cdot 3^2 \Rightarrow s = 45 \text{ m}$$

Studio Caparroz/ID/BR

Representação da captação de água em um poço artesiano. Cores-fantasia.

Não escreva no livro.

- **Um gato dá um salto vertical para cima, com velocidade inicial de 8 m/s. Desprezando a resistência do ar e considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², determine a altura máxima atingida pelo gato.**

OracicArt/ID/BR

Resolução

No ponto de altura máxima, a velocidade do gato é nula. Adotando a origem no solo e orientando a trajetória positiva para cima, a velocidade inicial do corpo é positiva, e a aceleração da gravidade é negativa.

Para determinar a altura máxima, pode-se utilizar a equação de Torricelli:

$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow 0^2 = 8^2 + 2 \cdot (-10) \cdot \Delta s \Rightarrow 0 = 64 - 20\Delta s \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta s = \frac{64}{20} = 3{,}2 \text{ m}$

Portanto, a altura máxima atingida pelo gato é 3,2 metros.

FÍSICA E EDUCAÇÃO DIGITAL

Cinemática e *softwares* digitais

Expressões matemáticas, gráficos e tantas outras ferramentas da Matemática são essenciais para o estudo da Física. A linguagem matemática permite a análise de situações físicas também de forma digital, como na construção de gráficos ou para se obter, de modo prático e eficiente, a resposta de uma função para uma faixa grande de valores. O conhecimento trabalhado na educação digital pode contribuir para o estudo da Cinemática, área da Física que, como vimos, estuda os movimentos usando funções e gráficos.

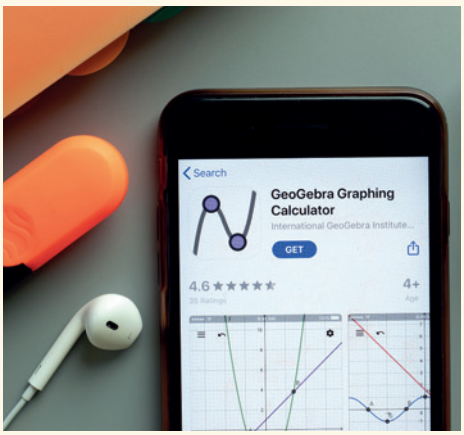
Um exemplo de *software* de Matemática de acesso gratuito e que pode ser utilizado no estudo da Cinemática é o GeoGebra. Ao fazer uma busca por "Cinemática" nesse *site*, encontramos recursos que – uma vez inseridas as funções do movimento estudado – nos permitem obter os gráficos da posição, da velocidade e da aceleração. Alguns recursos possibilitam observar animações desses movimentos. Esse *software* é um exemplo de como o estudo da Física e da Matemática pode ser dinâmico com o uso de ferramentas digitais. Leia, no texto a seguir, algumas características do GeoGebra.

[...]

GeoGebra foi criado em 2001 como tese [do matemático austríaco] Markus Hohenwarter e a sua popularidade tem crescido desde então. [...]

Algumas características importantes [do GeoGebra]:

- Gráficos, álgebra e tabelas estão interligados e possuem características dinâmicas;
- Interface amigável, com vários recursos sofisticados;
- Ferramenta de produção de aplicativos interativos em páginas *web*;
- Disponível em vários idiomas para milhões de usuários em torno do mundo;
- *Software* gratuito e de código aberto. [...]



Postmodern Studio/Shutterstock.com/ID/BR

O *site* do GeoGebra sendo acessado em um celular.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO (PUC-SP). Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia. Sobre o GeoGebra. Instituto GeoGebra, PUC-SP, [20--]. Disponível em: https://www.pucsp.br/geogebrasp/geogebra.html. Acesso em: 20 set. 2024.

1. **Você já utilizou algum recurso digital no estudo da Física ou da Matemática? Se sim, comente com os colegas qual foi o recurso e como foi sua experiência.** Respostas pessoais.

2. **Entre no *site* do GeoGebra, disponível em https://www.geogebra.org/ (acesso em: 20 set. 2024), e faça uma busca por "Cinemática". Observe as opções disponíveis e escolha um dos recursos. Insira os dados de uma função horária que você tenha estudado neste capítulo e explore as possibilidades oferecidas pelo programa.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes escolham recursos diferentes e possam mostrar maneiras distintas de explorar o GeoGebra no estudo da Cinemática.

Representação sem proporção de tamanho e distância.

Softpixel/Shutterstock.com/ID/BR

A Terra realiza um movimento periódico ao redor do Sol em uma trajetória que é aproximadamente uma circunferência.

MOVIMENTO CIRCULAR

Movimento circular é todo movimento cuja trajetória é uma circunferência ou um arco de circunferência. Quanto ao comportamento da velocidade, o movimento circular pode ser classificado em uniforme ou em variado. No caso de um movimento circular uniforme, por se tratar de um fenômeno periódico, podem ser utilizadas outras grandezas físicas, como período e frequência.

Período e frequência

Na natureza, há inúmeros fenômenos que se repetem regularmente em intervalos de tempo iguais, ou seja, periódicos. O ciclo do dia e da noite e as estações do ano são fenômenos periódicos, assim como o movimento circular uniforme.

Período (***T***) é o intervalo de tempo necessário para que um fenômeno que se repete regularmente complete um ciclo. No SI, o período é medido em segundo: $[T] = \text{s}$.

No dia a dia, é usual medir o período em segundo, minuto, hora, etc. Por exemplo: o período do movimento de rotação da Terra ao redor de seu eixo é de cerca de 24 horas.

Para saber quantos ciclos completos um fenômeno periódico realiza em determinado intervalo de tempo, é necessário calcular a frequência de ocorrências.

Frequência (***f***) é o número de ciclos de um fenômeno periódico completados em certo intervalo de tempo.

A unidade de frequência é o inverso da unidade de tempo adotada. No SI, a frequência é medida em $\frac{1}{\text{s}}$ ou s^{-1}, unidade conhecida como **hertz** (**Hz**).

Dessa maneira, quando se diz que um corpo descreve um movimento circular de frequência igual a 10 Hz, significa que o corpo realiza 10 voltas em 1 segundo.

Relação entre período e frequência

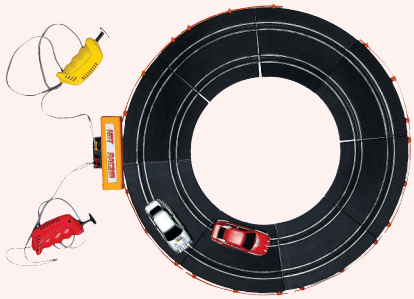
Algebricamente, é possível expressar a relação entre período e frequência deste modo:

$$T = \frac{1}{f}$$

Dessa expressão, conclui-se que, quanto maior for o período de certo movimento circular uniforme, menor será a quantidade de repetições desse movimento em certo intervalo de tempo, ou seja, menor será sua frequência.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Duas crianças brincam com um autorama cuja pista é circular, como o da foto a seguir. Um dos carrinhos realiza quatro voltas em 16 s.



Fernando Favoretto/ID/BR

a) Calcule a frequência do movimento desse carrinho.

b) Determine o período do movimento.

Resolução

a) A frequência do movimento é o número de voltas que o carrinho realiza em 1 s. Assim:

$$\begin{array}{ccc} 4 \text{ voltas} & \text{———} & 16 \text{ s} \\ f & \text{———} & 1 \text{ s} \end{array}$$

$$f = \frac{4}{16} \Rightarrow f = 0{,}25 \Rightarrow f = 0{,}25 \text{ Hz}$$

b) O período T é dado por:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}25} \Rightarrow T = 4 \Rightarrow T = 4 \text{ s}$$

Não escreva no livro.

Grandezas angulares

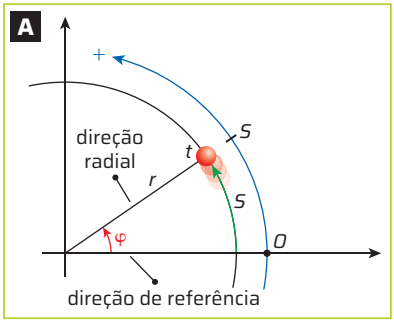
As grandezas posição, deslocamento, velocidade e aceleração também são utilizadas para descrever movimentos com trajetória circular. Além delas, quando se estudam movimentos circulares, é útil definir as grandezas angulares, isto é, as grandezas definidas, direta ou indiretamente, com o uso da medida de ângulos.

Posição angular

Um corpo que realiza movimento circular pode ter sua localização em um instante de tempo determinada de duas formas distinta. A primeira consiste em indicar sua posição linear *s*, ao longo da trajetória, em relação a uma origem *O*. A segunda consiste em indicar a **posição angular** φ em relação à origem *O*. Nesse caso, geralmente escolhemos o sentido anti-horário como o sentido em que os ângulos aumentam (figura **A**).

A posição angular φ é o ângulo formado entre a direção radial da posição do corpo e a direção radial da origem *O* (tomada como referência) e marcada no sentido do movimento. De acordo com a definição de ângulo em radiano, a posição angular φ em radiano relaciona-se com a posição linear *s* pela seguinte expressão:

$$\varphi = \frac{s}{r}$$



ID/BR

Relação entre posição linear e posição angular.

Deslocamento angular

A variação da posição angular φ_0 do corpo no instante t_0 para outra posição angular φ em um instante *t* é definida como **deslocamento angular** $\Delta\varphi$ entre os instantes t_0 e *t* (figura **B**).

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$$

De acordo com a definição de ângulo em radiano, o deslocamento angular $\Delta\varphi$, em radiano, relaciona-se com a variação da posição linear Δs pela expressão:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r}$$

Velocidade angular média

O quociente entre o deslocamento angular $\Delta\varphi$, em radiano, e o intervalo de tempo Δt em que o deslocamento ocorre é a **velocidade angular média** (ω_m) nesse intervalo de tempo, expressa por:

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0}$$

No SI, a velocidade angular média é dada em radiano por segundo: $[\omega_m]$ = rad/s.

A velocidade angular média e a velocidade escalar média podem ser utilizadas para avaliar a rapidez de um movimento circular. A diferença entre elas é que a velocidade escalar média expressa o deslocamento escalar sobre a circunferência em certo intervalo de tempo, e a velocidade angular média expressa a variação da posição angular nesse mesmo intervalo de tempo.

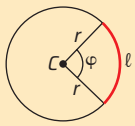
DE OLHO NO CONCEITO

Grau e radiano

A medida de um ângulo pode ser expressa em graus ou em radianos.

Um grau (1°) é o ângulo que corresponde a $\frac{1}{360}$ do ângulo de 1 volta.

Considere uma circunferência de centro *C* e raio *r*. Um ângulo central φ determina, nessa circunferência, um arco de comprimento ℓ, como mostra a figura a seguir.

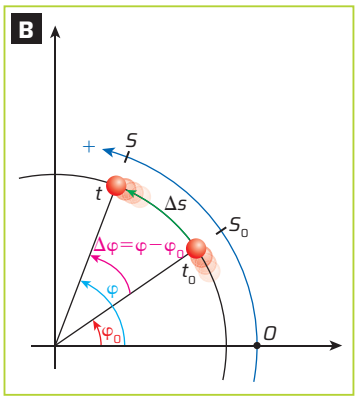


ID/BR

Um radiano (1 rad) é a medida do ângulo central de uma circunferência que determina um arco com o mesmo comprimento que o raio da circunferência.

Pode-se calcular a medida de ângulos, em radiano, aplicando a seguinte relação:

$$\varphi = \frac{\ell}{r}$$



ID/BR

Representação de deslocamento angular de um corpo seguindo uma trajetória circular.

Relação entre a velocidade escalar *v* e a velocidade angular ω

Da definição de velocidade escalar média, tem-se:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

A variação da posição linear Δs pode ser escrita em termos de $\Delta\varphi$ de acordo com a seguinte expressão:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{r} \Rightarrow \Delta s = \Delta\varphi \cdot r$$

Assim:

$$v_m = \frac{\Delta\varphi \cdot r}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{v_m = \omega_m \cdot r}$$

Quando Δt é muito pequeno, obtém-se:

$$\boxed{v = \omega \cdot r}$$

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Determine a velocidade angular média, em rad/s, dos objetos a seguir:**
  a) ponteiro dos segundos de um relógio;
  b) ponteiro dos minutos de um relógio.

Resolução

a) O ponteiro dos segundos de um relógio realiza uma volta completa no intervalo de tempo de 60 s. Em uma volta completa, o deslocamento angular é de 2π rad. A velocidade angular média é calculada por:

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{60} = \frac{\pi}{30} \therefore \omega_m = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s}$$

b) O ponteiro dos minutos de um relógio realiza uma volta completa em 60 minutos, ou 3 600 s. Dessa maneira, a velocidade angular média é:

$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{3\,600} = \frac{\pi}{1800}$$

$$\therefore \omega_m = \frac{\pi}{1800} \text{ rad/s}$$

- **O acelerador de partículas LHC (*large hadron collider*, ou grande colisor de hádrons) tem formato de um anel com comprimento da circunferência de 27 km. Considerando que os prótons realizam um movimento circular e uniforme e completam aproximadamente 11 mil voltas em 1 segundo dentro do anel e $\pi = 3$, determine:**
  a) o raio do anel do LHC;
  b) a frequência do movimento dos prótons, em Hz;
  c) a velocidade angular, em rad/s;
  d) a velocidade escalar dos prótons.

Resolução

a) Como o comprimento da circunferência é calculado por $C = 2 \cdot \pi \cdot r$, temos:

$$27\,000 = 2 \cdot 3 \cdot r \Rightarrow r = \frac{27\,000}{6}$$

$$\therefore r = 4\,500 \text{ m}$$

b) A frequência do movimento em Hz corresponde ao número de voltas realizadas em 1 s. Como os prótons realizam 11 mil voltas em 1 segundo, a frequência é $f = 11\,000$ Hz.

c) A velocidade angular é dada por:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3 \cdot 11\,000$$

$$\omega = 66\,000 \text{ rad/s}$$

d) A velocidade escalar pode ser obtida por:

$$v = \omega \cdot r = 66\,000 \cdot 4\,500$$

$$v = 2{,}97 \cdot 10^8 \Rightarrow v = 2{,}97 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Não escreva no livro.

Investigação do movimento circular uniforme

Em diversas situações do dia a dia, é possível observar corpos em movimento circular. Mas, como podemos identificar as características desse movimento? Nesta atividade, você e os colegas vão realizar medições das principais grandezas físicas envolvidas em um movimento circular uniforme (MCU).

Material

- giz
- fita adesiva colorida
- bicicleta ou roda de bicicleta acoplada a seu eixo
- cronômetro ou um relógio que marque o tempo com precisão de segundos

Fuse/Corbis/Getty Images

Como fazer

1. Coloque a bicicleta com o guidão no solo e as rodas para cima.
2. Segure firmemente os pontos nos quais a bicicleta está apoiada.
3. Com o giz, faça uma marca bem visível na parte lateral do pneu da bicicleta.
4. Em seguida, meça a distância do eixo da roda ao ponto marcado com giz, que é o raio da trajetória desse ponto.
5. Marque com fita adesiva um ponto em um dos raios da roda que se encontre a uma distância do centro equivalente à metade do raio.
6. Impulsione a roda, de modo que ela gire o mais rapidamente possível.
7. Meça o intervalo de tempo necessário para que a roda dê cinco voltas, tendo como referência a marca de giz no pneu.
8. Calcule as seguintes grandezas do MCU para esse movimento: período, frequência, velocidade angular média e velocidade escalar média.

Para concluir

Quando a roda da bicicleta gira, ela realiza um movimento circular. Para intervalos de tempo relativamente pequenos, os efeitos do atrito podem ser considerados desprezíveis ao impulsionar a roda. Assim, é possível, por aproximação, tratar o movimento da roda como um movimento circular uniforme.

1 **Construa, no caderno, uma tabela como a representada a seguir e complete-a com os valores obtidos para cada ponto analisado e também com os dados de comparação entre esses valores.**

Variáveis	Ponto 1 (raio)	Ponto 2 (metade do raio)	Comparação dos valores obtidos para cada ponto (aumenta, diminui, permanece constante)
Período	//////////	//////////////////////	//
Frequência	//////////	//////////////////////	//
Velocidade angular média	//////////	//////////////////////	//
Velocidade escalar média	//////////	//////////////////////	//

2 **Dobre o valor do raio e calcule quais seriam os valores de todas as grandezas representadas na tabela, considerando o mesmo período.**

3 **De todos esses resultados, houve algum que para você foi inesperado? Justifique.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1. Os valores obtidos pelos estudantes dependerão dos dados coletados, que podem variar de grupo para grupo. É importante que eles percebam que o período, a velocidade angular e a frequência do movimento são iguais para ambos os pontos, enquanto a velocidade escalar média não.

2. No caso do raio dobrado, o período, a velocidade angular e a frequência do movimento devem permanecer os mesmos, enquanto a velocidade escalar deve dobrar. Quanto à dificuldade em medir o período de um MCU (como o das pás de um ventilador), pode ser citada a rapidez do movimento.

ATIVIDADES

1 **No caderno, associe cada valor aproximado de velocidade da tabela a seguir com a situação correspondente.**

40 km/h	20 km/h	100 km/h
60 km/h	700 km/h	30 000 m/s
7 cm/s	340 m/s	2 m/s

a) Bicho-preguiça subindo em uma árvore. 7 cm/s
b) Pessoa adulta andando rapidamente. 2 m/s
c) Cavalo galopando. 40 km/h
d) Mosca voando. 60 km/h
e) Moto em alta velocidade. 100 km/h
f) Som propagando-se no ar. 340 m/s
g) Baleia-azul nadando. 20 km/h
h) Movimento de translação da Terra. 30 000 m/s
i) Avião em pleno voo. 700 km/h

2 **Ao fazer uma viagem de carro entre duas cidades, um motorista observa que sua velocidade escalar média foi 60 km/h e que o veículo consumiu 1 L de gasolina a cada 10 km. Faça o que se pede.**

a) Durante a viagem, o motorista gastou 30 L de gasolina. Calcule o tempo de viagem. 5 h
b) Sabendo que no tanque do carro havia 50 L, quantos quilômetros o motorista poderia percorrer sem precisar reabastecer? 500 km
c) O motorista pretende substituir seu carro por um modelo mais potente, que consome 20% a mais de combustível. Caso estivesse com o carro novo e mantendo a velocidade de 60 km/h, quantos quilômetros ele percorreria com os mesmos 50 L de gasolina? 417 km
d) Em cidades grandes, o trânsito costuma ser intenso, e os limites de velocidade, baixos, em geral inferiores a 60 km/h. Em sua opinião, para um motorista que usa seu carro a maior parte do tempo em uma grande cidade, vale a pena comprar um carro cuja vantagem seja atingir altas velocidades? Justifique sua resposta e troque-a com a de um colega; discutam se há ou não uma supervalorização cultural da alta velocidade.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 **O ruído de um trovão é ouvido em um local 3 s depois de se ver o raio. Considere que a velocidade do som no ar é, aproximadamente, 340 m/s.**

a) Qual é a distância, em metro, do local em que foi ouvido o trovão até o ponto em que o raio caiu? 1 020 m.
b) Depois de quanto tempo uma pessoa ouvirá o trovão se ela estiver distante 2 040 m do local atingido pelo raio? 6 s

4 **O tempo de reação de um motorista é 0,75 s. Esse é o tempo gasto para o motorista reagir a um estímulo – como um obstáculo à frente – e o cérebro dele processar a informação e gerar o movimento que acionará os freios do veículo. Durante esse processo, o veículo continua a se deslocar na mesma velocidade de antes da frenagem. Considere uma situação em que um carro trafega a 80 km/h.**

a) Calcule, em metro, a distância que o carro percorrerá do momento em que o motorista vê um obstáculo à frente (um animal na via, por exemplo) até o momento em que ele aciona o freio. ~16,67 m
b) Com base na resposta ao item **a**, estime a distância que um veículo deve manter de outro para que possa frear com segurança, sem colidir com o veículo da frente, caso este venha a frear bruscamente. Considere em sua estimativa que os carros em suas frenagens percorrem as mesmas distâncias. Cerca de 47 m (considerando a distância de frenagem de 30 m).
c) O tempo de reação de um motorista com sono ou alcoolizado aumenta consideravelmente quando comparado com o tempo de reação de uma pessoa descansada e sóbria. Pesquise em *sites* confiáveis de quantas vezes é esse aumento. Em média, de 2 s.
d) O tempo de reação de um motorista depende de vários fatores, entre eles, a concentração de álcool no sangue. Da pesquisa realizada no item **c**, obtenha o tempo de reação de um motorista com 0,50 g/L (grama por litro) de álcool no sangue. Calcule a distância percorrida por esse motorista do momento em que ele percebe a necessidade de frear o veículo até pisar no freio. Considere a velocidade média de 80 km/h. Cerca de 44,4 m.
e) A Lei n. 11 705, de 2008, alterou o Código de Trânsito Brasileiro, impondo punições mais rigorosas a motoristas que dirijam alcoolizados. Faça uma pesquisa sobre essa lei e responda: Em sua opinião, qual é a importância dessa lei para a segurança viária? Justifique sua resposta.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **Leia o texto a seguir e responda às questões.**

Nasa anuncia sistema de velas solares para navegar pelo espaço profundo

[...] As velas solares usam a pressão da luz solar para a propulsão, inclinando-se em direção ou longe do Sol, conforme os fótons incidem na vela reflexiva e empurram a espaçonave, da mesma forma como o vento atua em veleiros. A tecnologia dispensaria os sistemas de propulsão pesados e poderia permitir missões de maior duração e menor custo. [...]

Nunes, A. C. Nasa anuncia sistema de velas solares para navegar pelo espaço profundo. *Época Negócios*, 12 abr. 2024. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2024/04/nasa-anuncia-sistema-de-velas-solares-para-navegar-pelo-espaco-profundo.ghtml. Acesso em: 20 set. 2024.

De acordo com o texto, as velas solares são como um sistema de propulsão. Considere que uma nave parte do repouso e que, com o sistema de velas solares, alcança a velocidade de 160 km/h em um dia, de 16 000 km/h em cem dias e de 160 000 km/h depois de mil dias.

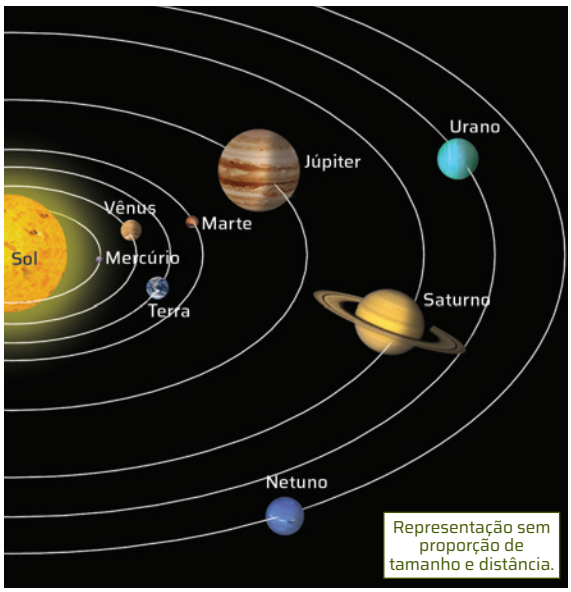
Não escreva no livro.

a) Pode-se dizer que o movimento da nave é uniformemente variado? Justifique. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) De quanto é a aceleração, em (km/h)/dia, dessa nave? 160 km/h/dia

c) Qual será a velocidade da nave no trigésimo dia? 4 800 km/h

6 **O movimento de translação dos planetas ao redor do Sol é periódico.**



Luis Moura/ID/BR

Representação artística do Sol e dos oito planetas do Sistema Solar. Cores-fantasia.

A tabela a seguir mostra a duração do período, em ano terrestre, em que um planeta do Sistema Solar completa uma volta em torno do Sol.

Planeta	Período (em ano terrestre)
Mercúrio	0,24
Vênus	0,62
Terra	1,00
Marte	1,88
Júpiter	11,86
Saturno	29,46
Urano	84,01
Netuno	164,80

a) Há uma relação entre o período e a distância dos planetas em relação ao Sol. Identifique qualitativamente essa relação. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

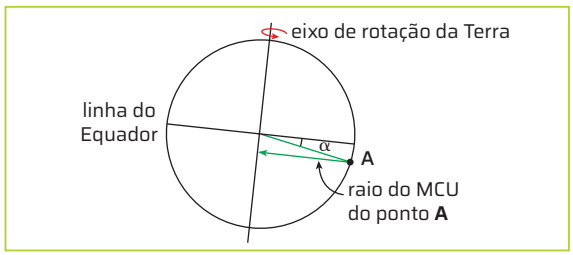
b) Calcule a frequência de translação de Júpiter, em volta/ano terrestre. 0,084 volta/ano

c) Considerando o movimento de translação, determine quantas voltas Urano realiza ao redor do Sol enquanto Netuno completa uma volta. 1,96 volta

7 **Leia o texto a seguir, a respeito do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no Maranhão.**

> [...]
>
> Concebido no início da década de [19]80 como um dos três segmentos da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) tem por missão executar as atividades de lançamento e rastreio de engenhos aeroespaciais e de coleta e processamento de dados de suas cargas úteis, bem como a execução de testes e experimentos de interesse do Comando da Aeronáutica, relacionados com a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE).
>
> As atuais instalações e sistemas operacionais do CLA atendem, de forma irrestrita, lançamentos de sondagem e investigação científicos, contemplando, inclusive, os satelizadores orbitais. A sua posição geográfica, estratégica e privilegiada, a 2°8' sul da linha do Equador, além das condições de segurança, economia e disponibilidade configuram um diferencial competitivo que, se bem desenvolvido, pode tornar o CLA um dos melhores centros espaciais do mundo.
>
> [...]
>
> Centros de lançamento. Agência Espacial Brasileira, 17 out. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/aeb/pt-br/acoes-e-programas/aplicacoes-espaciais/infraestrutura-de-solo/centros-de-lancamento. Acesso em: 20 set. 2024.

Sabe-se que a latitude de um ponto **A** da Terra é o ângulo α, representado na figura a seguir.



ID/BR

Considere o movimento de rotação da Terra um movimento circular uniforme e responda às questões.

a) Que tipo de velocidade é igual para todos os pontos da Terra: a velocidade angular ou a velocidade escalar? Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Considerando o ponto **A** da figura e um ponto no eixo da linha do Equador, que ponto tem maior velocidade escalar? Justifique. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

c) Lembrando que o Centro de Lançamento de Alcântara está próximo da linha do Equador, qual é sua vantagem competitiva em relação a outros centros de lançamento do mundo?

d) Sabendo que o raio da Terra mede, aproximadamente, 6 400 km, qual é a velocidade escalar associada à rotação da Terra de um ponto situado sobre a linha do Equador, considerando o período de rotação de 24 horas? ~1 675 km/h

7. b) Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

ESTUDO DE CASO

FÍSICA E PROJETO DE VIDA

Sou coordenador pedagógico de uma escola de Ensino Médio e percebi a necessidade de acompanhar os estudantes em seus projetos de vida, especialmente em relação a seus objetivos de carreira. Neste ano, meu desafio é ajudar estudantes com interesse em Ciências da Natureza a descobrir algumas possibilidades de atuação profissional nessa área.

Primeiro, conversei com eles sobre a importância de buscar informações sobre a área. Por exemplo, quem pensa em cursar Engenharia ou Física pode procurar o *site* de uma universidade de interesse e consultar a grade curricular desses cursos. Dessa forma, vai saber se terá um contato maior com Matemática, se estudará as disciplinas pelas quais se interessa, se terá aulas mais práticas ou mais teóricas e, assim, comparar diferentes possibilidades para fazer uma boa escolha. A partir da análise da grade curricular, é possível compreender também as diferenças e as semelhanças entre Licenciatura e Bacharelado em Física.

FG Trade/iStock/Getty Images

Estudantes em uma roda de conversa.

É também interessante discutir com os colegas a importância de ampliar os conhecimentos durante o Ensino Médio tanto sobre Ciências da Natuteza como sobre o mercado profissional para realizar escolhas relacionadas ao projeto de vida.

Veja a seguir, alguns exemplos de profissionais da Ciência no exercício de suas funções: cientista em laboratório (imagem **A**), engenheiros visitando uma obra (imagem **B**), professor em sala de aula (imagem **C**) e astrônoma observando o céu noturno (imagem **D**).

PeopleImages.com - Yuri A/Shutterstock.com/ID/BR

Cientista em laboratório realizando análise e interpretação de dados.

Panumas Yanuthai/Shutterstock.com/ID/BR

Engenheiros em uma obra acompanhando e ajustando sua execução.

Não escreva no livro.

Delfim Martins/Pulsar Imagens

Professor em sala de aula promovendo o acesso ao conhecimento científico.

Alexxandar/Shutterstock.com/ID/BR

Astrônoma observando o céu noturno. A Astronomia observacional busca registrar dados sobre o Universo observável.

O mercado de trabalho é dinâmico e, por isso, é importante analisar também quais carreiras são mais flexíveis. Em geral, profissionais das áreas de Ciências da Natureza e Tecnologia precisam estar em constante atualização, acompanhando novos estudos e pesquisas científicas. Procure descobrir diferentes possibilidades de atuação na profissão que possam despertar seu interesse.

É necessário considerar também a realização pessoal e a qualidade de vida. Isso significa exercer uma profissão que lhe permita fazer aquilo de que você gosta e que se enquadre em seu perfil. Por exemplo, alguns estudantes adoram inovar e encarar desafios; já outros preferem organizar e liderar equipes. Esses aspectos devem ser considerados na escolha profissional.

Organizando o trabalho em grupos

Agora, você e os colegas vão realizar uma encenação que os coloque no papel de um profissional da área da Física. Pode ser, por exemplo, um professor, um engenheiro, um pesquisador acadêmico, um divulgador científico, um astrofísico ou um analista de tecnologia da informação, entre outras possibilidades.

A seguir, são sugeridos alguns pontos para que cada um possa construir sua personagem e realizar a encenação.

- Escolha uma das profissões citadas ou outra relacionada à área de Ciências da Natureza.
- Pesquise a formação desse profissional e as possibilidades de atuação.
- Escolha um dos ambientes em que esse profissional pode atuar, como uma escola, um laboratório, uma empresa ou uma indústria.
- Elabore uma narrativa contando a vida do profissional que você escolheu, citando pelo menos uma das funções profissionais que ele precisa exercer cotidianamente em seu trabalho.

Para realizar a encenação, cada de um de vocês deve interpretar a personagem que escolher, contando para os colegas a narrativa desenvolvida. Depois, responda às seguintes questões:

1 **Você se identificou com alguma das profissões apresentadas? Se sim, com qual delas e por quê?**

2 **Nesta atividade, você descobriu alguma área de atuação, entre as funções dos profissionais apresentados, que você desconhecia? Se sim, qual foi?**

3 **Discuta com os colegas a importância de ampliar seus conhecimentos durante o Ensino Médio, tanto sobre Ciências da Natureza como sobre o mercado de trabalho, para realizar escolhas sobre seu projeto de vida.** **1**, **2** e **3.** Respostas pessoais. Veja complementos em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

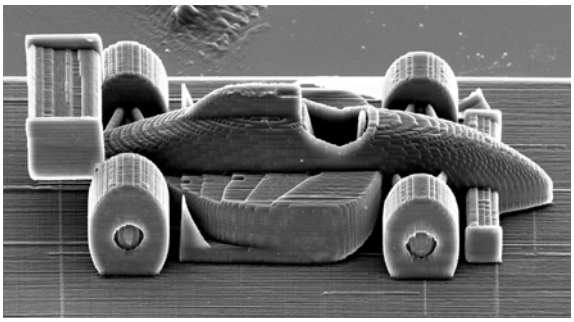
QUESTÕES GLOBAIS

1 **(UFPR)** A medição de grandezas físicas envolve o uso de unidades que sejam apropriadas a essas grandezas. Uma dada grandeza pode ser descrita por mais de uma unidade, de acordo com a situação envolvendo essa grandeza. Considerando essas informações, assinale a alternativa que apresenta corretamente uma unidade utilizada para medidas de tempo.

Alternativa **c**.

a) m (metro)
b) N (newton)
c) s (segundo)
d) V (volt)
e) K (kelvin)

2 **(Enem)** Pesquisadores da Universidade de Tecnologia de Viena, na Áustria, produziram miniaturas de objetos em impressoras 3D de alta precisão. Ao serem ativadas, tais impressoras lançam feixes de *laser* sobre um tipo de resina, esculpindo o objeto desejado. O produto final da impressão é uma escultura microscópica de três dimensões, como visto na imagem ampliada.



Universidade de Tecnologia de Viena/TU Wien

A escultura apresentada é uma miniatura de um carro de Fórmula 1, com 100 micrômetros de comprimento. Um micrômetro é a milionésima parte de um metro.

Usando notação científica, qual é a representação do comprimento dessa miniatura, em metro? Alternativa **c**.

a) $1{,}0 \times 10^{-1}$
b) $1{,}0 \times 10^{-3}$
c) $1{,}0 \times 10^{-4}$
d) $1{,}0 \times 10^{-6}$
e) $1{,}0 \times 10^{-7}$

3 **(Enem)** A resolução de um instrumento de medição é definida como a menor variação de uma grandeza que pode ser medida. O paquímetro é um instrumento de medição de grandezas de comprimento linear. Um fabricante de componentes para portões eletrônicos produz eixos com diâmetros diferentes e possui paquímetros com resoluções de 0,02 mm (paquímetro A) e 0,05mm (paquímetro B).

Um funcionário dessa empresa mediu um eixo com diâmetro nominal de 11,0 mm com uso do paquímetro A, e outro eixo com diâmetro nominal de 12,5 mm com o paquímetro B.

Quais são as possíveis leituras obtidas com o uso dos paquímetros A e B, em milímetro, respectivamente?

a) 11,01 e 12,50
b) 11,02 e 12,51
c) 11,04 e 12,55
d) 11,05 e 12,50
e) 11,06 e 12,54

Alternativa **c**.

4 **(Enem)** Entre maratonistas, um parâmetro utilizado é o de economia de corrida (EC). O valor desse parâmetro é calculado pela razão entre o consumo de oxigênio, em mililitro (mL) por minuto (min), e a massa, em quilograma (kg), do atleta correndo a uma velocidade constante.

Disponível em: www.treinamentoonline.com.br. Acesso em: 23 out. 2019 (adaptado).

Um maratonista, visando melhorar sua performance, auxiliado por um médico, mensura o seu consumo de oxigênio por minuto a velocidade constante. Com base nesse consumo e na massa do atleta, o médico calcula o EC do atleta. A unidade de medida da grandeza descrita pelo parâmetro EC é Alternativa **b**.

a) $\frac{\text{min}}{\text{mL} \cdot \text{kg}}$
b) $\frac{\text{mL}}{\text{min} \cdot \text{kg}}$
c) $\frac{\text{min} \cdot \text{mL}}{\text{kg}}$
d) $\frac{\text{min} \cdot \text{kg}}{\text{mL}}$
e) $\frac{\text{mL} \cdot \text{kg}}{\text{min}}$

5 **(Enem)** No dia 14 de julho de 2015, a sonda espacial norte-americana New Horizons atingiu o ponto mais próximo que qualquer artefato humano esteve do planeta-anão Plutão. Neste instante a distância da sonda à Terra era de aproximadamente 5 bilhões de quilômetros. As primeiras imagens de Plutão não chegaram à Terra instantaneamente quando enviadas através de um sinal de rádio, pois a velocidade da luz é de $3 \cdot 10^8$ m/s.

Nogueira, S. Uma jornada até Plutão. *Pesquisa Fapesp*, n. 234, ago. 2015. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br. Acesso em: 2 jul. 2019 (adaptado).

No momento da máxima aproximação de Plutão, o valor mais próximo do tempo decorrido entre o envio de uma imagem pela antena transmissora da sonda e sua recepção por uma antena receptora na Terra [é]

Alternativa **d**.

a) $4{,}6 \times 10^3$ s.
b) $9{,}3 \times 10^3$ s.
c) $1{,}6 \times 10^1$ s.
d) $1{,}7 \times 10^4$ s.
e) $3{,}4 \times 10^4$ s.

Não escreva no livro.

6 (**UEA-AM**) Em uma viagem de 4 dias, um barco se desloca pelo trajeto fluvial entre Manaus e São Gabriel da Cachoeira, percorrendo uma distância de 864 km. Sabendo que um dia possui 24 horas, a velocidade escalar média desenvolvida por esse barco durante essa viagem é de Alternativa **c**.

a) 5 km/h.
b) 7 km/h.
c) 9 km/h.
d) 12 km/h.
e) 15 km/h.

7 (**Enem**) Uma concessionária é responsável por um trecho de 480 quilômetros de uma rodovia. Nesse trecho, foram construídas 10 praças de pedágio, onde funcionários recebem os pagamentos nas cabines de cobrança. Também existe o serviço automático, em que os veículos providos de um dispositivo passam por uma cancela, que se abre automaticamente, evitando filas e diminuindo o tempo de viagem. Segundo a concessionária, o tempo médio para efetuar a passagem em uma cabine é de 3 minutos, e as velocidades máximas permitidas na rodovia são 100 km/h, para veículos leves, e 80 km/h, para veículos de grande porte. Considere um carro e um caminhão viajando, ambos com velocidades constantes e iguais às máximas permitidas, e que somente o caminhão tenha o serviço automático de cobrança.

Comparado ao caminhão, quantos minutos a menos o carro leva para percorrer toda a rodovia? Alternativa **b**.

a) 30
b) 42
c) 72
d) 288
e) 360

8 (**UEPG-PR**) Sobre senso comum e método científico, assinale o que for correto. Soma das alternativas corretas: 01 + 04 = 05

01. O senso comum é caracterizado por uma forma de pensamento que não se respalda numa análise crítica e criteriosa dos fatos.
02. A ciência é uma forma de saber construído ao acaso, caracterizado pelo desinteresse na busca por justificativas e explicações objetivas e lógicas acerca dos fenômenos da natureza.
04. Os procedimentos descritos no método científico seguem uma estrutura lógica de pensamento e servem como orientação no processo de busca pela resolução de um problema.
08. O conhecimento científico se obtém pelo senso comum e pela prática de experimentos corriqueiros e aceitos conforme as questões culturais de uma sociedade.

9 (**UEM-PR**) "Os fatos ou objetos científicos não são dados empíricos espontâneos de nossa experiência cotidiana, mas são construídos pelo trabalho da investigação científica. Esta é um conjunto de atividades intelectuais, experimentais e técnicas, realizadas com base em métodos que permitem e garantem que a principal marca da ciência seja o rigor." (Chaui, M. *Iniciação à filosofia*: ensino médio, volume único. São Paulo: Ática, 2010, p. 299). Sobre o conhecimento científico, assinale o que for correto. Soma das alternativas corretas: 02 + 08 = 10

01. O método científico está fundamentado na subjetividade do cientista, cujas inclinações pessoais são determinantes para a edificação teórica.
02. O rigor científico é proveniente da demonstração de resultados obtidos a partir de relações verificáveis e constantes nos fenômenos.
04. O conhecimento científico é uma soma de afirmações baseada em hábitos e em tradições do senso comum.
08. O conhecimento científico elabora progressivamente instrumentos técnicos para análise e investigação dos fenômenos.
16. A construção do método científico é determinada pela mitologia da natureza, segundo a qual os fenômenos devem ser compreendidos pela imaginação humana.

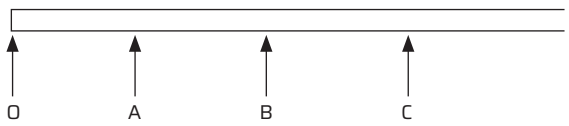
10 (**ITA-SP**) Em 2019, no 144º aniversário da Convenção do Metro, as unidades básicas do SI foram redefinidas pelo Escritório Internacional de Pesos e Medidas (BIPM). A seguir, são feitas algumas afirmações sobre as modificações introduzidas pela redefinição de 2019.

1. São apenas sete as constantes da natureza definidas como exatas, a saber: a velocidade da luz (c), a frequência de transição de estrutura hiperfina do Césio-133 (Δv_{Cs}), a constante de Planck (h), a carga elementar (e), a constante de Boltzmann (k_B), o número de Avogadro (N_A) e a eficácia luminosa da radiação monocromática na frequência de 540 THz (K_{cd}).
2. São apenas seis as constantes da natureza definidas como exatas, a saber: a velocidade da luz (c), a constante de Planck (h), a carga elementar (e), a constante de Boltzmann (k_B), o número de Avogadro (N_A) e a eficácia luminosa da radiação monocromática na frequência de 683 THz (K_{cd}).
4. O protótipo de platina e irídio, conservado como padrão do kg, tornou-se obsoleto e o quilograma passou a ser definido apenas em termos de constantes fundamentais exatas.
8. As sete unidades básicas na redefinição do SI são: segundo, metro, quilograma, coulomb, mol, Kelvin e candela.

Assinale a alternativa que contém a soma dos números correspondentes às afirmações verdadeiras. Alternativa **b**.

a) 2
b) 5
c) 8
d) 10
e) 13

11 **(Enem)** Você foi contratado para sincronizar os quatro semáforos de uma avenida, indicados pelas letras O, A, B e C, conforme a figura.



Enem. Fac-símile: ID/BR

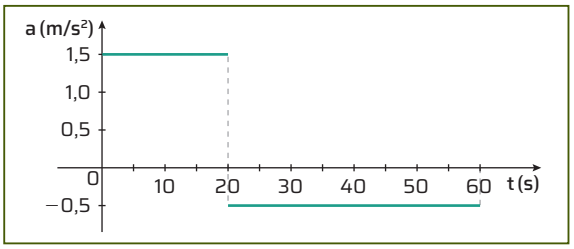
Os semáforos estão separados por uma distância de 500 m. Segundo os dados estatísticos da companhia controladora de trânsito, um veículo, que está inicialmente parado no semáforo O, tipicamente parte com aceleração constante de 1 m s^{-2} até atingir a velocidade de 72 km h^{-1} e, a partir daí, prossegue com velocidade constante. Você deve ajustar os semáforos A, B e C de modo que eles mudem para a cor verde quando o veículo estiver a 100 m de cruzá-los, para que ele não tenha que reduzir a velocidade em nenhum momento.

Considerando essas condições, aproximadamente quanto tempo depois da abertura do semáforo O os semáforos A, B e C devem abrir, respectivamente?

a) 20 s, 45 s e 70 s.
b) 25 s, 50 s e 75 s.
c) 28 s, 42 s e 53 s.
d) 30 s, 55 s e 80 s.
e) 35 s, 60 s e 85 s.

Alternativa **d**.

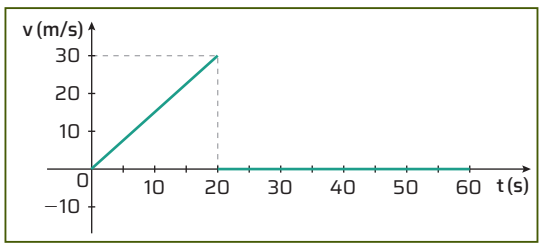
12 **(UFRGS-RS)** Um móvel percorre uma trajetória retilínea sobre uma superfície horizontal, durante 1 minuto. O móvel parte do repouso e é submetido à aceleração, cuja componente *a*, na direção do movimento, varia com o tempo *t*, conforme mostra a figura abaixo.



UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

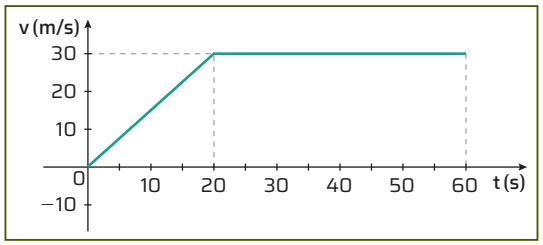
Qual dos gráficos abaixo melhor representa a componente *v*, da velocidade do móvel, na mesma direção, no intervalo de tempo de 0 a 60 s? Alternativa **c**.

a)



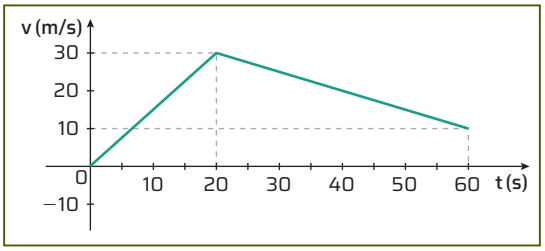
UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

b)



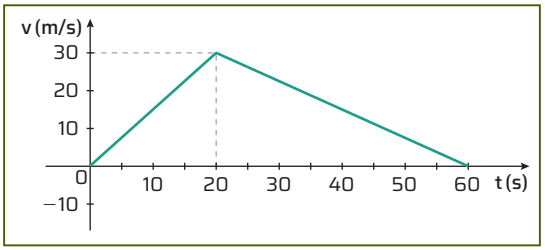
UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

c)



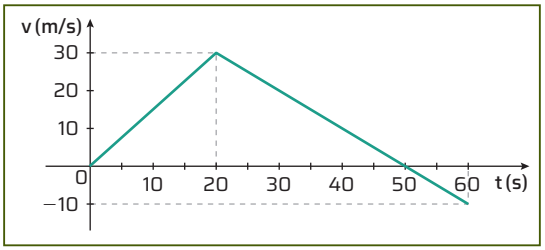
UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

d)



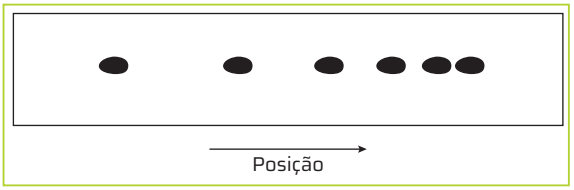
UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

e)



UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

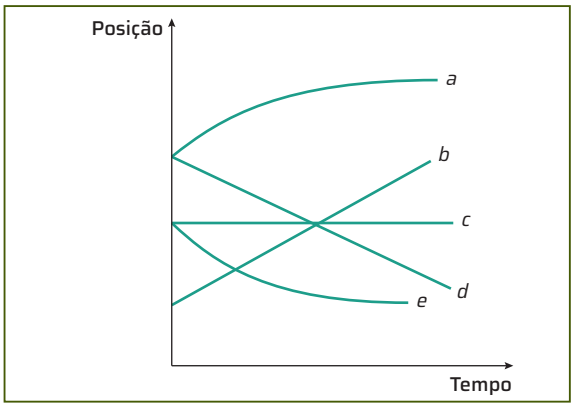
13 **(Fuvest-SP)** Um carro movimentava-se por uma rua de mão única, com sentido da esquerda para a direita, e deixou no asfalto o padrão de pingos de óleo indicado na figura I.



UFRGS-RS. Fac-símile: ID/BR

Figura I

Entre as curvas no gráfico da figura II, indique aquela que melhor corresponde à dependência da posição do carro com o tempo, segundo esses pingos. Adote como positivo o sentido para a direita, conforme a indicação da seta em I.



Fuvest-SP. Fac-símile: ID/BR

Figura II

Não escreva no livro.

NOTE E ADOTE:

Assuma que o intervalo de tempo entre os pingos seja o mesmo.

a) Curva *a*. Alternativa **a**.
b) Curva *b*.
c) Curva *c*.
d) Curva *d*.
e) Curva *e*.

14 **(Unesp)** Uma pessoa estava parada com seu veículo em um semáforo. Quando a luz verde do semáforo se acendeu, o veículo partiu e o movimento realizado até o seu destino pode ser dividido em quatro trechos:

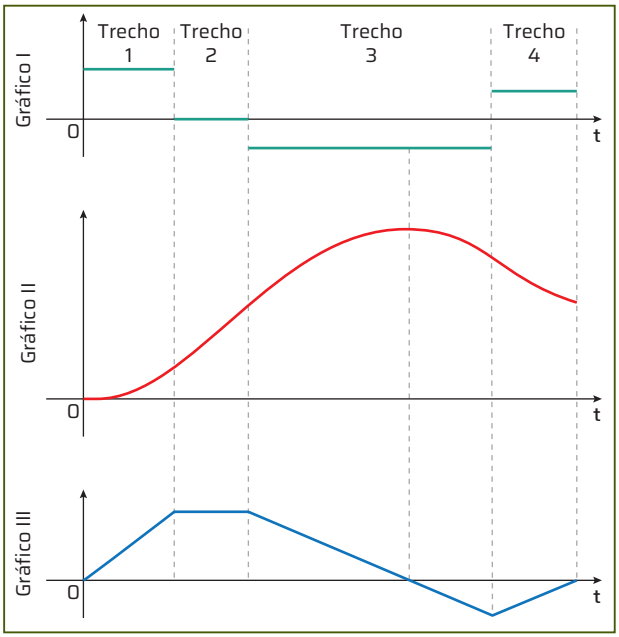
Trecho 1: veículo em movimento acelerado;

Trecho 2: veículo em movimento uniforme;

Trecho 3: percebendo que havia passado do endereço para onde ia, a pessoa freou o veículo até parar, e inverteu o sentido de seu movimento, com a mesma aceleração escalar com que havia freado;

Trecho 4: nova frenagem, chegando ao seu destino, onde parou o veículo.

Os três gráficos, I, II e III, mostram como variaram, em função do tempo, três grandezas escalares associadas ao movimento desse veículo, sem identificá-las, nos quatro trechos descritos.



Unesp. Fac-símile: ID/BR

Sabendo que, enquanto se movia nesse trajeto, o veículo só esteve em movimento uniforme ou em movimento uniformemente variado, os gráficos I, II e III representam, respectivamente, as grandezas Alternativa **d**.

a) posição, aceleração e velocidade.
b) velocidade, aceleração e posição.
c) velocidade, posição e aceleração.
d) aceleração, posição e velocidade.
e) aceleração, velocidade e posição.

15 **(Enem)** Os raios cósmicos são fontes de radiação ionizante potencialmente perigosas para o organismo humano. Para quantificar a dose de radiação recebida, utiliza-se o sievert (Sv), definido como a unidade de energia recebida por unidade de massa. A exposição à radiação proveniente de raios cósmicos aumenta com a altitude, o que pode representar um problema para as tripulações de aeronaves. Recentemente, foram realizadas medições acuradas das doses de radiação ionizante para voos entre Rio de Janeiro e Roma. Os resultados têm indicado que a dose média de radiação recebida na fase de cruzeiro (que geralmente representa 80% do tempo total de voo) desse trecho intercontinental é 2 μSv/h. As normas internacionais da aviação civil limitam em 1000 horas por ano o tempo de trabalho para as tripulações que atuem em voos intercontinentais. Considere que a dose de radiação ionizante para uma radiografia torácica é estimada em 0,2 mSv.

Ruas, A. C. *O tripulante de aeronaves e a radiação ionizante*. São Paulo: Edição do Autor, 2019 (adaptado).

A quantas radiografias torácicas corresponde a dose de radiação ionizante à qual um tripulante que atue no trecho Rio de Janeiro–Roma é exposto ao longo de um ano? Alternativa **a**.

a) 8
b) 10
c) 80
d) 100

16 **(UEL-PR)** O desrespeito às leis de trânsito, principalmente àquelas relacionadas à velocidade permitida nas vias públicas, levou os órgãos regulamentares a utilizarem meios eletrônicos de fiscalização: os radares capazes de aferir a velocidade de um veículo e capturar sua imagem, comprovando a infração ao Código de Trânsito Brasileiro. Suponha que um motorista trafegue com seu carro à velocidade constante de 30 m/s em uma avenida cuja velocidade regulamentar seja de 60 km/h. A uma distância de 50 m, o motorista percebe a existência de um radar fotográfico e, bruscamente, inicia a frenagem com uma desaceleração de 5 m/s². Sobre a ação do condutor, é correto afirmar que o veículo Alternativa **e**.

a) não terá sua imagem capturada, pois passa pelo radar com velocidade de 50 km/h.
b) não terá sua imagem capturada, pois passa pelo radar com velocidade de 60 km/h.
c) terá sua imagem capturada, pois passa pelo radar com velocidade de 64 km/h.
d) terá sua imagem capturada, pois passa pelo radar com velocidade de 66 km/h.
e) terá sua imagem capturada, pois passa pelo radar com velocidade de 72 km/h.

DINÂMICA

A maioria das atividades humanas implica algum tipo de movimento. Por exemplo, o desenvolvimento tecnológico dos últimos cem anos possibilitou lançar satélites ao espaço e colocá-los em órbita ao redor da Terra. Mas como foi possível realizar esse movimento de lançamento ao espaço? Existe alguma relação entre as causas dos movimentos dos corpos em órbita e daqueles que estão na superfície terrestre?

Nesta unidade, você vai estudar como as forças físicas podem explicar as causas e as alterações de movimentos dos corpos no planeta Terra e no Sistema Solar, além da relação entre força e geração e conservação de energia.

OBJETIVOS

- Conceituar força de acordo com as leis de Newton e aplicar esses conceitos na resolução de situações-problema.
- Compreender que forças causam alteração no movimento de um corpo ou sua deformação.
- Entender o caráter vetorial da força e o conceito de força resultante.
- Identificar os tipos de energia e compreender a relação entre energia e trabalho.
- Entender o conceito de impulso, associando-o à variação da quantidade de movimento.
- Analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam energias e quantidades de movimento.
- Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos dos objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Em quais situações do seu dia a dia você identifica algum tipo de movimento? Esses movimentos podem ser alterados? Comente.**
2. **A imagem desta abertura mostra o lançamento de um foguete, que levou satélites de telecomunicação à órbita baixa da Terra. Explique por que essa estação, que orbita a Terra, não corre o risco de se perder no espaço.**
3. **As tecnologias desenvolvidas para que objetos possam ser lançados ao espaço contribuem para a evolução de diferentes áreas do conhecimento científico. De que modo isso se dá? Explique.**

1, **2** e **3**. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Lançamento do foguete Falcon 9, em missão que levou 23 satélites de telecomunicação à órbita terrestre baixa. Complexo de Lançamento 39A, Centro Espacial Kennedy, em cabo Canaveral, Flórida, Estados Unidos. Foto de 2024.

UNIDADE 2

1 Forças e leis de Newton

2 Energia e trabalho

3 Impulso e colisões

4 Bases da Mecânica celeste

Joshua Conti/US Space Force/Alamy Live News/Fotoarena

1. Essa questão pode gerar uma discussão sobre a primeira lei de Newton, e algumas experiências podem ser feitas sobre a causa dos movimentos. Para que um corpo saia do repouso, é necessário que ele seja submetido a uma força resultante e diferente de zero.

FORÇAS E LEIS DE NEWTON

2. A velocidade de um corpo pode ser alterada quando ele sofre o efeito de uma força e, consequentemente, uma aceleração.

PARA COMEÇAR

1. O que é necessário para que um corpo em repouso passe a se movimentar?
2. Como é possível alterar a velocidade de um corpo em movimento?

CAUSAS E ALTERAÇÕES NOS MOVIMENTOS

Não só o movimento dos corpos na Terra mas também o movimento dos astros resultam da interação entre tais corpos. Assim, para explicar muitas situações diárias relacionadas aos movimentos dos corpos, como caminhar, empurrar ou levantar um objeto, abordando as causas desses movimentos e como esses movimentos podem ser alterados, vamos iniciar o estudo da **Dinâmica**.

Considere o avião mostrado na foto a seguir. Será que é fácil colocá-lo em movimento? E, quando ele está se movendo com velocidade acima dos 300 km/h, como é possível manter esse movimento? E será que é simples o avião ser freado até parar?

Para compreender essa e outras situações que fazem parte do cotidiano, conheceremos alguns princípios fundamentais da Dinâmica propostos por verificações experimentais e leis enunciadas pelo físico, matemático e astrônomo inglês Isaac Newton (1642-1727).

Carro elétrico reboca um avião de 130 toneladas em aeroporto de Melbourne, na Austrália. Foto de 2018.

Qantas Airways Limited/ Acervo da companhia aérea

Não escreva no livro.

INTERAÇÕES E FORÇAS

No dia a dia, usamos o termo **força** em diversos contextos e com vários significados: força de vontade, força de expressão, força policial, "A união faz a força", "dar uma força", forças da natureza. Contudo, em Física, o termo força tem um significado específico: é o agente físico capaz de produzir ou de alterar o movimento de um corpo, ou deformá-lo. As fotos a seguir retratam diferentes situações.

Takasu/Shutterstock.com/ID/BR

Existe uma força de atração entre o ímã e os clipes de metal.

JosefePhotography/iStock/Getty Images

A força entre o pé da pessoa e o chão permite que o *skate* se movimente para a frente.

Roetta Tyer/Shutterstock.com/ID/BR

A pedra permanece equilibrada pela atuação de várias forças. Monument Valley, Utah, Estados Unidos. Foto de 2023.

Maurício Graiki/Shutterstock.com/ID/BR

A queda do paraquedista acontece devido à ação da força gravitacional.

Ao observar essas fotos, você percebeu algo em comum entre as situações que elas mostram? Elas envolvem a interação entre, pelo menos, dois corpos. Tais interações podem ser descritas usando o conceito de força enunciado a seguir.

Força é o modelo científico utilizado para descrever uma interação entre dois corpos, que podem, ou não, estar em contato.

ROTEIRO

1. Cite exemplos de seu dia a dia em que a força é a responsável por iniciar um movimento ou alterar suas características.

O objetivo da questão é que os estudantes percebam que, em diversas situações do dia a dia, a grandeza força está presente, seja para colocar um objeto qualquer em movimento, seja para alterar sua direção, como em um jogo de futebol, ao chutar uma bola em repouso ou ao mudar sua direção para que o adversário não faça gol.

Natureza das interações e tipos de força

Na abordagem clássica, as interações entre os corpos podem ocorrer de duas maneiras: com os corpos em contato direto ou apenas aproximados.

- **Forças de contato:** são as que surgem quando os corpos implicados na interação estão em contato um com outro. Nas situações mostradas nas fotos, é o que ocorre, por exemplo, entre o pé da pessoa e o chão (imagem **B**) ou entre a superfície e a pedra (imagem **C**).
- **Forças de campo:** são as que decorrem de interações entre corpos que estejam aproximados, sem contato entre eles, sendo mediadas por campos. Temos, por exemplo, a força de atração que surge ao se aproximar o ímã de clipes metálicos (imagem **A**), mesmo que eles inicialmente não estejam se tocando, e a força gravitacional que faz o paraquedista cair (imagem **D**).

Efeitos das forças

As forças também podem ser identificadas por seus efeitos, descritos a seguir.

- **Alteração da velocidade:** as forças podem atuar para aumentar ou para diminuir o módulo da velocidade de um movimento ou, ainda, para alterar a direção da velocidade, como nos casos das trajetórias curvilíneas; ou seja, a força pode implicar uma aceleração. Esse efeito é chamado de efeito dinâmico das forças.
- **Deformação:** as forças podem provocar alterações na forma de um corpo, de maneira temporária ou permanente, sem necessariamente alterar sua velocidade.
- **Manutenção do equilíbrio:** dizemos que um corpo se mantém em equilíbrio (translacional) quando as forças que atuam sobre ele se neutralizam, ou seja, quando a resultante dessas forças é igual a zero. Desse modo, a velocidade desse corpo não se altera. Isso tanto pode significar que o corpo está em repouso como em movimento retilíneo uniforme, o que será estudado em detalhes mais adiante.

CARACTERIZAÇÃO DE UMA FORÇA

Força é uma grandeza de natureza vetorial. Assim, ela é caracterizada por **módulo**, **direção** e **sentido**. Considere os exemplos a seguir.

Ken Hurst/Shutterstock.com/ID/BR

Para levantar a caixa, a mulher aplica uma força vertical para cima.

Wavebreakmedia/Shutterstock.com/ID/BR

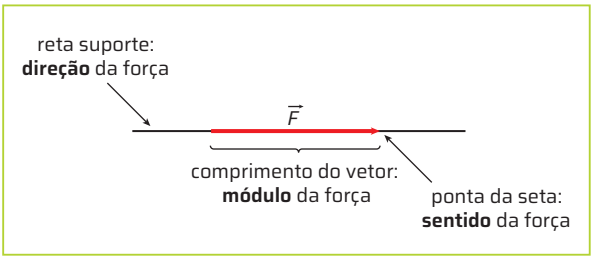
Para provocar o deslocamento do carrinho, o homem exerce forças horizontais para sua frente.

Nas situações retratadas nesses exemplos, é fácil notar que a direção e o sentido das forças influenciam o movimento produzido. Forças de mesmo módulo, aplicadas em direções diferentes, produzem efeitos diferentes. Na imagem **A**, se a força fosse exercida na direção horizontal, por exemplo, o movimento da caixa seria outro.

Do mesmo modo, na imagem **B**, se o homem puxasse o carrinho (em vez de empurrá-lo), este se deslocaria em sentido oposto ao da cena mostrada.

Representação de forças

A representação de uma força é feita por meio de um vetor. Os vetores correspondem a segmentos de reta orientados e são caracterizados por um comprimento, uma direção e um sentido, conforme representado a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

Retomando as situações apresentadas nas imagens **A** e **B**, as forças aplicadas pela mulher sobre a caixa e pelo homem ao empurrar o carrinho podem ser representadas por um vetor força, como nas imagens a seguir.

Ken Hurst/Shutterstock.com/ID/BR

Wavebreakmedia/Shutterstock.com/ID/BR

Para estudar o efeito de duas ou mais forças que atuam sobre um corpo, usamos o conceito de **resultante de forças**. Essa resultante é representada por $\vec{F}_r$ e equivale a uma força que produziria o mesmo efeito que o conjunto de forças aplicadas sobre o corpo.

Assim, a força que a mulher aplica na caixa (imagem **A**) pode ser representada por um vetor força com direção vertical e sentido para cima. Já a resultante das forças exercidas no carrinho ao ser empurrado – empurrão do homem, atrito das rodas com o solo, peso e reação normal do apoio (imagem **B**) – pode ser representada por um vetor força com direção horizontal e sentido para a frente (na perspectiva do homem).

Não escreva no livro.

A INÉRCIA E A PRIMEIRA LEI DE NEWTON

Para estudar a relação entre força e movimento, o físico, matemático e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642), em seu livro *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências a respeito da mecânica e dos movimentos locais*, relatou a análise do movimento de esferas que eram colocadas em uma rampa inclinada, onde iniciavam o movimento de descida, atingiam outra rampa, colocada na horizontal, percorriam certa distância e, então, paravam.

Galileu descreveu que, polindo a superfície da rampa horizontal, o movimento das esferas se mantinha por distâncias maiores.

Essa constatação o levou a concluir que não havia a necessidade de forças para a manutenção da velocidade do corpo, mas, sim, para sua alteração. Assim, na ausência de forças, se um corpo estiver em repouso, ele tenderá a continuar em repouso; e, se um corpo estiver em movimento, ele tenderá a continuar em movimento retilíneo e uniforme. Essa tendência é chamada de **inércia**.

Posteriormente, Isaac Newton estudou mais a fundo essa questão e propôs uma formulação mais geral do princípio da inércia, que passou a ser conhecida como **primeira lei de Newton**.

PARA EXPLORAR

Leia

***Isaac Newton e sua maçã*, de Kjartan Poskitt. Ilustrações de Philip Reeve. São Paulo: Companhia das Letras, 2001 (Coleção Mortos de Fama).**

O livro narra, de forma divertida, os principais fatos da vida de Newton, trazendo também informações sobre outras personalidades da ciência e seus feitos.

Se, em um dado instante, a resultante das forças for: $\vec{F}_r = \vec{0}$ → $\vec{V}$ = const.

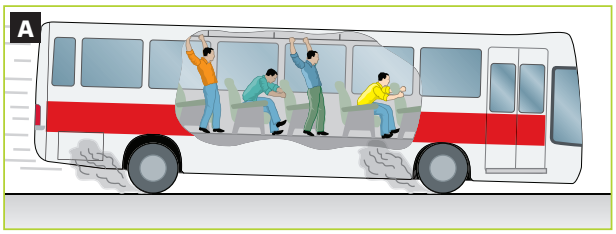
- $\vec{V} = \vec{0}$ → Se o corpo estiver em repouso, permanecerá em repouso.
- $\vec{V} \neq \vec{0}$ → Se o corpo estiver em movimento, continuará em movimento retilíneo, com velocidade constante (MRU).

Tal princípio pode ser enunciado da seguinte forma:

> Se nenhuma força atuar em um corpo, ou se a resultante das forças que atuam nele for nula, o corpo permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU).

2. O objetivo desta questão é que os estudantes percebam que, em diversas situações do dia a dia, temos a aplicação das leis de Newton, seja para iniciar um movimento ou para alterá-lo, e que na proposta dessa atividade, eles produzam um texto que trate da segurança no transporte de cargas, de acordo com as leis vigentes.

Observe os exemplos a seguir.



Adilson Secco/ID/BR

Em uma freada brusca, os passageiros do ônibus tendem a se manter em movimento, como se fossem lançados para a frente.

Antoniodiaz/Shutterstock.com/ID/BR

Um carro parado não é capaz de iniciar sozinho seu movimento. Para isso, é necessário que seja aplicada uma força sobre ele.

No exemplo **A**, a velocidade do ônibus diminui porque, ao serem acionados os freios, ocorre nos pneus uma força resultante não nula, associada à interação entre os pneus e o asfalto. Os passageiros tendem a manter o estado inicial de movimento e vão para a frente.

No exemplo **B**, ao empurrar o veículo, a pessoa aplica uma força externa não nula para tirar o carro do repouso e colocá-lo em movimento, vencendo a inércia.

Se a pessoa da situação **B**, em vez de empurrar o carro, tentasse empurrar o ônibus e seus passageiros, aplicando a mesma força, não teria o mesmo resultado. A dificuldade seria maior, em razão da massa do ônibus com passageiros ser também maior. Dessa forma, podemos entender a inércia como a propriedade intrínseca de um corpo que expressa sua resistência a qualquer mudança em seu estado de movimento ou repouso, sendo diretamente proporcional à sua massa. Portanto, o carro, em comparação com o ônibus, apresenta menor resistência à alteração de seu estado de movimento por possuir menor inércia.

ROTEIRO

2. Com base no que você aprendeu sobre inércia, elabore no caderno um texto breve com o objetivo de orientar motoristas de caminhão que transportam cargas perigosas, como grandes blocos de pedra, sobre os cuidados que devem ter no transporte desse tipo de carga, principalmente quando houver necessidade de uso do freio.

AÇÃO E CIDADANIA

"Quem anda colado é adesivo"

É possível que você já tenha lido essa frase em algum adesivo colado no vidro traseiro de um carro. A Física mostra que, após o acionamento dos freios, é necessária certa distância para que um veículo em movimento consiga parar completamente. Essa distância deve ser tanto maior quanto maiores forem a velocidade do veículo e sua inércia (que é a propriedade dos objetos de resistir a mudanças em seu movimento). Ao dirigir "colado" ao veículo da frente, é quase impossível parar sem colidir no caso de frenagem brusca. Na estrada, por exemplo, uma distância segura equivale ao espaço de dois carros entre seu veículo e o veículo da frente.

Uma medida prática muito simples que pode evitar sustos ou acidentes graves é a regra dos dois segundos: o condutor escolhe um ponto fixo à margem da via. Quando o veículo que estiver à frente passar por esse ponto, o condutor diz, em ritmo normal e em voz alta: "Por dois segundos". Só depois desses "dois segundos" é que o veículo dele deverá passar pelo mesmo marco. Se isso ocorrer, o condutor estará no limite mínimo da distância segura. Ao conduzir veículos com mais de seis metros de comprimento ou ao dirigir sob chuva, é recomendável aumentar o tempo de contagem, e dizer: "Cinquenta e um, cinquenta e dois, cinquenta e três".

1. **Considere o que você aprendeu sobre inércia até aqui e liste outros cuidados que devem ser tomados para dirigir com segurança.** Resposta pessoal. Um exemplo com base na inércia é usar o cinto de segurança, para que, em caso de uma frenagem ou colisão, o corpo não continue em movimento.

Inércia e o uso do cinto de segurança

O cinto de segurança é um item obrigatório de fábrica em todos os veículos produzidos no Brasil, e seu uso também é obrigatório. A não utilização desse item de segurança é considerada falta grave, passível de multa e penalização de cinco pontos na Carteira Nacional de Habilitação (CNH), de acordo com o artigo 65 do Código Brasileiro de Trânsito (CBT). Mas não é só por isso que esse equipamento deve ser usado. Na verdade, a legislação decorre do fato de que pesquisas comprovam que o uso adequado do cinto de segurança reduz drasticamente a possibilidade de ferimentos e morte em caso de acidentes.

A história desse equipamento é antiga. Há documentos que comprovam o uso de modelos rudimentares já em 1885, em carruagens em Nova York, nos Estados Unidos. O primeiro cinto de segurança com dois pontos de fixação para veículos automotores foi patenteado em 1903 pelo francês Gustave Désiré Liebau.

O modelo de três pontos foi desenvolvido apenas em 1950. Em 1959, o engenheiro sueco Nils Bohlin (1920-2002), trabalhando para a empresa sueca Volvo, elaborou o cinto de três pontos retrátil como conhecemos hoje.

No Brasil, o cinto de segurança passou a ser item de segurança obrigatório na produção de veículos em 1968. A obrigatoriedade de seu uso, porém, ocorreu apenas em 1997, com a promulgação da Lei n. 9503, que determina o uso desse equipamento por todos os ocupantes do veículo, incluindo animais que estejam sendo transportados.

Tri Ltd./SPL/Fotoarena

Simulação de colisão feita em uma fábrica de carros, na qual os bonecos no interior do veículo estão sem o cinto de segurança.

Mas, qual é a conexão que esse dispositivo tem com a lei da inércia?

Quando um veículo é freado bruscamente, o motorista e os passageiros em seu interior tendem a se manter em movimento, indo de encontro às partes internas do veículo em uma série de colisões que podem ser letais. O cinto de segurança preserva a integridade física dos ocupantes do veículo nesse tipo de colisão.

Por outro lado, quando estamos em um veículo parado e ele acelera de forma brusca, é o encosto de cabeça que ameniza o efeito da inércia sobre nosso corpo. Esse tipo de encosto também é importante no caso de colisões, pois o cinto de segurança impede que a pessoa seja lançada para a frente, mas, logo em seguida, há um "efeito chicote", que "joga" a cabeça para trás, o que pode causar lesões na própria cabeça e na coluna cervical.

Não escreva no livro.

O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA E A SEGUNDA LEI DE NEWTON

Como a velocidade é uma grandeza vetorial, alterações em sua intensidade, em sua direção ou em seu sentido (separadamente ou de maneira conjunta) implicam a existência de aceleração, que, por sua vez, indica a existência de força resultante não nula agindo sobre o corpo. Considere as situações a seguir.

Yauhen_D/Shutterstock.com/ID/BR

Quando os freios de um veículo são acionados, o módulo da velocidade do carro diminui devido à interação entre os pneus e a pista. Teste de frenagem total sem uso de freio ABS (Sistema de Freios Antitravamento). Foto de 2017.

Stefan Matzke - sampics/Getty Images

A atleta olímpica estadunidense Tara Davis-Woodhall competindo no salto em distância. Ao longo do salto, a velocidade da atleta sofre alteração de módulo e de direção devido à interação (a distância) entre seu corpo e a Terra. Paris, França. Foto de 2024.

Enunciado da segunda lei de Newton

A resultante das forças e a aceleração apresentada por um corpo guardam relação direta entre si.

A força resultante não nula ($\vec{F}_r \neq \vec{0}$) aplicada a um corpo de massa *m* causa uma aceleração $\vec{a}$ na mesma direção da força. A aceleração é diretamente proporcional à força resultante e inversamente proporcional à massa do corpo. Essa relação é dada por:

$$F_r = m \cdot a$$

No SI, a massa (*m*) de um corpo é expressa em quilograma (kg), a aceleração (*a*) é expressa em metro por segundo ao quadrado (m/s²) e a força resultante (F_r) é expressa em newton (N). Assim, uma força de intensidade 1 N, aplicada sobre um corpo de massa 1 kg, produz uma aceleração de 1 m/s², na mesma direção e no mesmo sentido da força que é aplicada sobre o corpo.

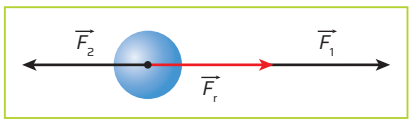
Cálculo da resultante das forças que agem sobre um corpo

Um corpo pode estar submetido a forças que atuam em diferentes direções e sentidos; por esse motivo, é conveniente pensar na resultante como uma única força que atua sobre o corpo, produzindo o mesmo efeito que o conjunto original de forças que atuam sobre ele. Veja, a seguir, como tais forças se combinam para produzir o efeito da força resultante, e como é possível determinar a intensidade, a direção e o sentido da resultante em alguns casos.

Forças na mesma direção

Quando as forças apresentam a mesma direção, operamos algebricamente com seus valores. No exemplo a seguir, a força resultante terá direção horizontal e sentido para a direita, já que a força F_1, aplicada sobre o corpo, é mais intensa que a força F_2. Dessa forma, a intensidade da resultante é dada por:

$$F_r = F_1 - F_2$$



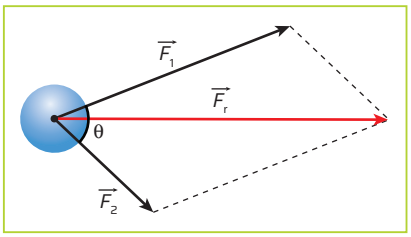
ID/BR

Assim, para forças aplicadas na mesma direção, quando estiverem no mesmo sentido, seus módulos serão somados. Porém, quando estiverem em sentidos opostos, a resultante será dada pela diferença entre os módulos das forças aplicadas sobre o corpo.

Forças em diferentes direções

Para determinar a resultante de duas forças aplicadas em um corpo cujas direções formam um ângulo θ entre si (veja a figura a seguir), usamos a regra do paralelogramo e calculamos sua intensidade com o uso da expressão:

$$F_r^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \theta$$



ID/BR

Um caso particular de duas forças aplicadas a um corpo em diferentes direções é o das forças cujas direções formam um ângulo de 90° entre si. Também aqui utilizamos a regra do paralelogramo, e a intensidade da resultante é calculada pelo uso do teorema de Pitágoras.

FORÇA PESO ($\vec{P}$)

Nem sempre nos damos conta, mas a gravidade age sobre tudo que está ao nosso redor. A gravidade é responsável pela força que atrai os corpos em direção uns aos outros. No caso dos paraquedistas, essa força é exercida pela Terra, puxando-os em direção ao seu centro. Sua intensidade depende das massas dos corpos e da distância entre eles, conforme descrito pela Lei da Gravitação Universal de Newton.

Sky Antonio/Shutterstock.com/ID/BR

Paraquedistas em queda livre.

A **força peso** caracteriza-se por ser uma força de campo, atrativa, aplicada pela Terra aos corpos próximos ao planeta e que os atrai em direção ao centro da Terra. Quando um objeto é lançado para cima (como uma pedra, por exemplo), sua velocidade diminui, pois a força peso é oposta ao sentido do movimento; na descida, a velocidade da pedra aumenta, já que a força peso atua a favor do sentido do movimento.

Representamos a intensidade da força peso de um corpo pela expressão:

$$P = m \cdot g$$

Nessa expressão:

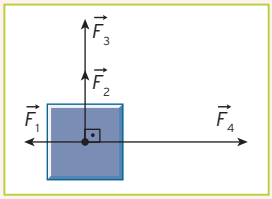
- m é a massa do corpo expressa em kg;
- g é a intensidade da aceleração da gravidade na superfície da Terra, de valor aproximado $g = 9{,}8\ m/s^2$.

A direção da força peso pode ser considerada uma linha vertical perpendicular à superfície e seu sentido aponta para o centro da Terra.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Sobre um corpo de massa 50 kg são aplicadas quatro forças, de intensidades $F_1 = 2$ N, $F_2 = 3$ N, $F_3 = 5$ N e $F_4 = 8$ N, conforme a representação a seguir.**



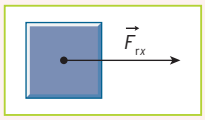
Setup Bureau/ID/BR

Determine a resultante das forças e a aceleração do corpo.

Resolução

Vamos calcular a resultante na direção horizontal $\vec{F}_{rx}$ e na direção vertical $\vec{F}_{ry}$.

Na direção horizontal, temos as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_4$ em sentidos opostos. Logo:



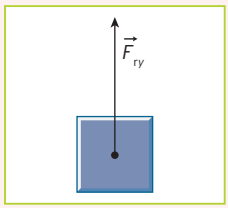
Setup Bureau/ID/BR

$F_{rx} = F_4 - F_1$

$F_{rx} = 8 - 2$

$F_{rx} = 6 \therefore F_{rx} = 6$ N

Na direção vertical, temos as forças $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ com o mesmo sentido. Logo:



Setup Bureau/ID/BR

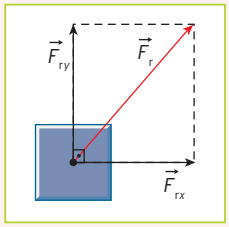
$F_{ry} = F_2 + F_3$

$F_{ry} = 3 + 5$

$F_{ry} = 8 \therefore F_{ry} = 8$ N

Aplicando a regra do paralelogramo, obtemos a direção e o sentido da resultante das forças $\vec{F}_r$.

A intensidade é obtida pelo teorema de Pitágoras:



Setup Bureau/ID/BR

$F_r^2 = F_{rx}^2 + F_{ry}^2$

$F_r^2 = 6^2 + 8^2$

$F_r^2 = 100 \Rightarrow F_r = \sqrt{100} \Rightarrow F_r = 10 \therefore F_r = 10$ N

Aplicando a segunda lei de Newton, obtemos o valor da aceleração:

$F_r = m \cdot a$

$10 = 50 \cdot a \Rightarrow a = \frac{10}{50} = 0{,}2$

Portanto, $a = 0{,}2$ m/s².

A aceleração tem a mesma direção e o mesmo sentido da resultante $\vec{F}_r$.

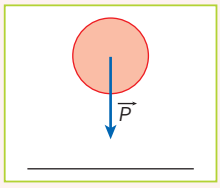
- **Uma pedra de 5 kg, solta de certa altura, cai com aceleração $g = 10$ m/s².**
  a) Calcule a intensidade da força peso aplicada pela Terra nessa situação.
  b) Faça um esquema indicando essa força.
  c) Se a mesma pedra fosse solta na Lua, sua aceleração seria de aproximadamente 1,6 m/s². Calcule a intensidade da força peso e a massa da pedra na superfície da Lua.

Resolução

a) A intensidade da força peso é calculada por: $P = m \cdot g$

$$P = 5 \cdot 10 \Rightarrow P = 50 \therefore P = 50 \text{ N}$$

b) A força peso tem direção vertical e sentido para baixo.



Setup Bureau/ID/BR

c) Quando a pedra é transportada para a Lua, sua massa não varia, mantendo-se os mesmos 5 kg. Considerando isso e a aceleração da gravidade na Lua, a intensidade da força peso passa a ser:

$$P = 5 \cdot 1{,}6 \Rightarrow P = 8 \text{ N}$$

3. a) Ao empurrar a parede com a mão, a parede também exerce sobre a mão uma força de reação de mesma intensidade e direção e sentido oposto àquela exercida sobre a parede.
3. b) A força que a bexiga faz sobre o ar dentro dela tentando expulsá-lo sofre a reação da força que o ar faz sobre a bexiga, empurrando-a para a frente.

O PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO E A TERCEIRA LEI DE NEWTON

Como foi visto anteriormente, forças são grandezas que se associam a interações entre dois corpos. Uma interação é sempre mútua e identificada por um par de forças que atuam uma em cada corpo. É o chamado par ação e reação.

As situações mostradas nas fotos a seguir ajudam a compreender esse conceito.

Kevin Davis & Kevin O'Connell/NASA

Para subir, o foguete expele uma grande quantidade de gás para baixo. Cabo Canaveral, Estados Unidos, 13 out. 2023.

Olaser/Stock/Getty Images

Para caminhar, o pé de apoio (traseiro) empurra o chão para trás.

Celso Pupo/Shutterstock.com/ID/BR

Para nadar, o atleta empurra parte da água para trás.

Nessas situações, a interação entre os corpos resulta em diferentes movimentos: para caminhar, usamos o solo como apoio, empurrando-o para trás, e, como resultado, o corpo é impelido para a frente; o atleta interage com a água, empurrando-a para trás com as braçadas, e, como consequência, consegue movimentar-se para a frente; o foguete ejeta grande quantidade de gás para baixo e, assim, adquire movimento para cima.

Esses exemplos mostram que toda ação implica uma reação. Nos casos apresentados, essa reação resulta em movimentos contrários ao sentido da ação inicial, mas nem sempre isso ocorre. Newton generalizou essa ideia enunciando sua **terceira lei: a da ação e reação**.

> Quando um corpo interage com outro, aplicando-lhe uma força, recebe desse corpo uma força de igual intensidade e direção, mas de sentido oposto. Essas forças, conhecidas como par ação e reação, atuam em corpos diferentes e, por isso, não se cancelam.

Voltemos ao caso da força peso $\vec{P}$ de um corpo de massa *m* próximo à superfície da Terra.

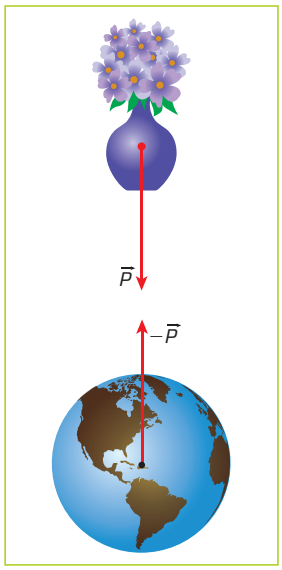
Há entre o corpo e a Terra uma atração que é identificada sobre o corpo como a força peso. Pelo princípio da ação e reação, o corpo também exerce sobre a Terra uma força, de mesma intensidade, mesma direção e em sentido contrário: $-\vec{P}$.

A reação à força peso pode ser representada por um vetor com origem no centro da Terra, como se vê no esquema ao lado.

Observe que as forças $\vec{P}$ e $-\vec{P}$ formam um par ação e reação e estão aplicadas em corpos distintos – Terra e corpo – e, por isso, não se anulam.

Representação sem proporção de tamanho.

ID/BR

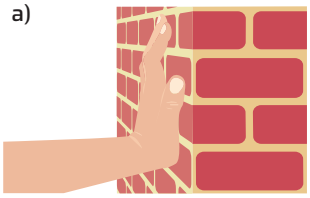


As forças $\vec{P}$ e $-\vec{P}$ têm a mesma intensidade e direção (vertical), mas sentidos opostos. Cores-fantasia.

ROTEIRO

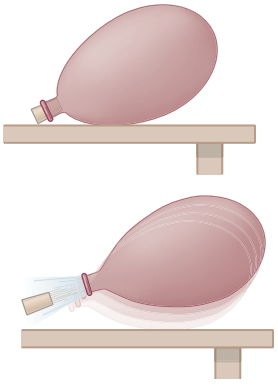
3. No caderno, faça uma legenda explicativa para cada uma destas imagens com base no conceito de ação e reação.

a)



AMj Studio/ID/BR

b)



Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

Não escreva no livro.

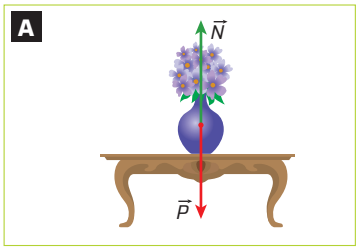
FORÇA NORMAL ($\vec{N}$)

A **força normal**, também chamada **força de apoio**, resulta da interação entre um corpo e uma superfície com a qual ele mantém contato. Imagine um vaso em repouso sobre uma mesa. Nessa situação (imagem **A**), há duas forças aplicadas sobre o vaso: uma força é decorrente da interação do vaso com a Terra (força peso) e a outra se deve ao contato do vaso com a superfície da mesa.

A força normal tem sempre direção perpendicular à superfície de contato, seu sentido é contrário à tendência de apoio do corpo na superfície, e sua intensidade é obtida considerando-se o conjunto de forças que atuam sobre o corpo.

Na situação apresentada em **A**, o vaso está em repouso sobre a mesa. Logo, pela primeira lei de Newton, a resultante das forças que agem sobre o vaso é nula. Conclui-se que, nessa situação, a intensidade da força normal é igual à intensidade da força peso.

Mas, em outras situações (por exemplo, quando um objeto encontra-se em repouso sobre um plano inclinado), a igualdade entre a intensidade da força peso e da força normal não acontece, sendo necessário analisar a forma como ocorre a interação entre o corpo e a superfície de apoio, o que será estudado mais adiante.



Setup/Bureau/ID/BR

A força normal é perpendicular ao plano que recebe a força.

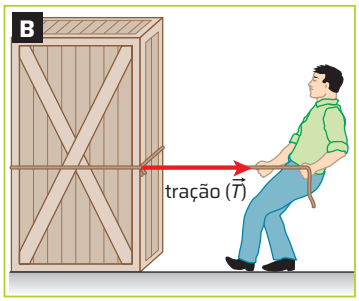
FORÇA DE TRAÇÃO ($\vec{T}$) OU FORÇA TENSORA

A **força de tração** ou **força tensora** está associada à presença de cordas ou fios, que têm a função de transmitir a força de uma extremidade à outra da corda ou do fio. No caso de fios ou cordas ideais (com massa desprezível e inextensíveis), a intensidade da força de tração é sempre a mesma em todos os pontos e tende a puxar ou tracionar o fio (imagem **B**).

A força de tração ($\vec{T}$) tem a mesma direção do fio tracionado, e seu sentido é o mesmo que o mantém tensionado, ou seja, o sentido em que é puxado.

A força de tração está presente em muitas situações do cotidiano, não só quando cabos e cordas são usados para puxar objetos, como na situação representada anteriormente, mas também quando eles são utilizados para sustentar objetos, como em sistemas que usam polias.

As polias estão presentes em quase todos os sistemas que usam cabos e correias para transmitir força e permitem que não só a intensidade de uma força seja alterada como também sua direção e/ou seu sentido. As polias podem ser fixas ou móveis. É importante considerar que polias ideais (assim como cordas e fios ideais) possuem massa e atrito desprezíveis. Veja as ilustrações a seguir.

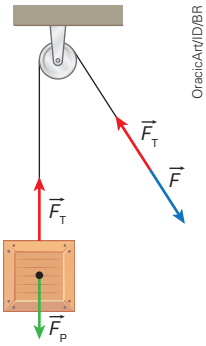


Setup/Bureau/ID/BR

A força de tração sempre será na direção da corda e no sentido em que é puxada.

Svitlana Hulko/Shutterstock.com/ID/BR

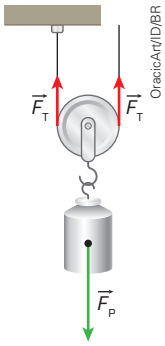
Idoso realizando atividade física em equipamento com sistema de polia.



OracicArt/ID/BR

As polias fixas têm a função de direcionar a força e permitem que essa força aplicada seja na direção e no sentido desejados.

Representação sem proporção de tamanho.



OracicArt/ID/BR

As polias móveis têm a função de reduzir a intensidade da força necessária para sustentar o objeto e movimentam-se junto com a carga. A redução na força ocorre porque, como as polias são ideais, a resultante sobre elas é nula, ou seja, cada polia equilibra as trações da corda em ambos os lados.

Representação sem proporção de tamanho.

Nos sistemas que associam polias fixas e móveis, a força necessária para sustentar ou elevar a carga é dividida sucessivamente por 2 a cada polia móvel introduzida no sistema de polias. Esse resultado pode ser expresso como:

$$T = \frac{P}{2^n}$$

Nessa expressão, n corresponde ao número de polias móveis utilizadas na associação.

FORÇA DE ATRITO

B2M Productions/Photographer's Choice RF/Getty Images

A experiência mostra que se deve aplicar à caixa uma força mínima necessária para que ela possa se mover, apesar do atrito.

Quando um corpo apoiado sobre uma superfície tende a deslizar, ou desliza sobre ela, o atrito pode se manifestar. O atrito depende, portanto, do contato de um corpo com uma superfície e atua como uma resistência ao movimento. Entre outros fatores, o estado de aspereza ou de polimento das superfícies também influencia a maneira como o atrito vai se manifestar.

O atrito entre duas superfícies pode ser representado por um par de forças cuja direção é paralela às superfícies em contato e cujo sentido é sempre em oposição ao deslizamento relativo entre essas superfícies. Veja a situação representada na imagem ao lado.

Para empurrar a caixa, a pessoa aplica uma força horizontal $\vec{F}$ para a frente. A interação da caixa com o solo dificulta o deslocamento da caixa devido à ação de uma força contrária $\vec{F}_{at}$, horizontal e para trás. A caixa poderá permanecer em repouso ou entrar em movimento dependendo da intensidade da força externa aplicada. Já na direção vertical, o peso é equilibrado pela força normal.

Atrito estático e atrito cinético

A intensidade da força de atrito $\vec{F}_{at}$ depende do contexto analisado. Quando o corpo está em repouso, ela pode ser associada à intensidade da força $\vec{F}$ que tenta movê-lo, ou seja, ao se aumentar a intensidade da força aplicada para colocar o corpo em movimento, há aumento também da **força de atrito estático ($\vec{F}_{ate}$)**. Na iminência de o corpo entrar em movimento, a força de atrito estático é máxima.

Assim que o corpo começa a se mover, a força de atrito passa a apresentar comportamento relativamente independente, com intensidade aproximadamente constante. Nessa situação, temos a **força de atrito cinético ($\vec{F}_{atc}$)**.

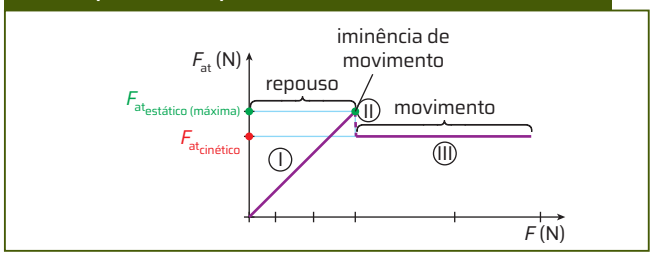
Esses dois valores específicos da intensidade do atrito (estático máximo e cinético) podem ser calculados por meio da expressão:

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

Nessa expressão, μ pode assumir os valores de μ_e (coeficiente de atrito estático), na iminência do movimento, ou de μ_c (coeficiente de atrito cinético), quando há movimento, e N é a intensidade da força normal. Para efeitos práticos, $\mu_e > \mu_c$.

Veja, no gráfico a seguir, o comportamento da intensidade da força de atrito em função da força F (força aplicada para movimentar o corpo).

COMPORTAMENTO DA INTENSIDADE DA FORÇA DE ATRITO EM FUNÇÃO DA FORÇA *F* QUE TENTA MOVER O CORPO



ID/BR

Em (**I**), o corpo está em repouso (atrito estático); em (**II**), a força de atrito estático é máxima; em (**III**), tem-se a força de atrito cinético.

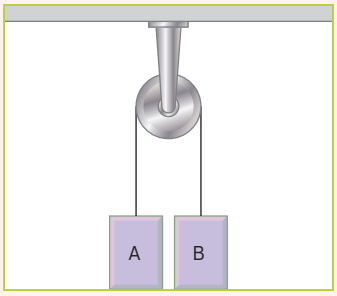
Os coeficientes de atrito, tanto estático quanto cinético, dependem das características dos materiais e do estado das superfícies de contato, ou seja, de seus graus de aspereza ou de polimento. O coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional, ou seja, não apresenta unidade de medida, e seus valores são obtidos de forma experimental.

O coeficiente de atrito cinético é sempre menor que o coeficiente de atrito estático. Sendo assim, a força aplicada necessária para manter um corpo em movimento é menor que a força que precisou ser aplicada inicialmente para tirá-lo do repouso e colocá-lo em movimento.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

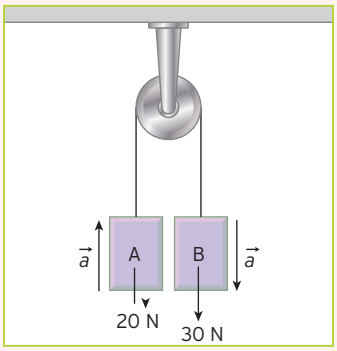
(Cefet-MG) Dois blocos A e B, de massas $m_A = 2{,}0$ kg e $m_B = 3{,}0$ kg, estão acoplados através de uma corda inextensível e de peso desprezível que passa por uma polia conforme a figura. Esses blocos foram abandonados, e, após mover-se por 1,0 m, o bloco B encontrava-se a 3,0 m do solo quando se soltou da corda. Desprezando-se a massa da polia e quaisquer formas de atrito, o tempo necessário, em segundo, para que B chegue ao chão é igual a:



Setup Bureau/ID/BR

a) 0,2
b) 0,4
c) 0,6
d) 0,8

Resolução



Setup/Bureau/ID/BR

Força resultante: $F_r = 30 - 20 = 10 \Rightarrow F_r = 10$ N

$F_r = m \cdot a \Rightarrow 10 = 5 \cdot a \Rightarrow a = 2{,}0$ m/s²

Quando o bloco B se soltou, sua aceleração passou a ser de 10 m/s² (queda livre).

$\Delta s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Rightarrow 1 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot t_1^2 \Rightarrow t_1 = 1{,}0 \therefore t_1 = 1{,}0$ s

$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v = 2 \cdot 1 = 2{,}0$ m/s

Segundo movimento:

$\Delta s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \Rightarrow 3 = 2 \cdot t_2 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t_2^2$

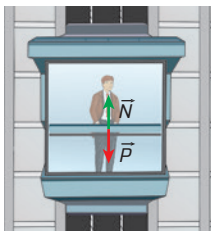
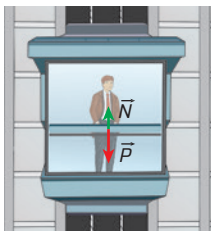
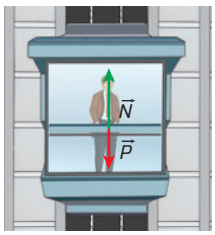
$3 = 5 \cdot t_2^2 + 2 \cdot t_2 \Rightarrow 5t_2^2 + 2t_2 - 3 = 0$

$t_2 = \frac{-2 + \sqrt{2^2 + 4 \cdot 5 \cdot 3}}{2 \cdot 5} = \frac{-2 + 8}{10} = 0{,}6$

A partir de sua soltura, o tempo de chegada do bloco B ao chão é 0,6 s.

Caso especial: leitura da balança e o movimento do elevador

Considere uma pessoa dentro de um elevador, em pé sobre uma balança cuja leitura é dada em newton. O movimento dentro de um elevador é exclusivamente vertical, e a análise se concentra no comportamento da força normal, cuja intensidade pode variar de acordo com o contexto. Veja o quadro a seguir.

	ELEVADOR COM VELOCIDADE CONSTANTE (REPOUSO OU MRU)	ELEVADOR COM ACELERAÇÃO VERTICAL (SUBINDO OU DESCENDO)	
Aceleração	nula	para baixo	para cima
Diagrama de forças	 Luiz Rodrigues/ID/BR	 Luiz Rodrigues/ID/BR	 Luiz Rodrigues/ID/BR
Aplicação da segunda lei de Newton	$F_r = 0 \Rightarrow a = 0$ A força resultante é nula.	$F_r = P - N = m \cdot a$ A força resultante tem o sentido da força peso $\vec{P}$.	$F_r = N - P = m \cdot a$ A força resultante tem o sentido da força normal $\vec{N}$.

A balança faz a leitura da intensidade da força normal aplicada pelo piso do elevador no corpo da pessoa. Isso significa que a leitura dessa balança varia de acordo com o tipo de movimento: movimento uniforme ou repouso; movimento acelerado ou retardado.

A leitura da balança pode ser, portanto, igual, maior ou menor que a intensidade do peso. Essa indicação é também chamada de **peso aparente**.

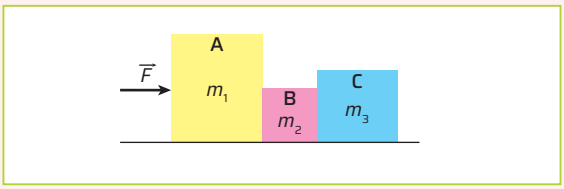
APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

Veja como podemos utilizar situações clássicas para estudar algumas aplicações das leis de Newton.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

Movimento no plano horizontal sem atrito

- A figura a seguir mostra três blocos apoiados sobre uma superfície horizontal sem atrito.



ID/BR

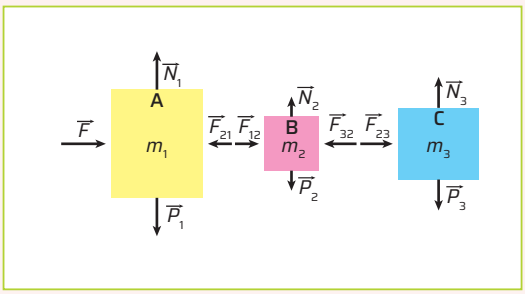
Considere as massas dos blocos $m_1 = 30$ kg, $m_2 = 11$ kg e $m_3 = 19$ kg.

a) Calcule a força horizontal F necessária para empurrar os blocos para a direita, como se fossem um só, com aceleração de 1,20 m/s².

b) Determine a força exercida por m_2 em m_3.

Resolução

a)



ID/BR

Note que $F_{12} = F_{21}$ e $F_{23} = F_{32}$, pois constituem pares de forças de ação e reação.

Como a alteração da velocidade dos corpos ocorre na direção horizontal, pode-se concluir que o peso e a normal se equilibram em cada corpo.

Assim, apenas as forças horizontais são responsáveis pela aceleração de cada corpo. Dessa forma, de acordo com a segunda lei de Newton:

Corpo **A**: $F - F_{21} = m_1 \cdot a$

Corpo **B**: $F_{12} - F_{32} = m_2 \cdot a$

Corpo **C**: $F_{23} = m_3 \cdot a$

Somando as equações, obtém-se a equação geral: $F = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot a$.

Substituindo os valores dados no problema:

$F = (30 + 11 + 19) \cdot 1{,}20$

$F = 72$ N

b) Podemos obter o valor de F_{23} da equação para o corpo **C**:

$F_{23} = m_3 \cdot a \Rightarrow F_{23} = 19 \cdot 1{,}2 \Rightarrow F_{23} = 22{,}8$ N

Movimento no plano horizontal com atrito

- Um bloco com massa de 5 kg apoiado em uma superfície horizontal é submetido a uma força $\vec{F}$ também horizontal. Sabendo que o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície é $\mu_e = 0{,}3$ e o coeficiente de atrito cinético entre ambos é $\mu_c = 0{,}2$, faça o que se pede a seguir.

a) Determine a intensidade da força $\vec{F}$ capaz de colocar o bloco em movimento.

b) Considere uma força de intensidade 30 N aplicada ao bloco. Construa um diagrama para representar as forças que atuam no bloco e calcule a aceleração adquirida por ele.

Resolução

a) A intensidade da força $\vec{F}$ deve ser maior que a intensidade da força de atrito estático máxima.

Assim:

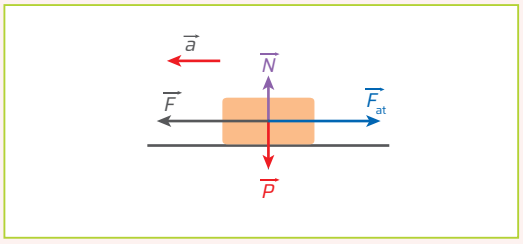
$F_{at} = \mu_e \cdot N = \mu_e \cdot m \cdot g$

$F_{at} = 0{,}3 \cdot 5 \cdot 10$

$F_{at} = 15$ N

A intensidade da força $\vec{F}$ deve ser maior que 15 N.

b)



ID/BR

Na direção vertical, o bloco está em repouso.

Na direção horizontal, a intensidade da resultante das forças F_r é:

$F_r = F - F_{at}$, em que $F = 30$ N e F_{at} é a intensidade da força de atrito cinético.

A força de atrito cinético é calculada pela seguinte expressão:

$F_{at} = \mu_c \cdot N \Rightarrow F_{at} = 0{,}2 \cdot 50 = 10 \Rightarrow F_{at} = 10$ N

Assim:

$F_r = 30 - 10 = 20 \Rightarrow F_r = 20$ N

Como $F_r = m \cdot a$, temos:

$20 = 5 \cdot a$

$a = \frac{20}{5} = 4$

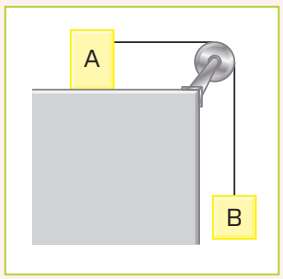
$a = 4$ m/s²

Não escreva no livro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

Movimento no plano horizontal e na direção vertical

- Considere dois blocos unidos por um fio inextensível, o qual passa por uma polia que gira livremente e tem massa desprezível, ou seja, uma polia ideal, dispostos como mostrado na figura a seguir. As massas de **A** e **B** são, respectivamente, 40 kg e 10 kg.
Dado: $g = 10$ m/s².



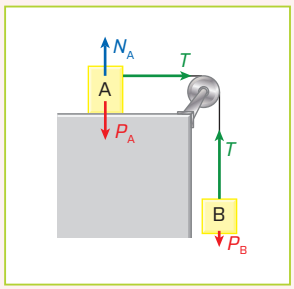
Setup Bureau/ID/BR

O módulo da força que traciona o fio é:

a) 80 N.
b) 100 N.
c) 120 N.
d) 400 N.

Resolução

Para determinar a força de tração no fio que une os corpos, podemos começar por assinalar todas as forças que agem no sistema.



Setup Bureau/ID/BR

Como não há deslocamento vertical no corpo **A**, podemos assumir que P_A e N_A se equilibram. Assim:

Corpo **A**: $T = m_A \cdot a$

Corpo **B**: $P_B - T = m_B \cdot a$

Somando as equações, obtemos a equação geral:

$P_B = (m_A + m_B) \cdot a$

Substituindo os valores dados e lembrando que $P_B = m_B \cdot g$, temos:

$100 = (40 + 10) \cdot a \Rightarrow a = 2$ m/s²

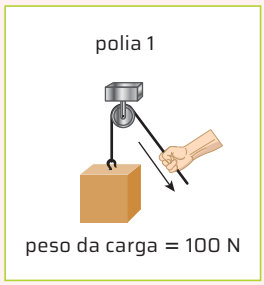
Voltando ao sistema de equações, pode-se obter o valor de T, por exemplo, por meio da equação para o corpo **A**:

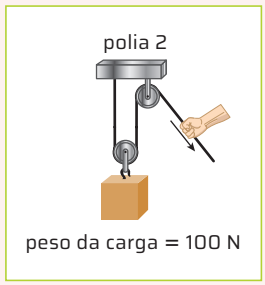
$T = m_A \cdot a \Rightarrow T = 40 \cdot 2 \Rightarrow T = 80$ N.

Alternativa **a**.

O uso de polias

- Em cada uma das polias representadas a seguir, faça o que se pede.



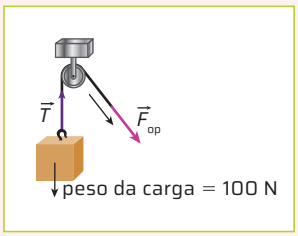


Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

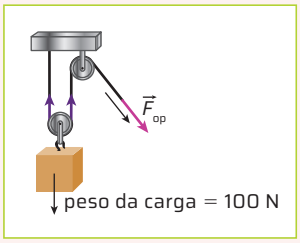
a) Desenhe os vetores que representam as forças aplicadas.
b) Calcule o valor da força aplicada pelo operador.

Resolução

a) Representação das forças.



Setup Bureau/ID/BR



Setup Bureau/ID/BR

b) Cálculo da força aplicada pelo operador.

Polia **1:** Nesse caso, a polia fixa funciona na alteração da direção da força. Então, a força aplicada pelo operador é igual ao peso da carga:

$F_{op} = P$

$F_{op} = 100$ N

Polia **2:** Nessa situação, há ao menos uma polia móvel e faz com que a força contrária à do operador seja dividida em duas, como pode ser observado nas ilustrações do item **a**.

$F_{op} = \frac{F_P}{2}$

$F_{op} = \frac{100}{2}$

$F_{op} = 50$ N

O valor da força é 50 N.

MOVIMENTO NO PLANO INCLINADO

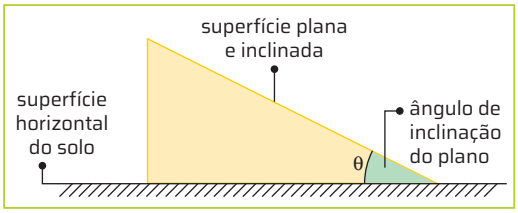
Os planos inclinados são utilizados em diversas situações do cotidiano. Uma de suas aplicações está em fazer valer o direito de ir e vir de todos os cidadãos: os meios de acessibilidade são um modo de promover esse direito garantido pela Constituição Federal, e pessoas em cadeira de rodas devem contar com as condições de autonomia e de segurança proporcionadas pela presença de rampas de acesso a edifícios públicos, por exemplo.

FG Trade/iStock/Getty Images

No Brasil, é exigida por lei a instalação de rampas de acesso em espaços públicos para pessoas em cadeira de rodas, como nesse hospital em São Paulo (SP). Foto de 2023.

Rubens Chaves/Pulsar Imagens

As rampas também permitem que pessoas em cadeira de rodas acessem as calçadas das vias públicas. Aracaju (SE). Foto de 2024.



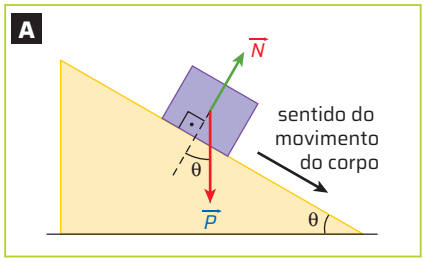
Setup Bureau/ID/BR

Um plano inclinado consiste basicamente em uma superfície plana, rígida, com uma inclinação constante em relação à horizontal representada pelo ângulo θ, formado entre a direção da rampa e o solo horizontal, conforme ilustrado na imagem ao lado.

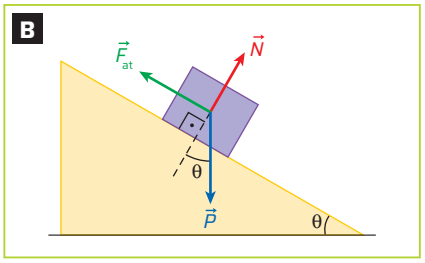
Forças em um plano inclinado

O plano inclinado é usado para facilitar o deslocamento entre dois níveis. Em uma rampa que promove acessibilidade para pessoas em cadeira de rodas, por exemplo, sua inclinação moderada reduz o esforço da pessoa, permitindo que ela suba ou desça de forma independente e com segurança. Na descida, essa inclinação facilita o controle do movimento, pois a aceleração é menor – em comparação com planos mais inclinados – por causa da distribuição de forças que atuam sobre o objeto.

Observe, nas imagens, essa distribuição de forças em um corpo inicialmente em repouso em duas situações: sem atrito (imagem **A**) e com atrito (imagem **B**).



Em uma rampa sem atrito, o corpo descerá com aceleração constante e não nula.



Em uma rampa com atrito, dependendo da intensidade das forças envolvidas, o corpo pode permanecer em repouso, descer com velocidade constante ou descer com aceleração.

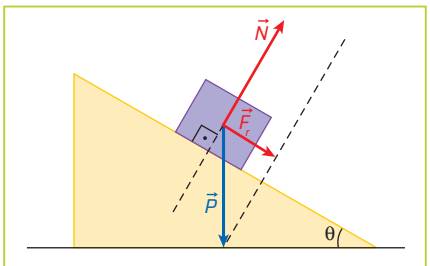
Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Na situação sem atrito, apenas a força peso $\vec{P}$ e a força normal $\vec{N}$ estão presentes. Pela disposição de ambas, a força resultante $\vec{F}_r$ será não nula. Assim, o corpo terá aceleração paralela ao plano inclinado, dirigida para baixo (mesma direção e mesmo sentido da força resultante), em um movimento com aceleração constante e diferente de zero.

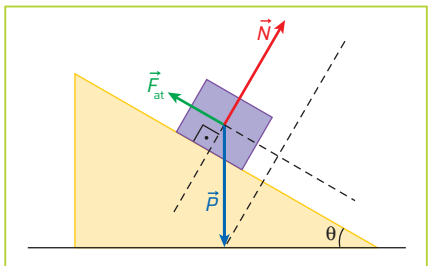
Não escreva no livro.

Na situação com atrito, além da força peso $\vec{P}$ e da força normal $\vec{N}$, atua a força de atrito $\vec{F}_{at}$. Como o corpo foi colocado inicialmente em repouso sobre o plano, sua tendência inicial é se deslocar para baixo. Com isso, a força de atrito passa a atuar no sentido oposto ao da tendência do movimento. Dependendo da relação entre as intensidades dessas forças, o corpo poderá descer o plano com aceleração menor que na situação em que não há atrito. As forças nas duas situações estão representadas a seguir.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



Sem atrito.



Com atrito.

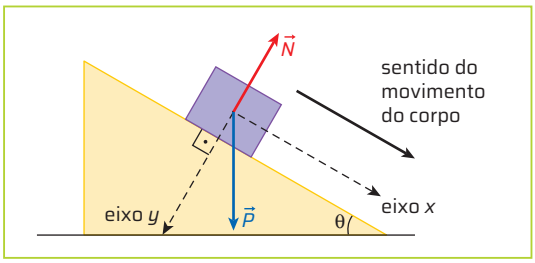
Decomposição da força peso em plano inclinado

A análise das forças atuantes em corpos que se movimentam em planos inclinados requer uma abordagem diferente dos movimentos que ocorrem exclusivamente em planos horizontais ou na direção vertical.

A seguir, apresentamos como essa análise pode ser feita:

- **Localização de eixos ortogonais adequados**

  Eixo *x* paralelo (ou tangente) à direção do movimento; eixo *y* perpendicular (ou normal) à direção do movimento.



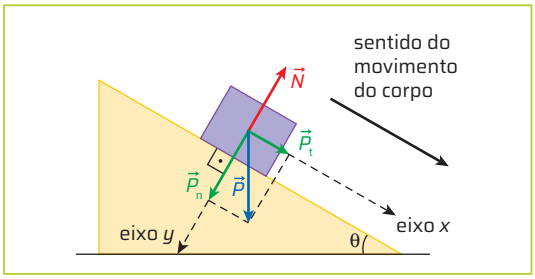
Setup Bureau/ID/BR

A força normal $\vec{N}$ coincide com a direção *y*. Já a força peso $\vec{P}$ é perpendicular à superfície horizontal. A força peso será decomposta em duas componentes que coincidam com esses dois eixos: $\vec{P}_n$ ou $\vec{P}_{normal}$ (eixo *y*); $\vec{P}_t$ ou $\vec{P}_{tangencial}$ (eixo *x*).

- **Decomposição da força peso nas duas componentes, $\vec{P}_t$ e $\vec{P}_n$**

  Após a decomposição da força peso, e na ausência da força de atrito, percebe-se que a componente $\vec{P}_{normal}$ está alinhada com a força normal, mas tem sentido oposto a ela.

  A componente $\vec{P}_{tangencial}$ é paralela ao plano inclinado, tem a direção do movimento e, nesse caso, aponta no mesmo sentido dele.



Setup Bureau/ID/BR

ROTEIRO

4. **Forme dupla com um colega. Vocês vão constatar que a força peso é vertical e para baixo, mesmo em um plano inclinado. Para isso, vocês vão utilizar um caderno espiralado, um clipe e uma régua com um furo. Deformem o clipe e passem-no pelo furo da régua; em seguida, prendam a outra extremidade do clipe à espiral do caderno, de maneira que a régua fique na posição vertical (imagem 1). A régua indica o vetor força peso, e o caderno representa a superfície. Inclinem o caderno, como se estivessem formando uma rampa. Percebam que a régua, assim como o vetor força peso, continuará na direção vertical (imagem 2).**

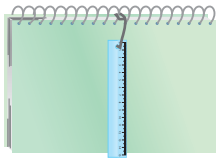


Imagem 1

Imagem 2

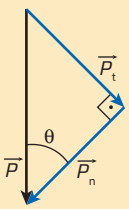
Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

DE OLHO NO CONCEITO

Seno e cosseno

Observe este triângulo, formado pelos vetores das forças. Dele se podem deduzir as equações:



Setup Bureau/ID/BR

$$\text{sen}\ \theta = \frac{P_t}{P} \Rightarrow P_t = P \cdot \text{sen}\ \theta$$

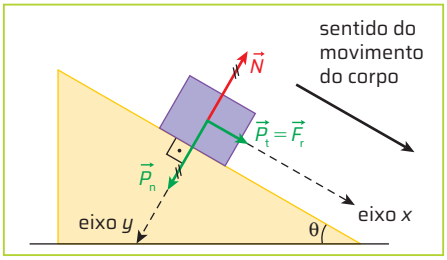
$$\cos\theta = \frac{P_n}{P} \Rightarrow P_n = P \cdot \cos\theta$$

- **Identificação da força resultante**

  Como não há movimento na direção y, conclui-se que a componente $\vec{P}_{normal}$ ($\vec{P}_n$) e a força normal $\vec{N}$ se equilibram e têm, portanto, intensidades iguais: $N = P_n$. Na direção x, há apenas a componente $\vec{P}_{tangencial}$ ($\vec{P}_t$), que se configura, portanto, como força resultante. Pode-se escrever: $|P_t| = m \cdot |a|$.

  Ou ainda:

  $P \cdot \text{sen}\,\theta = m \cdot a \Rightarrow m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta = m \cdot a \Rightarrow$ $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$



Setup Bureau/ID/BR

Calculada a intensidade da aceleração, é possível encontrar outras informações acerca do movimento do corpo, como o intervalo de tempo necessário para que esse corpo se movimente por determinada distância, por exemplo.

- **Complemento: plano inclinado com atrito**

  Com a presença da força de atrito, e caso haja escorregamento acelerado para baixo, a força resultante é dada por:

  $P_t - F_{at} = m \cdot a$

  Substituindo as relações para cada força, temos:

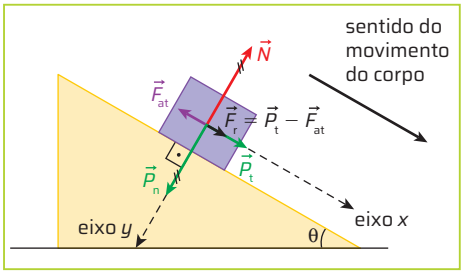
  $P \cdot \text{sen}\,\theta - \mu \cdot N = m \cdot a$

  Como $N = P_n = P \cdot \cos\theta$, temos:

  $m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta = m \cdot a$

  Isso resulta em:

  $a = g \cdot (\text{sen}\,\theta - \mu \cdot \cos\theta)$



Setup Bureau/ID/BR

ATIVIDADE RESOLVIDA

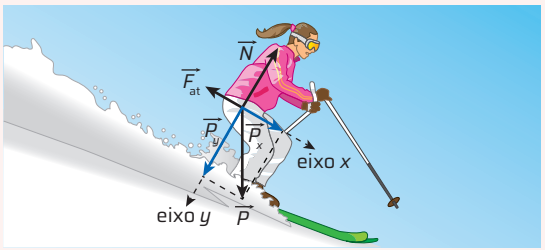
A imagem a seguir mostra uma esquiadora descendo a encosta de uma montanha coberta de neve, de inclinação θ em relação à horizontal, com velocidade constante.

AMj Studio/ID/BR

Represente todas as forças que agem no conjunto esqui-esquiadora e mostre, por meio das relações entre elas, por que sua velocidade é constante nessa descida.

Resolução

Identificando as forças peso, normal e atrito:



AMj Studio/ID/BR

Para proceder à análise, deve-se aplicar a decomposição das forças. Localizam-se primeiramente o eixo x e o eixo y e decompõe-se a força peso.

A velocidade da esquiadora é constante porque as forças se equilibram. Dessa forma, na direção do eixo y, tem-se $P_y = N$, e, na direção de x, $P_x = F_{at}$, em que $P_y = P \cdot \cos\theta$ e $P_x = P \cdot \text{sen}\,\theta$, resultados da decomposição da força peso.

Não escreva no livro.

FORÇAS NO MOVIMENTO CIRCULAR

O movimento circular apresenta duas características que merecem destaque:

- a trajetória é sempre uma circunferência ou um arco de circunferência;
- a velocidade do móvel varia a cada instante, seja apenas em sua direção (movimento circular uniforme, MCU), seja em intensidade e direção (movimento circular não uniforme, MCNU). O MCU é um caso particular do MCNU no qual a força tangencial é nula.

Essas alterações na velocidade se devem à presença de uma força resultante não nula. Veja esquematicamente, na figura **A**, a variação da velocidade.

De modo geral, a velocidade pode variar em intensidade, direção e sentido. Assim, obrigatoriamente temos: $\vec{v}_A \neq \vec{v}_B$.

Como a velocidade vetorial varia, pode-se calcular a aceleração vetorial média do movimento por meio da expressão:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

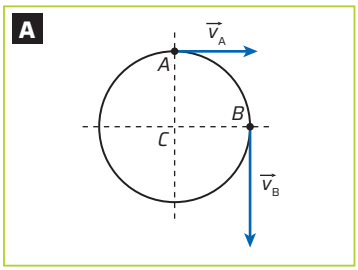
Antes de calcular a aceleração vetorial, é preciso encontrar $\Delta\vec{v}$. Sabe-se que $\Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$.

Para calcular $\Delta\vec{v}$, a diferença pode ser escrita como a soma $\Delta\vec{v} = \vec{v}_B + (-\vec{v}_A)$, em que o segundo vetor tem seu sentido invertido para que a soma seja realizada. Desse raciocínio, obtém-se o esquema da figura **B**.

O vetor aceleração média tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\Delta\vec{v}$. Como a força resultante está associada à aceleração, ela também tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\Delta\vec{v}$.

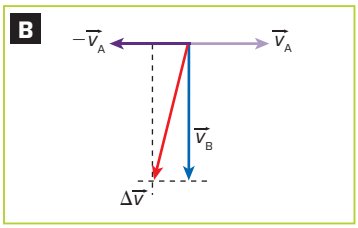
O vetor que representa a força resultante aponta para uma direção qualquer dentro da circunferência. Essa força é mostrada no esquema da figura **C**.

Para facilitar a análise, essa força será decomposta em duas direções ortogonais: a direção radial e a direção tangencial (figura **D**).



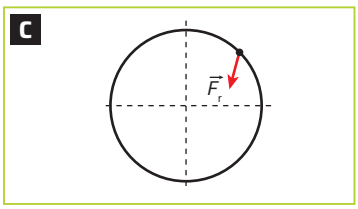
ID/BR

A velocidade no ponto **A** e no ponto **B** são diferentes tanto no módulo como na direção e no sentido.



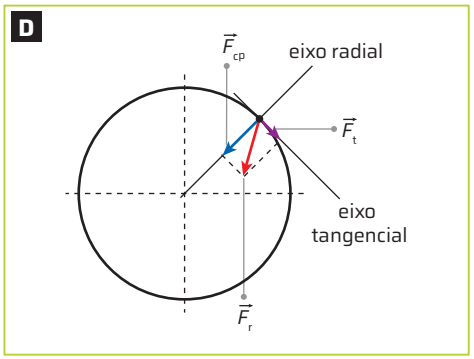
ID/BR

A variação da velocidade $\vec{v}_A$ para $\vec{v}_B$ ocorreu devido a uma força resultante $\vec{F}_r$ diferente de zero.



ID/BR

A força resultante em um movimento circular estará sempre apontada para dentro da curva.



ID/BR

Observa-se que a força resultante apresenta duas componentes: força tangencial e força radial ou centrípeta.

Observe, na tabela, as características dessas componentes.

FORÇA RESULTANTE EM UM MOVIMENTO CURVILÍNEO	
Força centrípeta ($\vec{F}_{cp}$)	**Força tangencial ($\vec{F}_t$)**
• Associada a mudanças na direção da velocidade (trajetórias curvas). • Vetor: perpendicular à velocidade $\vec{v}$. • Direção: radial, ou seja, perpendicular ao vetor velocidade. • Sentido: apontando para dentro da curva, para o centro de curvatura (na circunferência, coincide com seu centro).	• Associada à mudança na intensidade da velocidade. • Vetor: paralelo à velocidade $\vec{v}$. • Direção: tangente à trajetória, ou seja, paralela ao vetor velocidade. • Sentido: o mesmo do vetor velocidade, se o movimento for acelerado; oposto ao sentido do vetor velocidade, se o movimento for retardado.

Aceleração em movimentos circulares

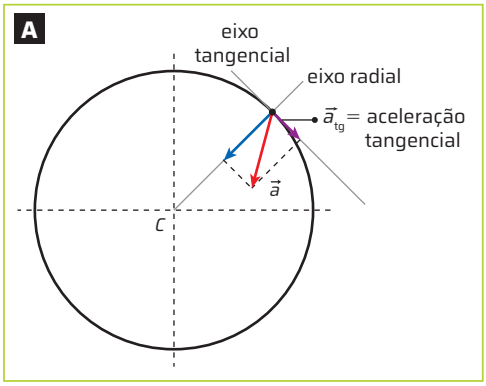
Como já vimos, o movimento circular uniforme (MCU) tem velocidade vetorial variável. Essa variação pode ocorrer apenas na direção e no sentido do vetor velocidade, mantendo-se constante a intensidade da velocidade.

Mas há movimentos circulares que também apresentam variação na intensidade da velocidade. Nesses casos, o movimento circular pode ser acelerado (a intensidade da velocidade cresce) ou retardado (a intensidade da velocidade decresce).

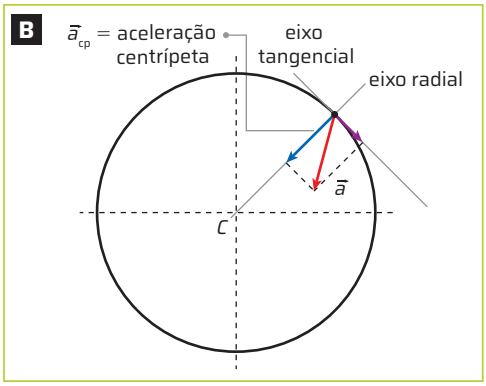
Cada componente da aceleração vetorial pode ser associado a uma alteração na velocidade vetorial. Observe:

- **Aceleração tangencial ($\vec{a}_{tg}$)**
  Característica: presente em movimentos em que a intensidade da velocidade varia (imagem **A**).
  Intensidade: $a_{tg} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
  Direção: a mesma da reta tangente à curva em cada ponto (eixo tangencial).
  Sentido: o mesmo da velocidade em movimentos acelerados e contrário ao da velocidade em movimentos retardados.
- **Aceleração centrípeta ($\vec{a}_{cp}$)**
  Característica: presente em movimentos em que a direção da velocidade vetorial se altera (imagem **B**).
  Intensidade: $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$, em que R é o raio da circunferência em cada ponto considerado.
  Direção: a mesma da reta que passa pelo centro da circunferência, coincidindo com o raio (eixo radial).
  Sentido: aponta para o centro da circunferência.

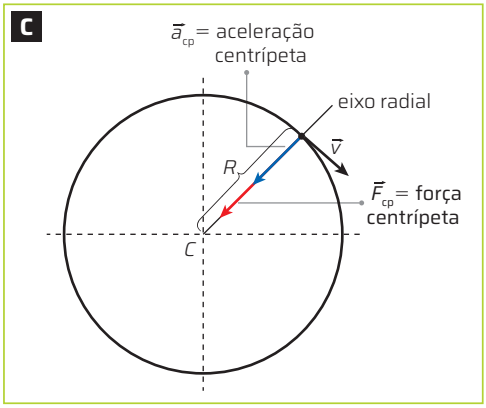
Setup Bureau/ID/BR



Setup Bureau/ID/BR



Setup Bureau/ID/BR



Expressão matemática da força resultante centrípeta

No esquema ao lado (imagem **C**), estão representadas as grandezas consideradas neste estudo.

Com base na segunda lei de Newton, pode-se escrever a seguinte expressão matemática para a força centrípeta atuante no corpo em movimento circular:

$$\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}, \text{ em que } |\vec{a}_{cp}| = \frac{v^2}{R}$$

Analisando essa expressão, temos:

- Intensidade: $F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$, em que m é a massa do corpo; v é a intensidade de sua velocidade; R é o raio de sua trajetória circular.
- Direção: radial.
- Sentido: apontando para o centro da curva.

Força centrífuga: realidade ou ficção?

Durante uma curva, as pessoas no interior de um veículo têm a nítida sensação de que existe uma força empurrando-as para fora do veículo. No entanto, ao se observar a situação a partir de um referencial inercial (como um ponto na margem da estrada, por exemplo), nota-se que, durante o movimento, as pessoas são empurradas para dentro da curva, configurando a existência de uma força resultante centrípeta. Não há nenhuma força empurrando as pessoas para fora. Essa sensação deve-se à inércia e à tendência de o corpo "sair pela tangente" à curva a cada instante. Para as pessoas dentro do veículo, a sensação de uma força centrífuga é intensa, mas essa força é "fictícia", ou seja, apenas uma percepção devido à inércia.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

A montanha-russa retratada na foto a seguir tem vários trechos nos quais as pessoas ficam de cabeça para baixo. Em um desses trechos, a curva tem 46 m de altura em relação ao solo, e a velocidade do carro é de 100 km/h, aproximadamente.

D. Pfleiderer/Shutterstock.com/ID/BR

Parque de diversões na Polônia. Foto de 2023.

Considere um passageiro nesse brinquedo com massa de 70 kg e considere $g = 10$ m/s².

a) Identifique e calcule a força centrípeta resultante na posição mostrada na imagem.

b) Calcule o valor da força normal aplicada pelo assento do carrinho no corpo do passageiro no trecho do passeio registrado pela foto.

Resolução

A curva tem 46 m de altura. Considerando um círculo completo, essa medida equivale ao diâmetro, do qual se obtém a medida do raio: $R = 23$ m.

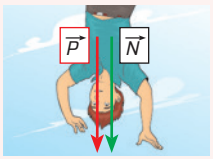
A velocidade de 100 km/h deve ser convertida para m/s: $\frac{100}{3,6} \cong 28$, isto é, 28 m/s.

a) A força resultante que age no corpo do passageiro será dada por: $F_r = P + N$ (desprezamos a força de contato do corpo do passageiro com o suporte de segurança). Como essa força resultante aponta para baixo, coincidindo com o centro da curva, ela pode ser identificada como resultante centrípeta. Dessa forma, é possível escrever:

$$F_{cp} = P + N$$

A intensidade da força centrípeta pode ser calculada por:

$$F_{cp} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$



Luiz Rodrigues/ID/BR

Com os valores fornecidos, $m = 70$ kg, $R = 23$ m e $v \cong 28$ m/s, obtém-se:

$$F_{cp} \cong 70 \cdot \frac{(28)^2}{23} \Rightarrow F_{cp} \cong 2,4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

b) A força normal pode ser encontrada por meio da relação $F_{cp} = P + N$. Obtendo o valor de P:

$$P = m \cdot g \Rightarrow P = 70 \cdot 10 \Rightarrow P = 700 \text{ N}$$

Assim:

$$F_{cp} = P + N \Rightarrow 2,4 \cdot 10^3 = 700 + N$$

$$N = 2,4 \cdot 10^3 - 0,7 \cdot 10^3 \Rightarrow N = 1,7 \cdot 10^3$$

$$\therefore N = 1,7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

1. Espera-se que os estudantes respondam que os estudos em Biomecânica podem contribuir para a manutenção da saúde corporal, visto que demonstram a maneira adequada de realizar movimentos com o corpo ao definir a forma e a postura corretas de praticar determinada atividade física, além de indicarem o melhor acessório ou equipamento de proteção para a prática, evitando, assim, a ocorrência de lesões nas articulações dos joelhos e dos quadris.

FÍSICA E BIOLOGIA

Biomecânica: uso de calçados para a prática de corrida

Correr descalço pode reduzir risco de lesão no joelho, mas é preciso iniciar aos poucos

[...]

Apesar [...] [de os] calçados esportivos serem anunciados com tecnologias avançadas de amortecimento para os aficionados por corrida de rua, a incidência de lesões nas articulações ainda é bastante considerável. Baseados nesse contexto, alguns estudos recentes mostram que a corrida com pés descalços poderia ser uma estratégia para minimizar esses danos. Uma pesquisa do Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física e Esporte (EEFE) da USP explica melhor essa dicotomia: correr descalço realmente pode ser benéfico, mas desde que a prática seja introduzida aos treinos progressivamente. Há uma redução no impacto recebido pelo corpo e diminui a possibilidade de lesões em joelhos e quadris.

[...]

Correr descalço pode reduzir risco de lesão no joelho, mas é preciso iniciar aos poucos. *Jornal da USP*, São Paulo, 14 nov. 2019. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-da-saude/correr-descalco-pode-reduzir-risco-de-lesao-no-joelho-mas-so-se-pratica-for-inserida-aos-poucos/. Acesso em: 4 out. 2024.

Movimentos como andar, correr ou segurar objetos exigem o trabalho de diferentes estruturas do corpo. Os ossos permitem a sustentação, enquanto as articulações proporcionam a mobilidade do esqueleto. Os músculos esqueléticos estão relacionados à produção de movimento, pois ligam-se aos ossos por tendões. Estudos em biomecânica, como o citado no trecho, buscam evitar lesões que possam limitar ou prejudicar tais movimentos.

1. De que forma estudos em biomecânica contribuem para a prática adequada de atividades de movimentação do corpo?

2. Forme dupla com um colega para pesquisar e elaborar um texto sobre os benefícios que a prática de correr descalço pode trazer para os corredores. Espera-se que os estudantes respondam que essa prática, desde que seja acompanhada por um profissional credenciado, traz benefícios como a ativação da musculatura das pernas e dos pés, melhor percepção dos movimentos, auxílio na estabilidade durante a atividade, menor incidência de lesões articulares, entre outros.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

A AMPLITUDE DOS ESTUDOS DE NEWTON

Em 5 de julho de 1687, o cientista inglês Isaac Newton publicou uma das mais importantes obras científicas de todos os tempos: *Os princípios matemáticos da filosofia natural*. Naquela época, a filosofia natural caracterizava-se pelos conhecimentos hoje denominados Ciências Naturais. Colocados à prova, os conceitos apresentados em *Principia*, como ficou conhecida essa obra (seu nome original, em latim, é *Philosophiae naturalis principia mathematica*), foram aprimorados no decorrer do tempo. Nela, Newton formula suas três leis básicas acerca do movimento. Portanto, ainda hoje, para resolver problemas de mecânica celeste e da física dos grandes corpos, os procedimentos são os mesmos propostos por Newton.

Peter Macdiarmid/Getty Images

O telescópio newtoniano foi uma invenção que se tornou popular em todo o mundo e é conhecido até hoje como refletor de Newton. Essa foto, de 2009, mostra um telescópio feito por Newton exposto próximo de sua estátua, na sede da Royal Society de Londres, na Inglaterra.

Newton também esclareceu um ponto fundamental das teorias de Kepler e de Galileu: nelas faltavam uma explicação única e abrangente sobre como a força da gravitação determina o movimento da Lua e dos planetas. De acordo com o livro *O despertar na Via Láctea: uma história da Astronomia*, de Timothy Ferris, Newton propôs, segundo o princípio da inércia, que "a Lua se afastaria numa linha reta se não fosse constantemente impedida pela força da gravidade da Terra. Calculou quanto a Lua 'cai' em direção à Terra – isto é, deixa de percorrer uma linha reta para traçar sua órbita – a cada segundo".

Entre suas criações, Newton desenvolveu um novo tipo de telescópio, eficiente e barato, que se tornou popular em todo o mundo e conhecido até hoje como refletor de Newton. Esse aparato chamou a atenção da Royal Society de Londres, instituição que promovia o conhecimento científico na época, atuando como uma comunidade de cientistas dedicada ao avanço das ciências naturais.

O astrônomo britânico Edmond Halley (1656-1742), que figurava em posição independente da Royal Society, compartilhou com Newton as observações que fizera sobre o cometa de 1680 – posteriormente batizado com seu nome – e o procurou para consultar sua opinião sobre a forma das órbitas dos planetas, já que a força da gravidade que os mantinha nas proximidades do Sol diminuía pelo quadrado de sua distância daquela estrela. Como Newton já havia realizado cálculos para o comportamento de corpos celestes, informou Halley de que a órbita dos planetas era uma elipse. E foi dessa troca intelectual entre Newton e Halley que se originou a importante obra *Principia*.

A personalidade de Newton

Pessoa pouco acessível, segundo seu biógrafo, o economista britânico John Maynard Keynes (1883-1946), Newton foi um homem solitário. Só parava de se concentrar em um problema quando chegava a uma conclusão – ou, pelo menos, quando tinha clareza das limitações teóricas para resolvê-lo. Essa característica, apesar de contribuir para a imagem de introspectivo, ajudou-o no desenvolvimento de suas formulações notáveis.

Sabe-se que ele nasceu prematuro, com pouca esperança de que sobrevivesse. Sua mãe, que se casara novamente logo depois de ficar viúva, entregou o filho à avó, para ser criado por ela. Assim, Newton cresceu a pouca distância da casa onde morava sua mãe, como um garoto pensativo, tristonho e inteligente. Interessava-se por diversas áreas do conhecimento, e tornou-se professor de Matemática da Universidade de Cambridge. Durante a maior parte de sua vida, foi também um estudioso de Teologia, tendo escrito diversos artigos e livros sobre questões religiosas.

Para discutir **1.** Newton propôs, segundo o princípio da inércia, que a Lua se afastaria da Terra, em uma linha reta, se não fosse constantemente impedida pela força de gravidade da Terra.

1 **Identifique como Newton aplicou o princípio da inércia na descrição do movimento da Lua.**

2 **Segundo o texto, do que trata o livro *Principia*?** A obra *Principia* trata do movimento dos corpos, incluindo conceitos sobre as trajetórias dos planetas.

3 **Dentre os legados de Newton para a ciência, pesquise qual é o mais importante e justifique.**
O legado mais importante de Newton é sua formulação das leis do movimento e as lei da gravitação, que revolucionaram o entendimento de como os astros e os objetos da Terra se movimentam.

Não escreva no livro.

1. É importante que os estudantes verifiquem se de fato obtiveram um coeficiente de atrito maior para o tênis e menor para o sapato, de acordo com a previsão inicial. O maior ou o menor atrito do solado dos calçados estão relacionados, respectivamente, com a maior ou a menor presença de ranhuras, ou seja, com sua aspereza. O mesmo ocorre com a superfície dos pneus de veículos: pneus gastos, ou seja, menos ásperos e com menos ranhuras, têm menor atrito com o solo, facilitando a derrapagem do veículo, podendo ocasionar acidentes.

Coeficiente de atrito estático

Por que alguns objetos deslizam e outros não sobre certas superfícies? Nesta atividade, em grupos, vocês vão determinar experimentalmente o valor do coeficiente de atrito estático máximo entre duas superfícies.

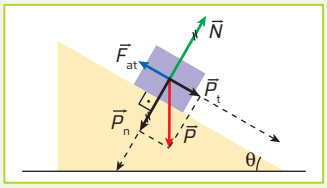
Material

- uma placa de madeira
- um pé de tênis e um pé de um sapato de sola lisa
- transferidor e calculadora científica
- moeda e borracha

Subsídios teóricos

Analisando as forças no plano inclinado, temos:

ID/BR



Plano inclinado com atrito: corpo em repouso.

- $P_t = F_{at}$
- $P_N = N$

Também temos as seguintes relações:

- $P = m \cdot g$
- $P_t = m \cdot g \cdot \text{sen}\ \theta$
- $F_{at} = \mu \cdot N$
- $P_N = m \cdot g \cdot \cos \theta$

Com base nessas relações, obtemos as seguintes equações:

$$N = P_N = m \cdot g \cdot \cos \theta$$

$$F_{at} = \mu \cdot N = P_t = m \cdot g \cdot \text{sen}\ \theta$$

Substituindo as equações em $F_{at} = \mu \cdot N$, temos:

$$m \cdot g \cdot \text{sen}\ \theta = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta$$

$$\text{sen}\ \theta = \mu \cdot \cos \theta$$

$$\mu = \frac{\text{sen}\ \theta}{\cos \theta} \Rightarrow \mu = \text{tg}\ \theta$$

Assim, o coeficiente de atrito estático, entre a rampa e o objeto colocado sobre ela, pode ser obtido pela tangente do ângulo máximo de inclinação alcançado pela rampa, com o objeto em repouso.

Como fazer

1. A utilização de calçados com solados diferentes servirá para que investiguem, por exemplo, as diferenças entre os tipos de material e o efeito do desgaste dessas superfícies. Avaliem previamente qual deles deverá apresentar maior coeficiente de atrito e justifiquem a hipótese levantada.
2. A placa de madeira deve ter uma de suas extremidades apoiada sobre uma mesa; a outra extremidade deve ser livre para ser elevada em relação à mesa.
3. Coloquem o tênis sobre a extremidade do plano que será elevada.
4. Inclinem o plano lentamente, elevando de modo contínuo uma de suas extremidades até que o tênis comece a escorregar. Nesse instante, parem de elevar a placa de madeira, mantendo-a nessa posição. Usando o transferidor, um de vocês vai medir o ângulo de inclinação entre a rampa e a superfície horizontal da mesa. Anotem o ângulo medido nesta etapa e nas subsequentes.
5. Repitam os procedimentos dos itens **3** e **4** trocando o tênis pelo sapato.
6. Em seguida, para investigar o coeficiente de atrito de materiais diferentes, repitam os procedimentos **3** e **4** usando uma moeda.
7. Repitam os procedimentos com a borracha, primeiro apoiando a maior face dela na rampa e depois apoiando a borracha lateralmente (evitem que ela tombe antes de se deslocar na rampa).
8. Com base nos valores de ângulo obtidos e com o apoio de uma calculadora científica, calculem o coeficiente de atrito estático em cada situação.
9. Registrem em uma tabela as informações relevantes. Indiquem o ângulo máximo do plano e o valor do coeficiente de atrito estático obtidos para cada corpo.

3. O valor do coeficiente de atrito obtido com a borracha será o mesmo nas duas situações testadas. É importante que os estudantes reconheçam que esse resultado é compatível e previsível dada a expressão da força de atrito, visto que não há dependência dessa força em relação à área da superfície de contato entre os corpos.

Para concluir

1 **Comparem os coeficientes de atrito calculados e discutam se as hipóteses iniciais foram confirmadas. Com base nessa discussão, o que se pode concluir sobre a importância de trocar os pneus dos veículos quando estão desgastados?**

2 **Identifiquem qual material apresentou o maior valor para o coeficiente de atrito. Expliquem os resultados encontrados. Em seguida, apresentem uma explicação que associe o atrito com o fato de as rodas dos trens serem de metal e não de borracha, como os pneus.**

3 **Expliquem os resultados obtidos nas duas situações testadas com a borracha, destacando o fato de terem sido apoiadas na rampa duas faces diferentes desse objeto.**

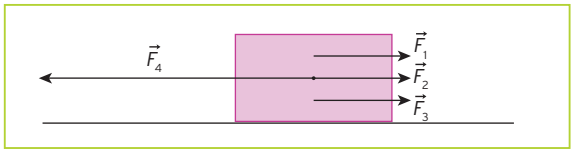
4 **Cada membro do grupo deverá resumir os procedimentos e as principais conclusões sobre o experimento. Comparem os resumos elaborados pelo grupo e escolham o melhor para ser afixado no mural da sala de aula.** Resposta pessoal.

2. A moeda com a madeira apresenta menor atrito. Quanto à questão sobre os trilhos, é interessante refletir sobre quais forças estão envolvidas no movimento desses veículos, que efeitos devem ser considerados e qual é o papel da força de atrito nesse movimento.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

1 **Um corpo está sobre um plano horizontal sujeito à ação de forças, conforme o esquema a seguir.**



Setup Bureau/ID/BR

- Se os módulos das forças são $F_1 = F_2 = F_3 = \frac{1}{3}F_4$ e a massa do corpo é de 5,0 kg, determine a aceleração adquirida pelo corpo em função da força F_4.

Aceleração nula.

2 **É comum as embalagens dos produtos vendidos nos supermercados trazerem informações como "peso líquido: 5 kg". Explique por que essa informação não está correta segundo a Física.**

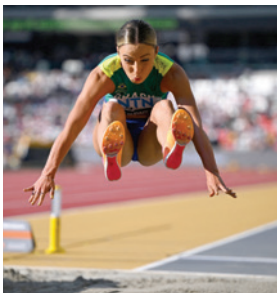
5 kg se refere à massa e não ao peso.

3 **A aceleração da gravidade na Terra mede por volta de 9,8 m/s², enquanto na Lua é cerca de 1,6 m/s². Na eventualidade de um astronauta sair da Terra e ir para a Lua, identifique quais grandezas passam por alteração: sua massa, seu peso ou ambas as grandezas. Explique.** A massa não sofre alteração, mas o peso sofre alteração porque depende da aceleração da gravidade local.

4 **Identifique, nas situações mostradas nas fotos a seguir, as forças atuantes em cada corpo e indique, em cada situação, se a força resultante é nula.**

a) Atleta praticando salto em distância.

Força peso e força resultante não nulas.



Dylan Martinez/Reuters/Fotoarena

Atleta brasileira de salto em distância Letícia Oro Melo, na final do Mundial de Atletismo em Budapest, Hungria. Foto de 2023.

b) Motocicleta em uma curva, com velocidade constante.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

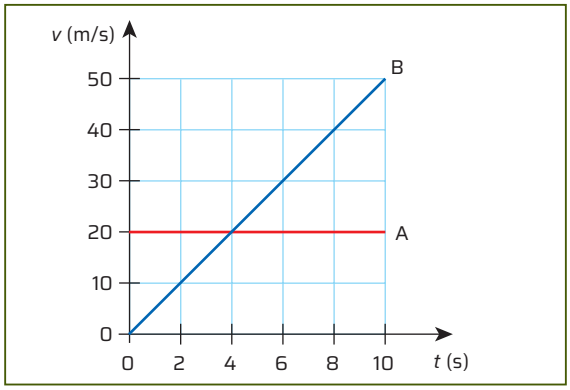
David San Segundo/Shutterstock.com/ID/BR

c) Caixa sendo empurrada rampa acima com velocidade constante.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Kali9/iStock/Getty Images

5 **Dois corpos em movimento retilíneo têm suas velocidades representadas no gráfico a seguir.**



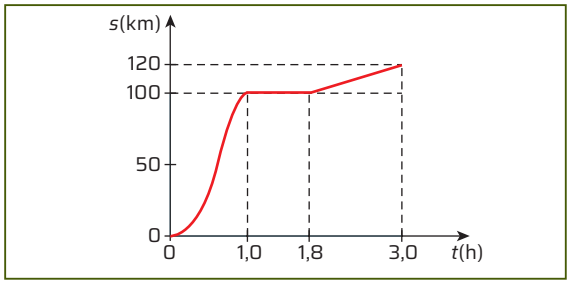
ID/BR

a) Identifique para cada curva (**A** e **B**) se há força resultante nula ou não nula. (**A**) nula; (**B**) não nula.

b) Determine a intensidade da força resultante para cada um dos corpos em movimento, dado que a massa de ambos é igual a 8 kg. 40 N

c) Descreva uma situação cotidiana em que seja identificado um movimento como o descrito pela curva **A** e uma situação cotidiana em que se identifique um movimento como o representado pela curva **B**. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 **Um corpo executa um movimento retilíneo de tal maneira que sua posição (*s*) varia em função do tempo (*t*) conforme o gráfico a seguir.**



ID/BR

Entre 0 e 1 h, a curva do gráfico é composta de um arco de parábola. Aceleração (0h-1h); repouso (1h-1,8h); MU (1,8h-3h).

a) Identifique os trechos em que há aceleração, movimento com velocidade constante e repouso.

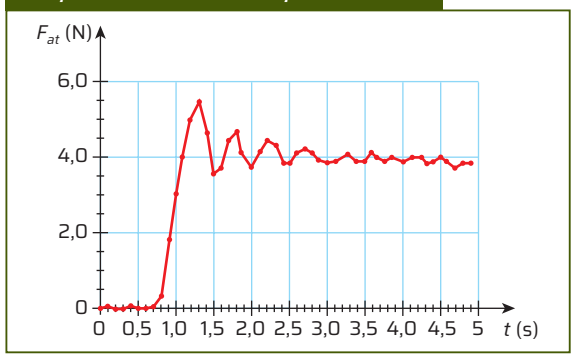
b) Analise os trechos anteriores e verifique se a força resultante é nula ou não. Não é nula no primeiro trecho e é nula nos outros dois.

c) Identifique o trecho que apresenta a maior aceleração, em módulo. O primeiro trecho.

7 **Para a determinação do coeficiente de atrito estático e de atrito cinético entre superfícies de diversos materiais, foi realizado um experimento cujo resultado é representado pelo gráfico a seguir, que se refere ao par placa de madeira/bloco com base de carpete. Considerando que o bloco é empurrado horizontalmente por uma força *F* sobre a lâmina de madeira, faça o que se pede nos itens.**

Não escreva no livro.

FORÇA DE ATRITO EM FUNÇÃO DO TEMPO



ID/BR

a) Faça um esquema para representar o bloco e o apoio. Identifique as forças que agem sobre o bloco. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Identifique o instante em que uma força de empurrão começou a ser aplicada no corpo. 0,7 s

c) Indique o valor da força de atrito estático máxima e o valor da força de atrito cinético. 5,5 N; 4,0 N.

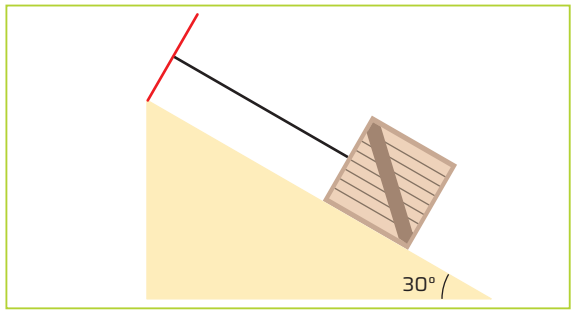
d) Calcule a aceleração de um corpo de 10 kg cujo atrito se comporta conforme o gráfico e que é submetido a uma força *F*. Considere os casos em que a força *F* tenha os seguintes valores: 1,0 N; 2,5 N; 6 N; 12 N; 25N.

e) Construa, em uma folha de papel quadriculado ou milimetrado, o gráfico da variação da força de atrito em função da força *F*.

7. d) e **e)** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **Em alguns circos, é possível ver uma atração conhecida como "globo da morte". Esse globo costuma ter 8 m de diâmetro. A menor velocidade que o piloto pode atingir para completar uma volta no plano vertical é aquela em que, ao chegar ao ponto mais alto, o contato da motocicleta com a parede do globo é bem pequeno ($N \cong 0$). Considerando $g = 10$ m/s² a aceleração da gravidade no local, determine a mínima velocidade para os pilotos passarem pelo ponto mais alto sem cair.** $\sqrt{40}$ m/s

9 **Uma caixa é colocada sobre a superfície de uma rampa e presa por um fio, conforme mostra a figura.**



ID/BR

Sabe-se que a inclinação da rampa é de 30° e que a caixa tem 9,6 kg. Além disso, o atrito é desprezível e a caixa permanece em repouso.

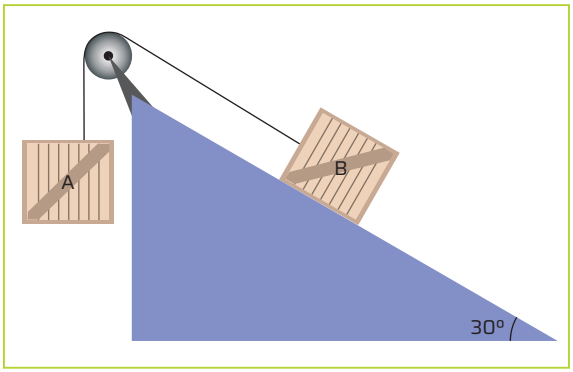
Dados: cos 30° = 0,87 e sen 30° = 0,5.

a) Identifique todas as forças (incluindo as componentes do peso) que agem sobre a caixa. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Determine o valor da força normal aplicada pelo plano à caixa. 83,54 N

c) Calcule o valor da força de tração no fio. 48 N

10 **Na representação a seguir, suponha que não haja atrito entre o corpo B e o plano inclinado.**



Setup Bureau/ID/BR

Sabe-se que $m_A = 20$ kg e $m_B = 15$ kg. O fio e a polia são ideais (massas desprezíveis).

a) Dê o valor da aceleração do sistema formado pelos corpos **A** e **B**. ~3,57 m/s²

b) Calcule a tração no fio. 128,55 N

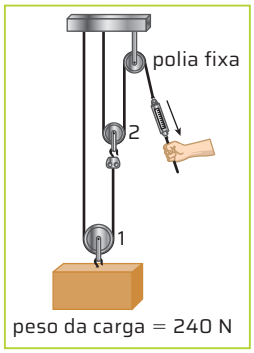
11. a) e **b)** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

11 **Esquematize, no caderno, o sistema ao lado e faça o que se pede para cada polia.**

a) Desenhe o vetor que representa a força aplicada pelo operador.

b) Desenhe o vetor que representa a força peso.

c) Calcule o valor da força para manter o sistema em repouso. 60 N



Setup Bureau/ID/BR

12 **Uma roda-gigante tem 30 m de diâmetro e gira com velocidade constante de 5 m/s. Calcule:**

a) a força centrípeta que age sobre o corpo de uma criança de massa 40 kg sentada numa das cadeiras dessa roda-gigante. 66,6 N

b) a intensidade da força normal que a cadeira aplica na criança quando ela passa pela posição mais alta e pela mais baixa da roda-gigante. 466,6 N

13 **Um corpo descreve uma trajetória circular com raio de 10 m. Uma força tangencial é então aplicada a ele, e sua velocidade linear passa a variar segundo a função $v = 1 + t$. Considerando que transcorreram 5 s desde que o corpo passou a receber a ação dessa força, calcule para esse instante:**

a) a aceleração tangencial do corpo; 1,2 m/s²

b) a aceleração centrípeta do corpo. 3,6 m/s²

ENERGIA E TRABALHO

PARA COMEÇAR

1. O que significa para você as palavras "energia" e "trabalho"?
2. Pela ciência, máquinas são dispositivos que modificam energia. Você acha que o Sol e o corpo humano podem ser considerados máquinas? Por quê?

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes não apresentem definições, mas citem exemplos do cotidiano, como energia elétrica, energia térmica e energia química. Sobre o termo "trabalho", espera-se que comentem que é fazer alguma atividade.

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que sim. No caso do Sol, há transformação de energia térmica da fusão em energia luminosa; no corpo humano, a energia conseguida pelo metabolismo dos alimentos se converte em movimento do corpo.

USOS COMUNS DE ENERGIA E TRABALHO

No cotidiano, as pessoas utilizam as palavras "energia" e "trabalho" em expressões como estas: "Esse menino não para quieto. Ele é cheio de energia"; "A televisão desligou! Deve ter acabado a energia"; "Terminei o trabalho que o professor pediu para hoje."; "Carregar as compras do mercado até em casa me deu um trabalho!".

Apesar de admitirem as mais diversas interpretações no uso cotidiano, os termos "energia" e "trabalho" assumem sentidos bastante específicos no contexto científico e, por isso, essas duas grandezas devem ser usadas de maneira criteriosa no estudo dos fenômenos naturais.

Neste capítulo, você vai estudar como as grandezas energia e trabalho se aplicam ao estudo do movimento dos corpos e como esses conceitos ajudam a compreender as interações e tranformações em diferentes sistemas.

Usina de energia elétrica instalada próximo a Sevilha, Espanha. Foto de 2019. Esse tipo de usina converte a energia do Sol em energia elétrica utilizando espelhos que direcionam os raios solares para uma torre central com água. Essa usina produz cerca de 11 megawatts de potência elétrica e pode abastecer diariamente cerca de 6 mil residências.

Adriano Kirihara/Pulsar Imagens

Não escreva no livro.

A GRANDEZA ENERGIA

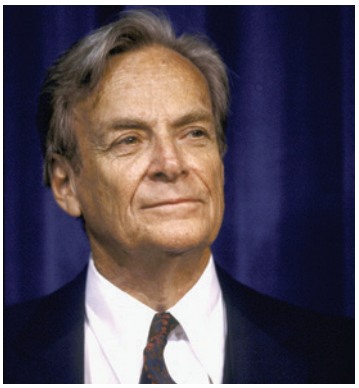
Nos modelos elaborados para estudar fenômenos naturais, os cientistas perceberam que há uma grandeza física que permanece constante: a **energia**.

Dessa característica decorre a lei da conservação da energia:

> A energia total do Universo é constante, não podendo ser criada nem destruída, mas constantemente transformada em diversas modalidades.

Leia o texto a seguir, do físico estadunidense Richard Feynman (1918-1988), ganhador do Prêmio Nobel de Física de 1965.

> [...] A única coisa de que temos certeza e que a Natureza nos permite observar é uma realidade, ou se prefere, uma lei chamada Conservação da Energia. Esta lei diz que existe "algo", uma quantidade que chamamos energia, que se modifica em forma, mas que a cada momento que a medimos ela sempre apresenta o mesmo resultado numérico. É incrível que algo assim aconteça. [...]
>
> [...] a energia se apresenta de diferentes formas, que podem ser mecânica, calorífica, química, nuclear, mássica,... Apresentando-se sempre de formas variadas, com várias roupagens, mas sempre – e até hoje não encontramos exceção – sempre [...] [se conserva].
>
> O QUE é energia? *Ciências*. Disponível em: http://www.conteduc.dcc.ufba.br/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=555. Acesso em: 10 jul. 2024. Adaptado.



Cynthia Johnson/Getty Images

Entre outras contribuições para a ciência, o físico Richard Feynman se destacou pela formulação da eletrodinâmica quântica, por seus estudos em Física de partículas e pela introdução do conceito de nanotecnologia. Foto de 1986.

De acordo com Feynman, o conceito de energia é abstrato, uma definição criada para modelar vários fenômenos naturais. A dificuldade de compreender esse conceito faz com que ele seja entendido e utilizado das mais diversas maneiras pelo senso comum. Em Física, a energia de um corpo (ou de um sistema de corpos) pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou provocar transformações. Essa capacidade pode se manifestar de diferentes formas, como a energia cinética (relacionada ao movimento), as energias potenciais (associadas à posição), a energia térmica, entre outras.

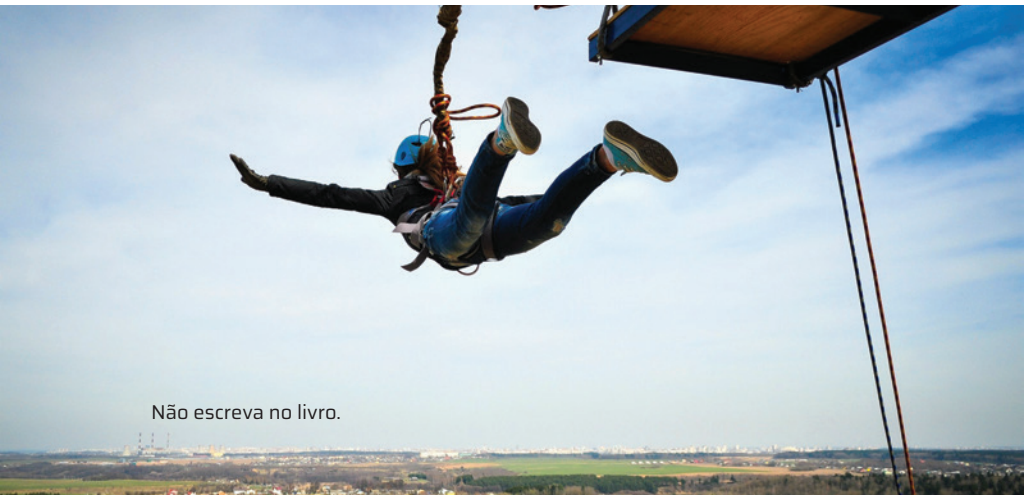
Por exemplo, ao se considerar uma bola de boliche em movimento, conclui-se que essa bola é dotada de energia, pois basta que ela interaja com outro corpo para que um novo movimento possa ser produzido. A energia associada a corpos em movimento é chamada de **energia cinética**.

Durante um salto de *bungee-jump*, a pessoa possui **energia potencial gravitacional** devido à sua altura em relação ao solo. À medida que ocorre a queda e o elástico se estica, essa energia gravitacional é gradualmente convertida em energia cinética e em **energia potencial elástica**, que fica armazenada no elástico e pode ser liberada no ponto mais baixo para gerar mais movimento.

A soma das energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica que um corpo pode admitir é conhecida como **energia mecânica**. Esses e outros tipos de energia serão vistos em mais detalhes adiante.

Nikkytok/Shutterstock.com/ID/BR

Uma bola de boliche em movimento é dotada de energia, pois, ao interagir com os pinos, produz movimento.



Stas Vulkanov/Shutterstock.com/ID/BR

Quando uma pessoa está em queda ao saltar de *bungee-jump*, diversos tipos de energia se associam, como energia potencial gravitacional, energia cinética e energia potencial elástica.

Não escreva no livro.

1. e **2.** Respostas variáveis. Sugerimos explorar o tema desse boxe em parceria com o(a) professor(a) de Geografia, solicitando-lhe que o aborde também em sua aula, ou marcando um momento para a discussão conjunta das questões propostas aos estudantes. Pode ser um momento oportuno para explorar a relação entre custo e benefício de ações mais sustentáveis.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Demanda mundial por petróleo, gás e carvão atingirá seu pico em 2030, diz IEA

[...] A demanda mundial por combustíveis fósseis deverá atingir seu pico em 2030, à medida que mais carros elétricos entrem em circulação e a economia da China cresça mais lentamente e mude para uma energia mais limpa, afirmou a Agência Internacional de Energia [IEA].

[...]

O relatório da IEA [...] contrasta com a opinião da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep), que considera que a demanda por petróleo aumentará muito depois de 2030 [...].

[...]

"A transição para a energia limpa está acontecendo em todo o mundo e é imparável" [...], disse o diretor executivo da IEA, Fatih Birol.

LAWLER, A. Demanda mundial por petróleo, gás e carvão atingirá seu pico em 2030, diz IEA. *UOL Notícias*, [*S. l.*], 24 out. 2023. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/reuters/2023/10/24/demanda-mundial-por-petroleo-gas-e-carvao-atingira-seu-pico-em-2030-diz-iea.htm. Acesso em: 10 jul. 2024.

1. **Pesquise qual é a relação entre a economia da China e o crescimento da energia limpa.**
2. **Qual é a importância de diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis? Justifique.**

ROTEIRO

1. **Pesquise como o corpo humano transforma a energia dos alimentos e quais tipos de energia podem estar envolvidos nesse processo.**

O corpo converte a energia dos alimentos pelo processo de metabolismo, liberando energia química que pode ser transformada em movimento ou em energia térmica.

TIPOS DE ENERGIA

Além da energia mecânica, a energia de um corpo ou de um sistema de corpos pode se apresentar de outras formas, como:

- **Energia química:** relacionada às ligações entre átomos e moléculas, como a energia contida em alimentos e combustíveis.
- **Energia térmica:** decorrente do movimento microscópico de vibração das partículas que compõem um corpo. É mais abundante em corpos aquecidos, como nosso organismo, uma panela quente ou um chuveiro elétrico ligado.
- **Energia elétrica:** associada ao movimento de cargas elétricas. É responsável pelo funcionamento de lâmpadas, computadores e geladeiras, entre outros.
- **Energia nuclear:** deve-se às interações que ocorrem no núcleo dos átomos. Nos processos de fissão (quebra) nuclear, essa energia é liberada e pode ser utilizada, por exemplo, em uma usina nuclear.
- **Energia sonora:** resulta da vibração das partículas do ar quando ocorre a propagação de uma onda sonora. Pode-se perceber essa vibração ao se tocar um alto-falante em funcionamento.
- **Energia radiante:** associada à propagação de ondas eletromagnéticas, como luz, ondas de rádio e micro-ondas.

Uma característica fundamental da energia é que ela pode a todo momento ser transformada de uma modalidade em outra, mas se mantém constante, como descrito na **lei de conservação de energia**:

A energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada de modalidade ou transferida de um corpo para outro. Em um sistema fechado (que troca apenas energia, não matéria) ou isolado (que não troca nem matéria nem energia com o ambiente), a energia total permanece constante. A soma das energias, antes e depois de um fenômeno, é sempre a mesma.

Os dispositivos que transformam um tipo de energia em outro são denominados **máquinas**. A tabela a seguir apresenta alguns tipos de máquina e as principais transformações de energia que realizam.

A máquina...	transforma energia...	em energia...
automóvel	química	mecânica
lâmpada	elétrica	radiante (luminosa) e térmica
elevador	elétrica	potencial gravitacional
arco e flecha	potencial elástica	cinética
usina nuclear	nuclear	elétrica
usina hidrelétrica	potencial gravitacional	elétrica
usina termelétrica	térmica	elétrica
alto-falante	elétrica	sonora
corpo humano	química	térmica, sonora, mecânica, etc.
televisão	elétrica	sonora, radiante (luminosa)
bateria	química	elétrica

Durante o funcionamento de uma máquina, a energia total se mantém constante. Por exemplo, a energia elétrica fornecida para uma lâmpada em certo intervalo de tempo é a soma das energias radiante e térmica.

Não escreva no livro.

TRABALHO DE UMA FORÇA CONSTANTE

Para que um corpo adquira ou transfira energia, é necessário que ele esteja submetido à ação de uma ou várias forças. Para medir de que maneira essas forças contribuem para o aumento ou para a diminuição da energia dos corpos, foi definida uma grandeza escalar conhecida como **trabalho de uma força (τ_F)**.

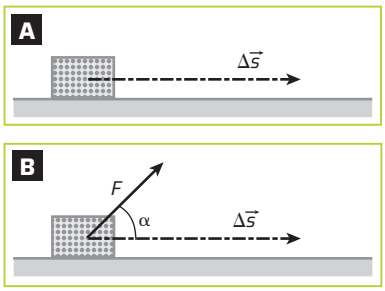
Inicialmente, pode-se entender o trabalho de uma força como uma grandeza que mede o efeito da força no corpo ao longo de um deslocamento. Ou seja, o trabalho mede se tal força contribui para acelerar o corpo (ganhar energia) ou para retardar o corpo (perder energia), caso ela atue sozinha. Por exemplo, considere um corpo apoiado em um plano horizontal sem atrito e que sofre um deslocamento ($\Delta\vec{s}$) horizontal para a direita. Durante esse deslocamento, um agente externo aplica uma força constante *F* que forma um ângulo α com o deslocamento (veja a imagem ao lado).

Leandro Ferreira/Fotoarena

Ao puxar o carrinho rua acima, as meninas se cansam, pois transferem energia ao brinquedo. A energia transferida é calculada pelo trabalho da força que é aplicada no carrinho.

Verifica-se que o trabalho da força *F* depende de três fatores: o deslocamento sofrido pelo corpo ($\Delta\vec{s}$), a intensidade da força *F* e o ângulo (α) que ela forma com o deslocamento. Levando em conta esses três fatores, o **trabalho de uma força constante** pode ser calculado por:

$$\tau_F = F \cdot \Delta s \cdot \cos\alpha$$



ID/BR

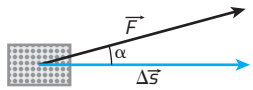
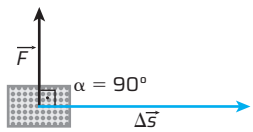
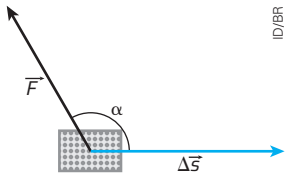
ID/BR

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de trabalho é dada pela expressão $[\tau] = [F] \cdot [\Delta s] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$ (joule).

Analisando a expressão do cálculo do trabalho, pode-se concluir que:

1. Quanto maior a intensidade da força e do deslocamento, maior será o módulo do trabalho realizado e, consequentemente, maior a quantidade de energia transferida para o corpo por quem aplica a força.
2. Como a intensidade da força e o deslocamento são valores positivos, o sinal do trabalho de uma força depende do sinal de cos α. Sendo assim, tem-se para o ângulo α:
   - **$0° \leqslant \alpha < 90°$:** o valor de cos α é positivo e o trabalho realizado pela força é positivo. Esse trabalho é denominado **trabalho motor** e indica que o corpo recebe energia do agente que aplica a força *F*.
   - **$\alpha = 90°$:** o valor de cos α é zero e não há realização de trabalho. Nesse caso, o trabalho realizado pela força é denominado **trabalho nulo** e indica que o agente da força não fornece energia ao corpo e também não retira energia dele.
   - **$90° < \alpha \leqslant 180°$:** o valor de cos α é negativo e o trabalho realizado pela força é negativo. Nesse caso, o trabalho é denominado **trabalho resistente** e indica que a energia do corpo em movimento diminui. Essa energia é dissipada no ambiente ou transferida para o agente que aplicou a força.

A tabela a seguir mostra como o ângulo α influencia a determinação do trabalho realizado por uma força *F* e o comportamento da energia do corpo (caso a força *F* atue sozinha ou seja a força resultante).

Ângulo α	Configuração	Cosseno	Trabalho	Tipo de trabalho	Energia do corpo
$0° \leqslant \alpha < 90°$	 ID/BR	positivo	positivo	trabalho motor	aumenta
$\alpha = 90°$	 ID/BR	zero	zero	trabalho nulo	constante
$90° < \alpha \leqslant 180°$	 ID/BR	negativo	negativo	trabalho resistente	diminui

ATIVIDADE RESOLVIDA

Uma pessoa puxa um carrinho de feira de 5 kg de massa, aplicando uma força de 15 N que forma ângulo de 45° com a horizontal. Em um deslocamento de 50 m, o carrinho sofre a ação de uma força de atrito de intensidade 3 N, contrária ao movimento. Dados: cos 45° = 0,71; g = 10 m/s².

Anelo/Shutterstock.com/ID/BR

Calcule o trabalho:

a) realizado pela força que a pessoa aplica no carrinho;

b) realizado pela força normal;

c) realizado pela força de atrito;

d) da força resultante que atua sobre o carrinho.

Resolução

Como as forças têm intensidades constantes, o trabalho pode ser calculado pela expressão:

$$\tau_F = F \cdot \Delta s \cdot \cos\alpha$$

a) O trabalho realizado pela força que a pessoa aplica é dado por:

$\tau_F = 15 \cdot 50 \cdot \cos 45° \Rightarrow \tau_F = 750 \cdot 0{,}71 \Rightarrow \tau_F = 532{,}5$ J

b) O trabalho realizado pela força normal é nulo, porque a força normal forma um ângulo de 90° ($\alpha = 90°$) com o deslocamento do carrinho.

c) A força de atrito está na mesma direção do movimento, mas com sentido oposto ao movimento. Portanto, $\alpha = 180°$, e o trabalho é dado por:

$\tau_{F_{at}} = 3 \cdot 50 \cdot \cos 180° \Rightarrow \tau_{F_{at}} = 150 \cdot (-1) \Rightarrow \tau_{F_{at}} = -150$ J

d) Podemos calcular a componente tangente ao movimento da força resultante (F_t) e depois calcular o trabalho:

$F_t = F \cdot \cos\alpha - F_{at} \Rightarrow F_t = 15 \cdot \cos 45° - 3 \Rightarrow F_t = 7{,}65$ N

Assim, o trabalho é dado por:

$\tau_F = F_t \cdot \Delta s \Rightarrow \tau_F = 7{,}65 \cdot 50 \Rightarrow \tau_F = 382{,}5$ J

Outra possibilidade é calcular o trabalho resultante pela soma dos trabalhos de todas as forças que foram calculadas anteriormente:

$\tau_R = \tau_F + \tau_{F_{at}} \Rightarrow \tau_R = 532{,}5 - 150 = 382{,}5$ J

TRABALHO DE UMA FORÇA VARIÁVEL

Em muitas situações, as forças aplicadas nos corpos variam de intensidade ao longo do deslocamento, por exemplo: a força aplicada por uma flecha disparada por um arco; a força de uma pessoa que vai se cansando ao empurrar alguém em um carrinho de rolimã; ou até mesmo a força aplicada nas pessoas pelo piso de um elevador. Nesses casos, é preciso saber como calcular o trabalho dessas forças variáveis.

2. Quando a pessoa estava caminhando, ocorreu deslocamento, portanto, a pessoa realizou trabalho. Porém, quando a pessoa está parada, mesmo segurando as sacolas, o deslocamento é nulo, então, o trabalho realizado também é nulo. Pela definição, o trabalho é proporcional ao deslocamento realizado.

ROTEIRO

2. Suponha que uma pessoa saia do supermercado com várias sacolas na mão, caminhe por duas quadras até o ponto de ônibus e, então, permaneça em pé, parada, aguardando o ônibus e segurando as sacolas. Essa pessoa realizou trabalho quando estava caminhando? E parada no ponto de ônibus? Justifique suas respostas usando a definição de trabalho.

Dean Alberga/Handout/World Archery Federation/Getty Images

Em um arco e flecha, a força aplicada na flecha varia de módulo devido à restituição gradual do formato da corda presa ao arco durante o lançamento da flecha. Na foto de 2023, o atleta brasileiro Marcus Vinicius D'Almeida em competição de tiro com arco em Xangai, China.

Não escreva no livro.

Como vimos, para o cálculo do trabalho de uma força constante, pode-se utilizar a expressão:

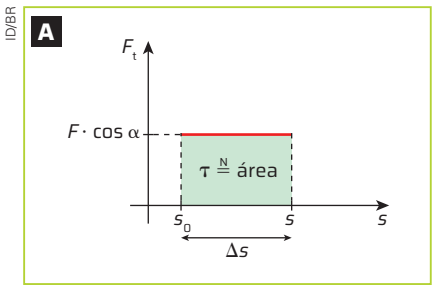
$$\tau_F = F \cdot \Delta s \cdot \cos\alpha = F \cdot \cos\alpha \cdot \Delta s$$

O termo $F \cdot \cos\alpha$ da expressão anterior é a **componente tangencial** da força F (F_t) e ela é, de fato, a responsável pelo trabalho da força F. Dessa maneira, o trabalho da força F pode ser calculado pelo trabalho de sua componente tangencial:

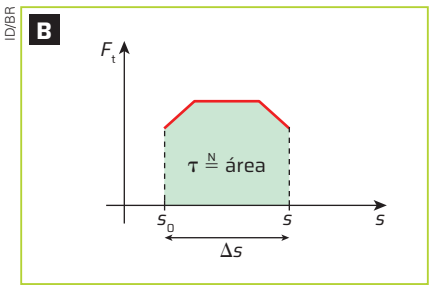
$$\tau_F = F \cdot \cos\alpha \cdot \Delta s \Rightarrow \tau_F = F_t \cdot \Delta s$$

Como a força apresenta intensidade constante, ao se representar em um gráfico a componente tangencial de uma força em função da posição, tem-se um gráfico de uma função constante (gráfico **A**). Pode-se observar que, de acordo com a equação $\tau_F = F_t \cdot \Delta s$, o trabalho τ_F é numericamente igual à área entre a linha do gráfico e o eixo da posição.

Essa propriedade pode ser generalizada e, consequentemente, a área entre a linha do gráfico e o eixo de posição corresponde ao trabalho de qualquer força, seja ela constante, seja ela variável (gráfico **B**).

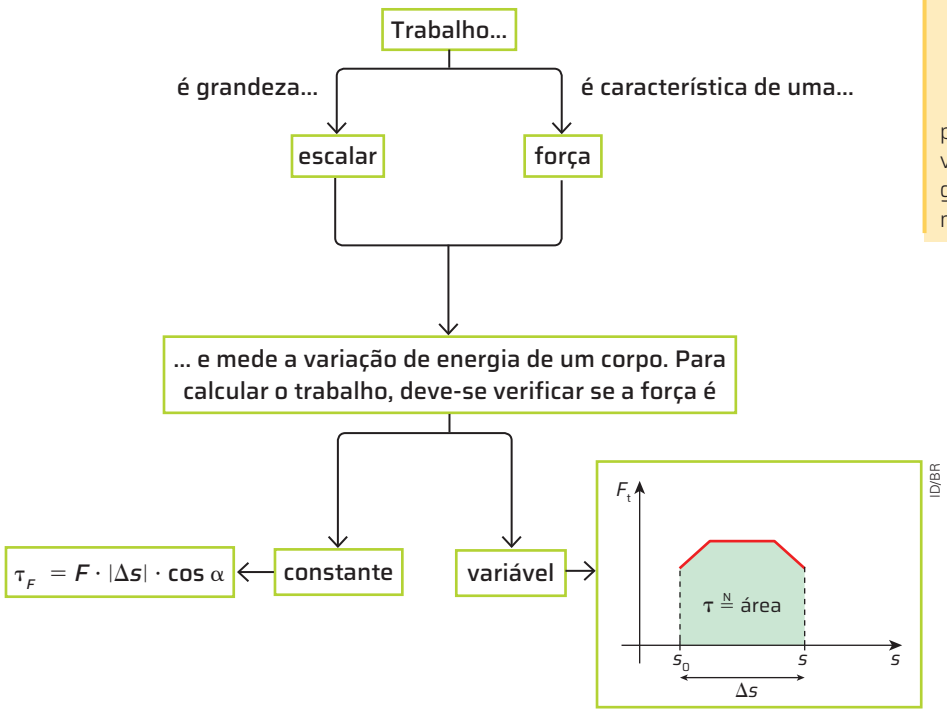


Trabalho de uma força constante.



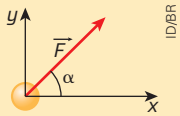
Trabalho de uma força variável.

Portanto, para calcular o trabalho de uma força, deve-se saber previamente o comportamento de seu módulo. Caso a força tenha módulo constante, calcula-se seu trabalho com base na definição do trabalho de força constante. Caso contrário, deve-se calcular a área entre a linha do gráfico e o eixo da posição. Observe a seguir o esquema do trabalho de uma força.



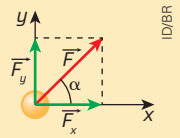
DE OLHO NO CONCEITO

Decomposição de vetores



Uma força de módulo F que forma um ângulo α com uma dada direção pode ser decomposta.

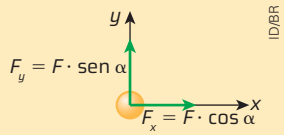
A decomposição permite substituir a força $\vec{F}$ por suas componentes $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$, perpendiculares entre si e que, simultaneamente, produzem o mesmo efeito dinâmico que a força original.



Com base na figura acima:

- $\text{sen}\,\alpha = \frac{F_y}{F} \Rightarrow F_y = F \cdot \text{sen}\,\alpha$
- $\cos\alpha = \frac{F_x}{F} \Rightarrow F_x = F \cdot \cos\alpha$

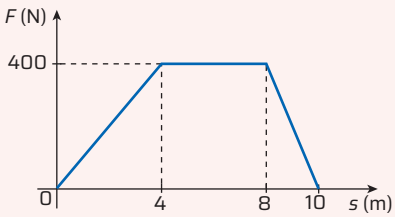
Assim, do ponto de vista dinâmico, uma situação equivalente para a força $\vec{F}$ aplicada ao corpo seria:



Observe que $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$ também podem ser chamadas, respectivamente, de componente tangencial e componente normal ao movimento no eixo x.

ATIVIDADE RESOLVIDA

A força aplicada pelo cabo de um elevador varia de acordo com o gráfico ao lado. Sabendo que o elevador tem 200 kg de massa, determine o trabalho realizado pela força de tração aplicada pelo cabo no elevador.



Setup Bureau/ID/BR

Resolução

O trabalho realizado pela força de tração corresponde numericamente à área do trapézio delimitado pela linha do gráfico e o eixo dos espaços:

$$\tau_F = \frac{(B + b) \cdot h}{2} = \frac{(10 + 4) \cdot 400}{2} = 2\,800 \therefore \tau_F = 2\,800 \text{ J}$$

ROTEIRO

3. A energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade. Assim, se, em uma situação, a velocidade for duplicada, em quanto aumentará a energia cinética?

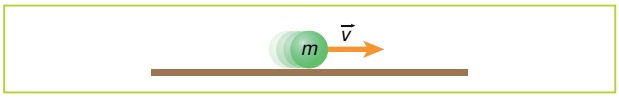
Quando a velocidade duplicar, a energia cinética será o quádruplo da energia cinética inicial.

ENERGIA CINÉTICA

Como vimos no início do capítulo, a energia é a capacidade de realizar trabalho ou provocar transformações e, para cada situação, associa-se ao corpo um tipo de energia. Vimos também que a energia que os corpos possuem por estar em movimento é chamada de **energia cinética**.

A figura a seguir ilustra um corpo de massa *m* que se move com velocidade *v*.

ID/BR



Corpo de massa *m* se deslocando sobre uma superfície horizontal com velocidade *v*.

Para determinar o valor da energia cinética, é possível utilizar a seguinte expressão:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Energia das marés

Um dos princípios de funcionamento das usinas hidrelétricas é a energia cinética que as massas de água apresentam ao chegar à parte inferior da usina, assim como ocorre em uma cachoeira. Um modo de obter mais energia cinética em uma hidrelétrica é represar as águas que movimentarão as turbinas, mas isso gera impactos ambientais negativos. Atualmente, estão sendo buscadas fontes alternativas para a geração de energia elétrica que não causem danos ao meio ambiente. As usinas de energia maremotriz, por exemplo, convertem a energia cinética do movimento das ondas do mar em energia elétrica.

Francois Boizot/Shutterstock.com/ID/BR

Na foto, a usina de La Rance, na França, primeira usina de energia maremotriz construída no mundo. Foto de 2018.

Não escreva no livro.

ENERGIA POTENCIAL E FORÇAS CONSERVATIVAS

Uma pedra em repouso em cima de um galho de uma árvore não apresenta velocidade e, consequentemente, sua energia cinética é nula. Mas, se o galho quebrar e a pedra cair, haverá produção de movimento. A energia associada a essa produção de movimento é um tipo de energia armazenada ou com potencial de se manifestar, conhecida como **energia potencial gravitacional**.

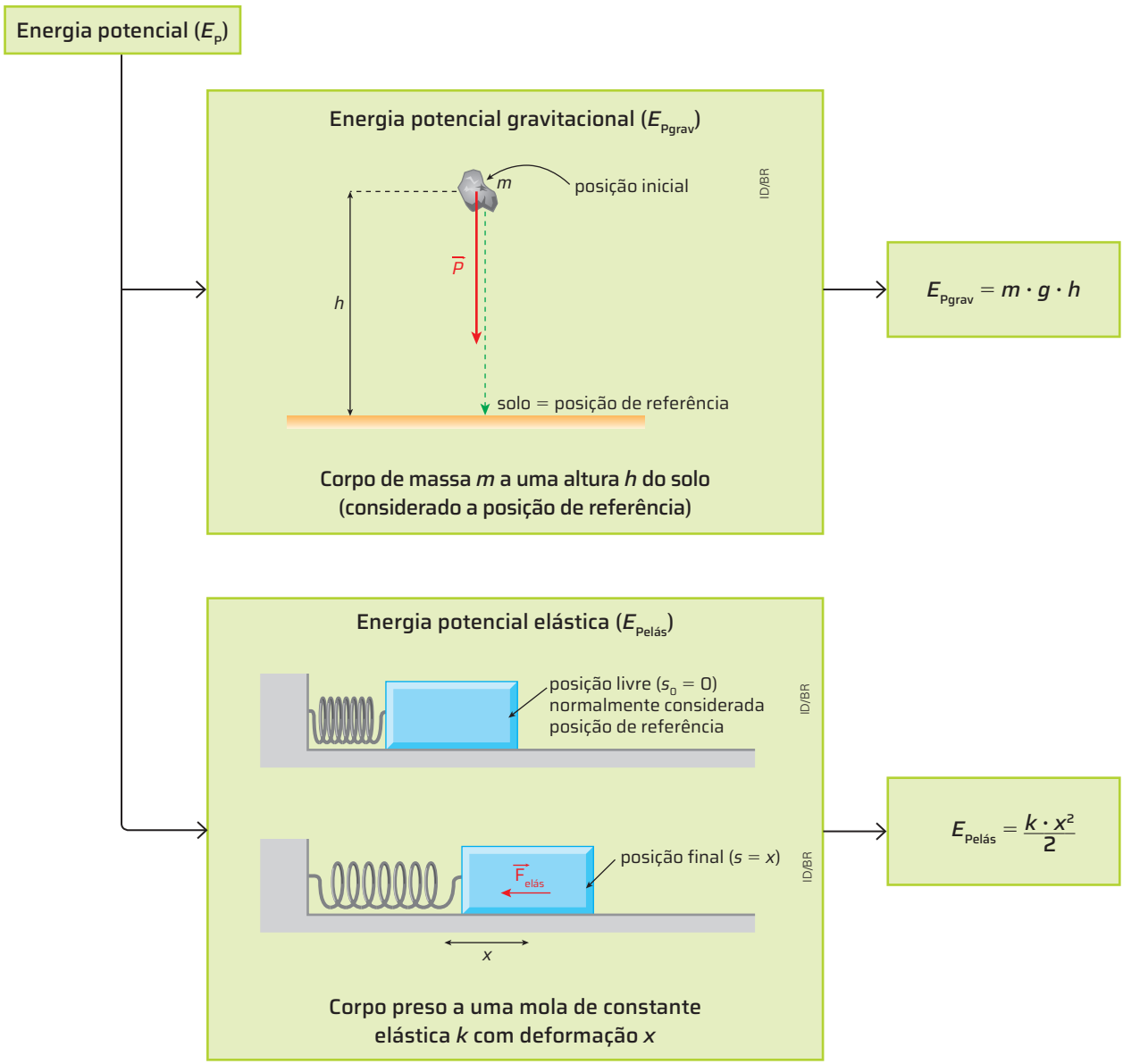
Para compor o amortecedor de uma peça, temos uma mola presa a uma parede e a um bloco. Quando esse bloco é puxado, a mola sofre uma deformação e acumula energia; assim, se o bloco for solto, a mola pode produzir movimento para voltar à posição sem deformação (livre). Esse também é um tipo de energia armazenada, conhecida como **energia potencial elástica**.

Nas duas situações mencionadas, a energia dos corpos deve-se à ação da força peso e da força elástica. Essas duas forças são **forças conservativas**, ou seja, quando corpos se deslocam sob a ação exclusiva dessas forças, a energia fornecida a esses corpos se conserva. Portanto, para cada tipo de energia potencial, temos uma força conservativa associada. As expressões que permitem a determinação dessas energias potenciais são mostradas no esquema a seguir.

ROTEIRO

4. A tirolesa é uma atividade recreativa ou esportiva na qual as pessoas sobem a determinada altura e deslizam no ar presas a um cabo esticado e fixado em uma altura menor na extremidade final do percurso. Por que a tirolesa precisa de um cabo esticado entre dois pontos com alturas diferentes?

O cabo funciona como trilho. A diferença de alturas dos pontos de fixação implica uma diferença de energia potencial.



Tipos de energia potencial e suas expressões.

ENERGIA MECÂNICA

Um corpo pode apresentar, ao mesmo tempo, as energias cinética e potencial. Durante um salto em uma apresentação, um ginasta possui, ao mesmo tempo, energia cinética e energia potencial gravitacional. Um automóvel descendo uma ladeira também apresenta esses dois tipos de energia simultaneamente.

Como vimos, a soma da energia cinética (E_c) com a energia potencial (E_p) é a **energia mecânica** (E_{mec}), que é definida pela expressão:

$$E_{mec} = E_c + E_p$$

Quando não há atuação de forças não conservativas, a energia mecânica do sistema não se altera, e este é denominado **sistema conservativo**.

Leco Viana/Thenews2/Folhapress

Visão panorâmica do atleta Sandro Dias "Mineirinho" em *half pipe* de *skate* durante o Festival João Rock 2024, em Ribeirão Preto (SP).

Conservação da energia mecânica

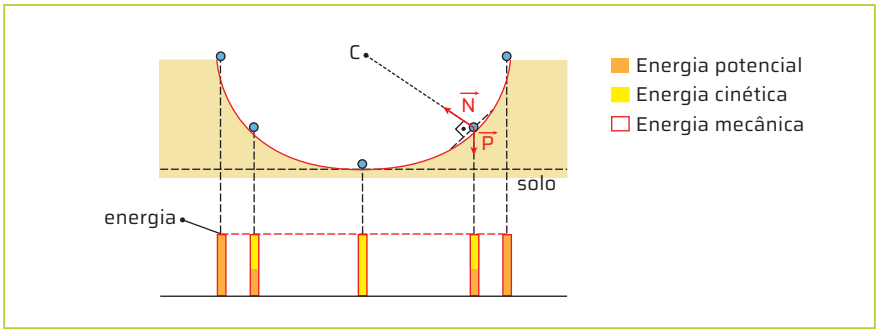
Em um sistema conservativo, em qualquer instante do movimento, a soma da energia cinética com a energia potencial permanece inalterada, mesmo que essas modalidades de energia se transformem de um tipo em outro.

Como exemplo dessa propriedade, imagine um esqueitista em uma pista própria para a prática desse esporte, conhecida como *half pipe*. Além disso, considere que o esqueitista está inicialmente em repouso no topo da pista.

Desprezando os atritos e a resistência do ar, durante o movimento, o corpo (esportista + *skate*) está sob a ação da força peso (conservativa) e da força normal (não conservativa). Nesse caso, a força normal não altera a energia mecânica do sistema e, portanto, o sistema é considerado conservativo. Consequentemente:

$$E^f_{mec} = E^i_{mec} \Rightarrow E^f_c + E^f_p = E^i_c + E^i_p$$

Podem-se representar as quantidades de energia cinética, energia potencial e energia mecânica em algumas posições conforme mostra a figura a seguir.



ID/BR

Variação das energias potencial e cinética em um sistema conservativo.

Observando essa figura e considerando que o esqueitista tenha partido do repouso no topo da pista, pode-se concluir que:

1. Durante a descida, a altura e a energia potencial do corpo diminuem; a velocidade e a energia cinética do corpo aumentam. Como a energia mecânica (soma das energias cinética e potencial) é constante, a diminuição da energia potencial implica o aumento da energia cinética.
2. No ponto mais baixo da trajetória, a altura e a energia potencial do corpo são nulas e a velocidade e a energia cinética do corpo são máximas. Portanto, toda a energia potencial inicial do corpo foi convertida em energia cinética.
3. Durante a subida, a altura e a energia potencial aumentam e a velocidade e a energia cinética diminuem. Como a energia mecânica é constante (soma das energias cinética e potencial), a diminuição da energia cinética implica o aumento da energia potencial.

PARA EXPLORAR

Acesse

Energia na pista de *skate*: básico

Nesse simulador do projeto PhET Simulações Interativas, da Universidade do Colorado em Boulder, é possível criar uma pista de *skate* e variar a intensidade de algumas grandezas físicas para analisar como a energia do sistema vai se comportar na situação que você propôs.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/energy-skate-park-basics. Acesso em: 11 jul. 2024.

Não escreva no livro.

SISTEMAS NÃO CONSERVATIVOS E FORÇAS DISSIPATIVAS

Um sistema é chamado **não conservativo** quando forças não conservativas alteram a energia mecânica dele.

As forças não conservativas podem **aumentar** a energia mecânica do sistema, como ocorre no motor elétrico de um elevador, que aplica ao sistema forças não conservativas de modo a aumentar sua energia mecânica; ou no motor de um automóvel, que transfere energia mecânica ao sistema pela aplicação de forças não conservativas, ocasionando o aumento da velocidade.

As forças não conservativas podem também **diminuir** a energia mecânica de um sistema, como as forças de atrito em um freio de automóvel. Nesse caso, a variação da energia mecânica é denominada **energia dissipada**, e, por esse motivo, as forças de atrito são conhecidas como forças dissipativas, ou seja, "dissipam" a energia mecânica do corpo.

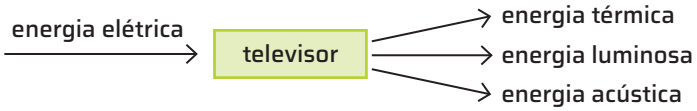
Alfio Finocchiaro/Alamy/Fotoarena

No freio a disco de um carro, são aplicadas forças de atrito. O trabalho realizado por essas forças é resistente e, dessa maneira, diminui a energia mecânica do automóvel. A energia dissipada é, então, convertida em energia térmica, que aquece o freio.

Conservação da energia total

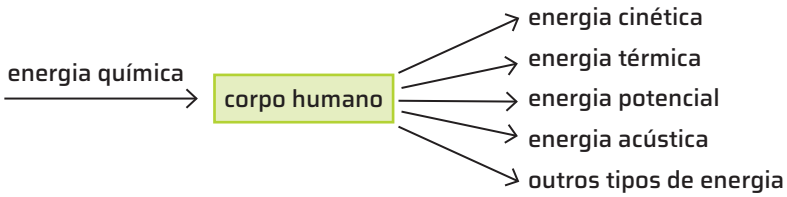
A conservação da energia mecânica é uma situação particular que ocorre apenas em sistemas conservativos. Em todos os fenômenos naturais, por sua vez, observa-se que a energia total de um sistema sempre se conserva; ou seja, ao se somarem todas as modalidades de energia de um sistema de corpos, antes e depois de determinado fenômeno, a energia total permanece constante. Essa lei é conhecida como **lei da conservação da energia**.

Considere, por exemplo, o funcionamento de um aparelho de televisão, eletrodoméstico presente na maioria dos lares brasileiros. Para que o televisor funcione, é preciso conectá-lo a uma tomada, pela qual ocorre o fornecimento da energia elétrica. O aparelho converterá essa energia elétrica em diversas outras modalidades de energia, como energia térmica (nos fios e transformadores), energia luminosa (da tela na qual vemos as imagens) e energia acústica (nos alto-falantes). De acordo com o princípio da conservação da energia, a energia elétrica total fornecida ao aparelho de televisão é igual à soma das energias térmica, luminosa e acústica.



energia elétrica = energia térmica + energia luminosa + energia acústica

O corpo humano também é um sistema em que se verifica a conservação da energia. Nesse caso, a principal fonte de energia encontra-se na energia química contida nos alimentos ingeridos. O metabolismo e as diversas ações que o corpo realiza fazem essa energia química ser transformada em várias outras, como: energia cinética (quando o corpo se movimenta), energia térmica (para a manutenção da temperatura corpórea), energia potencial (ao subir uma ladeira ou ao se deformar um elástico) e energia acústica (durante o processo da fala). De acordo com a lei da conservação da energia, tem-se:



energia química = energia cinética + energia térmica + energia potencial + + energia acústica + outros tipos de energia

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Uma pessoa adulta consome diariamente uma quantidade média de energia de 2 500 kcal. Sabendo que 1 cal corresponde a cerca de 4 J, responda:**
  a) Que quantidade média de energia, em joule, um adulto consome por dia?
  b) A quantidade de energia total processada pelo organismo após sofrer diversas transformações é igual, superior ou inferior à quantidade de energia total que a pessoa adquire pela alimentação?
  c) A quantidade de energia diária consumida por um atleta deve ser maior ou menor que a consumida por um não atleta? Justifique.

  Resolução

  a) Se 1 cal corresponde a aproximadamente 4 J, para determinar a quantidade de energia *E* correspondente a 2 500 kcal, em joule, podemos fazer uma regra de três:

  $$1 \text{ cal} \text{ ——— } 4 \text{ J}$$
  $$2\,500\,000 \text{ cal} \text{ ——— } E \text{ J}$$

  Então: $E \cong 4 \cdot 2\,500\,000 \Rightarrow E \cong 10\,000\,000$ J.

  Portanto, a quantidade média de energia que um adulto consome em um dia é cerca de 10 000 000 J ou 10 000 kJ.

  b) De acordo com a lei da conservação da energia, a energia total é a mesma, antes e depois de todas as transformações ocorridas no organismo.

  c) Pelo fato de fazer exercícios físicos intensos, um atleta gasta maior quantidade de energia diária que um não atleta. Assim, é necessário que atletas sigam uma dieta alimentar que supra essa demanda maior de energia.

- **O motor de um automóvel converte energia química (proveniente dos combustíveis) em outras modalidades de energia, como mecânica, térmica e sonora. De cada 100 J de energia química, cerca de 20 J são convertidos efetivamente em energia mecânica. Considerando que as possíveis transformações de energia sejam apenas as citadas, responda:**
  a) Qual é a modalidade de energia mais importante para um automóvel, considerando sua principal função?
  b) Quais tipos de energia mecânica um automóvel pode apresentar? Dê exemplos.
  c) Em um automóvel, que quantidade aproximada de energia química é convertida em energia térmica e em energia sonora?

  Resolução

  a) A principal função de um automóvel é possibilitar o deslocamento de pessoas e/ou objetos em diferentes trajetórias. Por isso, a modalidade de energia mais importante para um veículo é a energia mecânica do tipo cinética.

  b) Um automóvel pode apresentar energia mecânica de dois tipos: cinética e potencial gravitacional. Por exemplo, durante um movimento retilíneo, tem energia cinética; em uma subida, apresenta energia potencial gravitacional.

  c) De acordo com a lei da conservação da energia, a energia total, antes e depois de quaisquer fenômenos, permanece constante. Então, se de cada 100 J de energia química cerca de 20 J são convertidos em energia mecânica, aproximadamente 80 J são convertidos em energia térmica e energia sonora.

POTÊNCIA E RENDIMENTO

Em muitos casos, é necessário transformar um tipo de energia em outro que possa ser utilizado para alguma finalidade. Com os avanços tecnológicos ao longo da história, diversas máquinas foram sendo criadas para facilitar a realização de tarefas, como o motor à combustão, que converte a energia química dos combustíveis em energia mecânica e energia térmica; o telefone celular, que converte a energia elétrica da bateria em energia luminosa (na tela), em energia acústica (saídas de áudio) e em energia térmica (no aquecimento de seus componentes); os painéis solares, que convertem a energia luminosa do Sol em energias elétrica e térmica.

As usinas elétricas também são máquinas. Como o Brasil é abundante em recursos hídricos e uma grande porção de seu relevo é favorável à instalação de usinas hidrelétricas, a maior parte de nossa matriz elétrica vem dessas fontes. Nessas usinas, a água represada armazena energia potencial gravitacional. Ao se abrirem as comportas da represa, essa energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética: a água em movimento faz girar as pás das turbinas, que convertem a energia cinética em energia elétrica, que será levada pelos fios das linhas de transmissão até as cidades e demais pontos de uso.

Não escreva no livro.

Potência

1. De acordo com o texto, a produção de etanol gera impactos ambientais como a queima de combustíveis fósseis no processo de cultivo e no transporte da cana, o esgotamento dos recursos naturais, o desmatamento para o cultivo canavieiro em larga escala e o desgaste do solo.

Uma característica fundamental em uma máquina é a rapidez com que a energia é transformada. Como vimos, o corpo humano é uma máquina que consegue transformar a energia química dos alimentos em diversos outros tipos de energia. Uma pessoa que não seja atleta talvez se surpreendesse ao ser convidada a participar de uma maratona de 42 quilômetros, mas essa mesma pessoa talvez se surpreendesse também ao saber que já pode ter percorrido essa distância em um intervalo de tempo muito grande: sua vida inteira.

Por esse exemplo simples, percebe-se a importância de conhecer o intervalo de tempo em que uma máquina realiza determinada transformação de energia. Para medir a rapidez com que as máquinas transformam energia, foi definida uma grandeza chamada **potência**. A potência de uma máquina é a relação entre a quantidade de energia transformada (que pode ser calculada por meio do trabalho) e o intervalo de tempo para que ocorra a transformação:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\tau}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de potência é o $\frac{J}{s}$ = W (watt).

Thales Antonio/iStock/Getty Images

Um transformador é uma máquina que transfere energia elétrica. Sua finalidade é alterar a diferença de potencial de entrada para outro valor em sua saída. Durante esse processo, o transformador se aquece, motivo pelo qual os transformadores precisam contar com algum mecanismo de refrigeração.

Com base na definição de potência, podemos verificar que, quanto mais rápido uma máquina transformar energia, maior será sua potência.

Observe as indicações em embalagens de lâmpadas. Existem lâmpadas de várias potências: 5 W, 10 W, 20 W, etc. Uma lâmpada de 5 W de potência consome menos energia – ou seja, transforma menos energia e brilha menos – quando comparada a uma lâmpada de mesmo tipo e de 20 W de potência.

AÇÃO E CIDADANIA

Etanol: uma opção renovável

O Brasil é um dos líderes mundiais na fabricação de etanol. Obtido principalmente da cana-de-açúcar, o etanol brasileiro se destaca como alternativa energética mais limpa e menos agressiva ao meio ambiente que os combustíveis fósseis, pois sua queima produz menos gases poluentes. Além disso, a tecnologia empregada em sua produção é mais barata, sobretudo em comparação à que é utilizada na extração do petróleo.

A produção do etanol, no entanto, não é totalmente livre de impactos ambientais, entre eles a queima de combustíveis fósseis no processo de cultivo e no transporte da cana, o esgotamento dos recursos naturais, o desmatamento para o cultivo canavieiro em larga escala e o desgaste do solo. Outra preocupação com a produção do etanol é sua expansão por áreas de plantio de alimentos. Isso pode ser atenuado, contudo, com o etanol de segunda geração.

Os automóveis *total flex* – veículos que podem ser abastecidos tanto com gasolina como com etanol em qualquer proporção – já representam a maior parte da frota dos veículos leves no Brasil. Apesar dessa facilidade, nem sempre os proprietários desses veículos optam por abastecer com o etanol.

1. **De acordo com o texto, o etanol é uma boa opção de energia renovável, porém a produção da matéria-prima de que é feito esse combustível e sua utilização geram alguns impactos ambientais. Quais são eles?**
2. **Forme dupla com um colega. Façam uma pesquisa sobre o etanol e coletem informações sobre a potência e o rendimento dos motores *flex* funcionando com etanol e funcionando com gasolina, comparando os dados obtidos. Pesquisem também o preço médio por litro do etanol e da gasolina comum em sua cidade. Construam uma tabela comparativa com todos esses dados e analisem o custo-benefício desses combustíveis.**
3. **Como os benefícios fiscais podem impactar o mercado do etanol no Brasil? Justifique, dando exemplos de incentivos que já existem e de outros que poderiam ser criados.**

2. A resposta depende da pesquisa realizada. Espera-se que os estudantes respondam que os motores movidos a etanol, geralmente, têm uma potência um pouco maior que a dos motores à gasolina. Porém, o rendimento do etanol é menor do que o da gasolina, por isso, para compensar financeiramente esse combustível precisa ter um valor cerca de 70% menor do que o da gasolina. Essa informação pode variar dependendo da eficiência do motor movido a etanol ou à gasolina.

3. Resposta variável. Espera-se que os estudantes comentem que os benefícios fiscais tornam o etanol mais barato e econômico para os motoristas. Dentro dos benefícios que podem ser citados, estão a redução do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) e a isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), entre outros. Esse tema é importante para que os estudantes como os impostos influenciam o cotidiano, o que promove a educação fiscal.

Rendimento

Igor do Vale/Folhapress

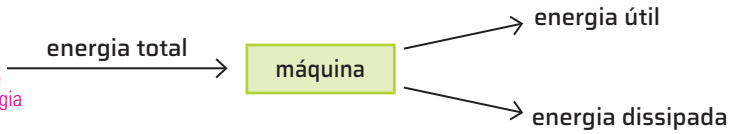
Em algumas granjas, são utilizadas lâmpadas do tipo incandescente para manter a temperatura do ambiente adequada para os animais ali confinados (como as aves), mas já existem outras opções, como lâmpadas de aquecimento por raio infravermelho.

Durante a transformação de energia, as máquinas proporcionam o tipo de energia que será utilizado de acordo com sua finalidade, conhecida como **energia útil**.

Nesse processo, surge, inevitavelmente, outra parcela de energia que não está envolvida com a finalidade da máquina: a **energia dissipada**.

Para estabelecer a energia dissipada de uma máquina, é preciso necessariamente considerar a finalidade do uso dessa máquina. Por exemplo, no funcionamento de uma lâmpada, ocorre a conversão de energia elétrica em energia luminosa e energia térmica. Ao utilizá-la para iluminar um ambiente, a energia térmica é a energia dissipada, e a energia luminosa é a energia útil. Porém, ao se utilizar a mesma lâmpada para aquecer um ambiente (em uma granja, por exemplo), a energia térmica é a energia útil, e a energia luminosa é a energia dissipada.

De acordo com o princípio de conservação da energia total, tem-se:



energia total = energia útil + energia dissipada

5. A função de uma máquina é transformar a energia de uma fonte (energia total) em algum tipo de energia de interesse prático (energia útil). Nesse processo, ocorre sempre perda de energia (energia dissipada). O rendimento da máquina é, então, definido pela razão entre a energia útil e a energia total. Para se obter um rendimento maior que 100%, é necessário que a energia útil seja maior que a energia fornecida pela fonte (energia total). Nesse caso, a máquina, além de transformar energia, teria de produzir energia, tornando a energia útil maior que a energia total, mas isso viola o princípio da conservação da energia. Portanto, desse princípio decorre que o rendimento de qualquer máquina é sempre menor que ou igual a 100%.

Ao se dividir a expressão anterior pelo intervalo de tempo em que ocorreu a transformação, pode-se encontrar uma relação entre potências:

potência total = potência útil + potência dissipada

ROTEIRO

5. É possível existir uma máquina com rendimento superior a 100%? Justifique.

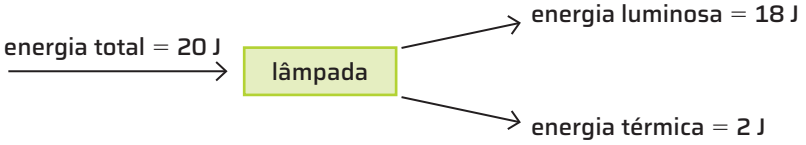
Com o desenvolvimento tecnológico, é possível cada vez mais construir máquinas que otimizem seus funcionamentos, ou seja, que minimizem a parcela de energia dissipada. De fato, quanto maior a parcela de energia útil convertida (e menor a parcela de energia dissipada), mais eficaz é o funcionamento da máquina. Essa relação estabelece uma grandeza conhecida como **rendimento de uma máquina**, expressa por:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

O brasileiro tricampeão mundial de Fórmula 1 Ayrton Senna (1960-1994) durante o treino para o Grande Prêmio de Monza, na Itália. Foto de 1990. Atualmente, o rendimento dos motores dos carros de Fórmula 1 atinge cerca de 45%, enquanto o rendimento dos motores de carros convencionais fica em torno de 20% a 30%.

Jerome Delay/AFP

Considere, por exemplo, uma lâmpada de LED de 20 W, ou seja, que consome 20 J de energia elétrica a cada segundo. O esquema a seguir ilustra as transformações de energia que ocorrem nessa lâmpada, com os valores das energias envolvidas. Considerando um intervalo de tempo de 1 segundo, tem-se:



Dessa maneira, o rendimento da lâmpada é calculado por:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} = \frac{18}{20} = 0{,}9 = 90\%$$

Não escreva no livro.

Construindo uma roda-d'água

Você sabe quais formas de energia estão presentes no funcionamento de uma roda-d'água? Nesta atividade, você e os colegas vão confeccionar uma roda-d'água e analisar as transformações de energia que ocorrem nesse tipo de máquina.

Material

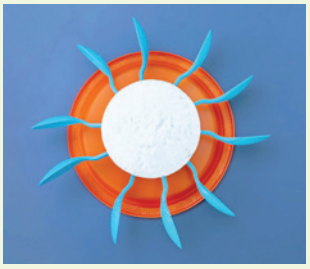
- 10 colheres descartáveis de plástico
- disco de isopor
- 2 pratos descartáveis de plástico
- espeto de madeira
- balde de tamanho médio
- cola
- tesoura
- barbante
- clipe de papel

ATENÇÃO!
Manuseiem com cuidado o espeto de madeira, para evitar acidentes.

Como fazer

1. O disco de isopor será o eixo da roda-d'água. Inicialmente, cortem o disco de modo que seu diâmetro seja menor que o diâmetro do prato de plástico. Com cuidado, prendam as colheres no disco de isopor (se necessário, cortem o cabo das colheres), garantindo que suas concavidades estejam voltadas para a mesma direção e espaçadas de maneira uniforme ao redor do disco, como mostra a imagem a seguir.

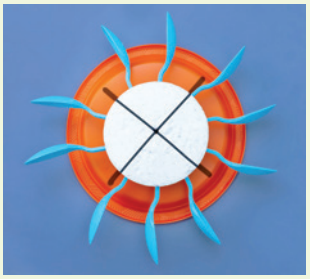
Mar de Palha/ID/BR



Prato de plástico (em laranja), disco de isopor e colheres encaixadas no disco de modo simétrico.

2. Utilizem uma régua e um lápis para localizar o centro dos pratos e do disco de isopor. Em seguida, com o espeto de madeira, façam um orifício nesses centros, garantindo uma pequena folga entre o orifício e o espeto.

Mar de Palha/ID/BR

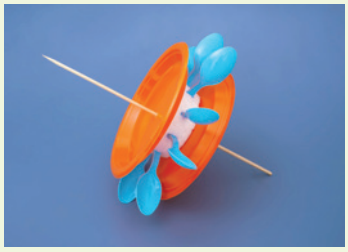


Determinação do centro do conjunto para o posterior posicionamento ideal do eixo da roda-d'água.

1. A água despejada sobre as colheres tem, inicialmente, energia potencial, já que se encontra em um nível acima da roda-d'água. À medida que a água cai, essa energia potencial se converte em energia cinética, até que a água atinge a colher. Nessa colisão, a energia cinética da água é transferida para a roda-d'água, que também adquire energia cinética, pois ela se movimenta (rotação). Essa rotação, por sua vez, enrola o barbante de modo a suspender o clipe, que adquire energias cinética e potencial, pois vai ganhando altura. Além dessas transformações de energia, ocorre dissipação de energia na forma de calor e de som devido ao atrito e à resistência presentes nos movimentos e ao impacto da água que atinge a colher.

3. Colem os pratos nas faces do disco de isopor, garantindo que os orifícios estejam alinhados. Esperem a cola secar e, em seguida, insiram o espeto de madeira (verificando se ele se encaixa com um pouco de folga), como mostrado a seguir.

Mar de Palha/ID/BR



Colagem das peças e inserção do eixo (espeto de madeira).

4. Amarrem e prendam um pedaço de barbante no final do eixo e, em seguida, prendam um clipe de papel na outra extremidade do barbante. Coloquem sua roda em um balde ou em uma pia. Lentamente, despejem água nas colheres e observem a roda girar, identificando o movimento do clipe de papel.

Mar de Palha/ID/BR

Mar de Palha/ID/BR

Roda-d'água finalizada.

3. Resposta variável, dependendo da fonte que os estudantes utilizarão para fazer a pesquisa. De qualquer forma, espera-se que eles respondam que a roda-d'água é um dispositivo muito antigo, cuja criação remonta à Antiguidade, utilizado para movimentar moinhos. Ao longo da história, suas aplicações aumentaram, principalmente durante a Revolução Industrial para fornecer energia ao maquinário fabril, e estenderam-se aos tempos atuais para movimentar barcos, bombas de água e até mesmo turbinas. Essa atividade pode ampliar-se no estudo da aplicação desse dispositivo em regiões mais pobres, para a produção doméstica de energia limpa, renovável e de baixo custo.

Para concluir

1 Identifiquem os tipos e as transformações de energia envolvidos no experimento.

2 Em grupos, pesquisem se há rodas-d'água nas proximidades da escola ou no município em que vocês vivem. Se houver equipamentos desse tipo, busquem descobrir para que são utilizados.

3 Ainda em grupos, pesquisem em livros e em *sites* confiáveis a importância histórica da roda-d'água para as atividades humanas.

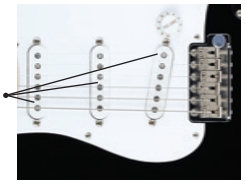
2. Resposta pessoal. Nas áreas urbanas, é mais difícil encontrar esse tipo de máquina. Já nas áreas rurais, é mais comum ver seu emprego para a geração de energia doméstica, visto que se constitui em uma forma economicamente viável, ou mesmo para movimentar moinhos.

Não escreva no livro.

2. b) Liquidificador: converte energia elétrica em energia cinética; bomba de água: converte energia elétrica em energia potencial gravitacional; chuveiro elétrico: converte energia elétrica em energia térmica; aparelho de som: converte energia elétrica em energia sonora; lâmpada elétrica: transforma energia elétrica em energia luminosa.

3. a) Para uma pessoa de 1,60 m de altura e de 60 kg de massa que faz atividades físicas leves ou é sedentária, a energia diária necessária é cerca de 1 400 kcal. Se essa pessoa fizer atividade física mais intensa, deverá consumir 2 400 kcal diárias.
c) Alimentação saudável é aquela capaz de oferecer todos os nutrientes necessários ao corpo humano, promovendo saúde e bem-estar. Uma boa alimentação é essencial para todas as pessoas, pois é dos alimentos que o organismo obtém os nutrientes necessários para o crescimento e seu desenvolvimento, para a manutenção de tecidos, para o fortalecimento da resistência às doenças, etc. Uma das grandes conquistas na nutrição, mais especificamente na terapia nutricional em diabetes, é a individualização do plano alimentar, considerando as necessidades nutricionais, os hábitos alimentares, o estado fisiológico, o nível de atividade física, a medicação prescrita e a situação socioeconômica das pessoas. Assim, para que uma pessoa possa suprir suas necessidades nutricionais, é necessário haver a combinação de vários alimentos, pois alguns nutrientes estão mais concentrados em determinado grupo de alimentos do que em outro.

1 **A guitarra elétrica, diferentemente de um violão acústico, tem dispositivos conhecidos como captadores, que transformam a energia de vibração das cordas e são constituídos individualmente de seis sensores (pequenos círculos cinzentos em detalhe na imagem ao lado). Após a atuação do captador, a informação da vibração é transmitida por cabos elétricos a um amplificador.**



Idutko/Shutterstock.com/ID/BR

a) Qual é a principal transformação de energia que ocorre no captador de uma guitarra? O captador transforma a energia cinética de vibração das cordas em energia elétrica.

b) Sabendo que, na transformação ocorrida no captador, surge uma pequena quantidade de energia térmica nos cabos, qual é a relação entre a energia de vibração, a energia elétrica e a energia térmica durante a transformação? De acordo com a lei da conservação de energia, a energia cinética de vibração das cordas é a soma da energia elétrica e da energia térmica.

c) De acordo com a imagem, por que cada captador tem seis sensores?
Porque cada sensor é responsável por captar a vibração de uma corda.

2 **Após diversos estágios intermediários, uma usina termelétrica converte a energia térmica proveniente da queima de alguns combustíveis (como o gás natural e o óleo *diesel*) em energia elétrica. Depois dessa transformação, a energia elétrica é transportada pelos fios da rede elétrica até as residências e outros locais.**

a) Após o processo de transformação de energia, a energia total final é maior que, menor que ou igual à energia total inicial? Justifique. Pela lei da conservação da energia, a energia total, antes e depois de quaisquer fenômenos, permanece constante.

b) Dê alguns exemplos de eletrodomésticos e os tipos de transformação de energia que eles realizam.

c) Em sua casa, você utiliza energia elétrica diretamente? Justifique sua resposta.
Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam afirmativamente, dando como exemplos lâmpadas, geladeira, televisão e outros eletrodomésticos presentes na maioria das residências.

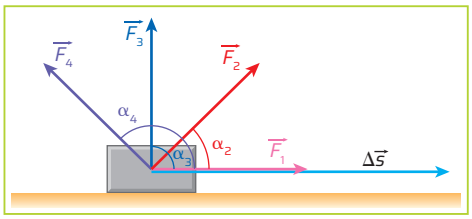
3 **Todas as pessoas precisam se alimentar para viver, ou seja, todas as pessoas precisam adquirir energia.**

a) Pesquise que quantidade aproximada de energia uma pessoa adulta de 1,60 m de altura e 60 kg deve consumir por dia para obter um bom balanceamento energético, ou seja, para adquirir a energia necessária ao desempenho das atividades diárias básicas.

b) Investigue quais fatores foram levados em consideração para determinar o valor aproximado que você respondeu no item anterior. Os fatores que são considerados para o cálculo são: a massa, a altura e o índice de atividade física.

c) O balanceamento energético é o único critério para estabelecer uma alimentação saudável? Em caso negativo, pesquise outros fatores que devem ser levados em consideração para uma dieta saudável.

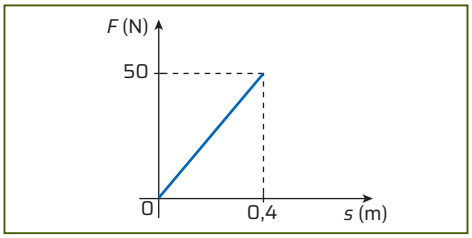
4 **Um corpo A se desloca 10 m em um plano horizontal sob a ação das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$, de acordo com a figura ao lado. Sabendo que as forças têm mesma intensidade, de valor 20 N, e que formam, respectivamente, os ângulos α_1, α_2, α_3 e α_4 com a direção do deslocamento, calcule o trabalho realizado por essas forças individualmente.**



Setup Bureau/ID/BR

Dados: $\alpha_1 = 0°$; $\alpha_2 = 60°$; $\alpha_3 = 90°$; $\alpha_4 = 120°$; cos 0° = 1; cos 90° = 0; cos 60° = 0,5; cos 120° = −0,5.
$\tau_1 = 200$ J; $\tau_2 = 100$ J; $\tau_3 = 0$ J; $\tau_4 = -100$ J.

5 **Em uma academia, uma pessoa se exercita puxando um equipamento constituído de molas. A força aplicada pela pessoa varia de acordo com o gráfico ao lado. Determine o trabalho realizado pela força aplicada quando essa pessoa estica a mola 0,4 m.** 10 J



Setup Bureau/ID/BR

6 **As usinas hidrelétricas convertem a energia cinética das águas em energia elétrica. De cada 100 joules de energia cinética, aproximadamente 90 joules são convertidos em energia elétrica.**

a) Para cada 100 J de energia elétrica, qual é a quantidade de energia convertida em energia não elétrica? 10 J

b) Após o processo descrito, a energia elétrica é transportada por uma rede de fios até os consumidores finais, como as residências. Quando um liquidificador está ligado, que tipo de energia está sendo transformada e em quais modalidades? O liquidificador transforma energia elétrica em energia cinética de movimentação das suas hélices.

Não escreva no livro.

c) Supondo que, nesse liquidificador, de cada 100 J de energia elétrica, 80 J fossem convertidos em energia mecânica, qual seria a quantidade de energia elétrica convertida nas outras modalidades? 20 J

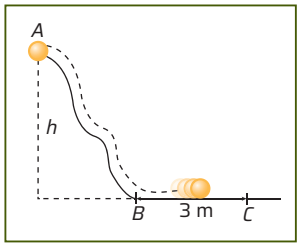
7 **Um computador está ligado à rede de energia elétrica.**

A transformação de energia elétrica em energia luminosa do monitor, energia térmica no processador e energia cinética na movimentação das hélices do *cooler*.

a) Cite algumas transformações de energia que podem ocorrer durante o uso do computador.

b) Considerando que, de cada 10 J de energia elétrica, 1 J é convertido em energia luminosa pelo monitor do computador, que quantidade de energia é convertida em outras modalidades? 9 J

8 **Um corpo de 3 kg de massa é solto do ponto *A* de um morro situado a uma altura de 4 m em relação ao solo, conforme mostra o esquema ao lado. O corpo desliza, sem atrito, até atingir o ponto *B*, no solo. A partir daí, desloca-se em uma superfície horizontal com atrito, até parar no ponto *C*, a 3 m do ponto *B*.**



ID/BR

Determine:

a) o valor da energia potencial gravitacional do corpo em relação ao solo no ponto *A*; 120 J

b) o valor da energia cinética do corpo no ponto *B*; 120 J

c) o valor da energia cinética do corpo no ponto *C*; 0 J, a velocidade é nula.

9 **A energia cinética de um automóvel sofre maior variação quando ele passa de 20 km/h para 30 km/h ou quando passa de 30 km/h para 40 km/h? Justifique sua resposta.**

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

10 **Estime os valores da energia envolvida nas situações descritas a seguir.**

a) Energia cinética de um motociclista. 24 000 J

b) Energia potencial gravitacional de uma pessoa que está no topo de um prédio de três andares. 10 500 J

c) Energia mecânica de um avião em pleno voo (considere a energia cinética e a energia potencial gravitacional do avião). $3 \cdot 10^{10}$ J

d) Energia cinética de um meteoro que se aproxima da Terra. $6 \cdot 10^{10}$ J

11 **Os chuveiros elétricos, como o da foto, costumam ter uma chave que possibilita a escolha de seu funcionamento em "duas estações" (inverno/verão). Supondo que um chuveiro elétrico tenha as especificações 2 200 W/3 600 W, responda às questões.**

Joá Souza/Shutterstock.com/ID/BR

O chuveiro é um dos eletrodomésticos que mais consomem energia elétrica, por isso, seu uso deve ser feito de forma responsável.

a) O chuveiro elétrico pode ser considerado uma máquina? Que tipos de energia estão sendo transformados durante seu funcionamento?

b) Por qual motivo há dois valores diferentes de potência? Qual potência corresponde a que é consumida pelo chuveiro com a chave na posição "inverno"? E com a chave na posição "verão"? Justifique.

c) A potência desse chuveiro funcionando com a chave na posição "inverno" corresponde à potência de quantas lâmpadas de 40 W funcionando simultaneamente?

a), **b)** e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

12 **Durante o funcionamento do motor de um automóvel, de cada 100 J de energia química armazenada no combustível utilizado, 20 J são convertidos em energia mecânica. Com base nesses dados, responda:**

a) Por que o motor de um automóvel pode ser considerado uma máquina? Cite alguns tipos de energia que surgem depois de o motor transformar a energia química do combustível.

b) Qual é a quantidade de energia útil e de energia dissipada para cada 100 J de energia química transformada?

c) Qual é o rendimento do motor desse automóvel?

a), **b)** e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

CAPÍTULO 3 CAPÍTULO 3 CAPÍTULO 3

1. O jogador faz isso para transferir maior quantidade de movimento à bola, que, assim, alcançará maior velocidade.

IMPULSO E COLISÕES

2. A bola não retorna à mesma altura porque parte da energia é dissipada em seu atrito com o ar e em sua colisão com o chão.

PARA COMEÇAR

1. Por que, em esportes como o futebol, muitas vezes o jogador toma distância da bola ao se preparar para chutá-la?
2. Por que uma bola largada de certa altura, e que quicou no chão, não retorna à mesma altura da qual foi largada?

QUANTIDADE DE MOVIMENTO

O que caracteriza o movimento de um corpo?

A resposta parece óbvia: sua velocidade. De fato, a velocidade é um aspecto importante para interpretar o movimento de um corpo, pois nos permite saber a direção, o sentido e a rapidez com que o corpo se move. Contudo, a velocidade é uma grandeza insuficiente para descrever todos os aspectos de um movimento.

Por exemplo, considere dois veículos em uma estrada: um caminhão de 20 toneladas e um carro de 1,5 tonelada, ambos à velocidade de 100 km/h. Em caso de colisão com um mesmo obstáculo, qual desses veículos causaria impacto maior?

Para responder a essa questão, devemos considerar a massa dos veículos e também o material de que são feitos. Nessa situação, os veículos têm a mesma velocidade, mas suas massas são diferentes, e isso pode ser verificado, por exemplo, ao se tentar pará-los. Como o caminhão tem massa maior e, portanto, maior inércia, fazê-lo parar exige a aplicação de forças mais intensas que as necessárias para tentar parar o carro, ambos inicialmente à mesma velocidade.

Outro exemplo é o jogo de boliche. O objetivo desse jogo é derrubar pinos com uma bola maciça. Cada pino tem cerca de 1,6 kg, e a massa da bola pode variar entre 2,7 kg e 7,2 kg. Em uma jogada típica, a bola chega a atingir 20 m/s no final da pista, antes de colidir com os pinos. Quando a colisão acontece, a bola derruba os pinos com certa facilidade. Se a mesma jogada fosse feita com uma bola de massa igual à de uma bola de tênis (0,056 kg), por exemplo, mantendo-se a mesma velocidade, os pinos não cairiam com igual facilidade, em caso de colisão.

Bola e pinos de jogo de boliche. A bola deve deslizar pela pista e derrubar o maior número de pinos por jogada. Quanto mais pinos forem derrubados, mais pontos serão marcados.

Stanislav Duben/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

No entanto, se essa bola atingisse o alvo com velocidade muito superior à média de 20 m/s, a probabilidade de ela derrubar os pinos seria maior. Do ponto de vista do impacto que o movimento de um corpo pode causar, uma massa menor pode ser compensada por uma velocidade maior (considerando que não haja mudança no tipo de material do corpo).

Esses dois exemplos simples mostram que, para conhecer melhor o movimento de um corpo, é preciso considerar duas grandezas: massa e velocidade.

No século XVII, o físico, matemático e filósofo francês René Descartes (1596-1650) propôs uma grandeza física que relaciona essas duas variáveis, chamada **quantidade de movimento**, ou **momento linear**, expressa pelo produto da massa *m* pela velocidade. Assim:

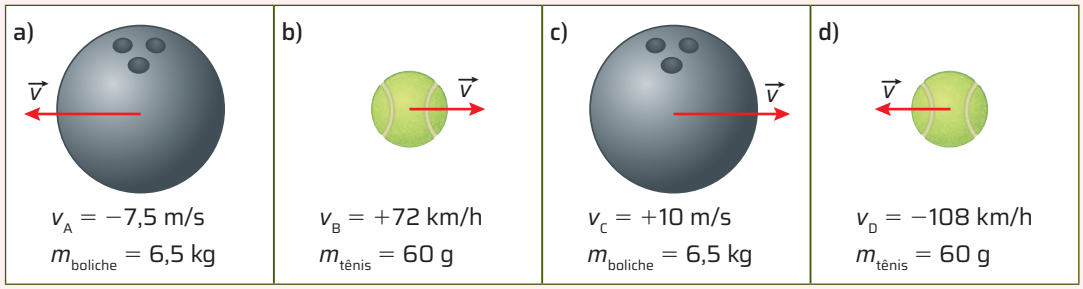
$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

No SI, a unidade de medida da quantidade de movimento é kg · m/s.

Observe que a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial. Apesar de ter sido proposta inicialmente por Descartes, seu caráter vetorial seria elaborado por Newton algum tempo depois.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Considere dois corpos, uma bola de boliche e uma bola de tênis, e as situações apresentadas a seguir. A massa da bola de boliche é 6,5 kg, e a da bola de tênis é 60 g. O valor da velocidade está indicado em cada item, sendo que o sinal indica o sentido do vetor. Levando em conta o caráter vetorial da grandeza, determine, em kg · m/s, a quantidade de movimento em cada situação.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Representações sem proporção de tamanho.

Resolução

É preciso converter a massa da bola de tênis para kg e as velocidades para m/s:

$m_{tênis} = 60 \text{ g} = 0{,}06 \text{ kg}$, $v_B = +72 \text{ km/h} = +20 \text{ m/s}$ e $v_D = -108 \text{ km/h} = -30 \text{ m/s}$.

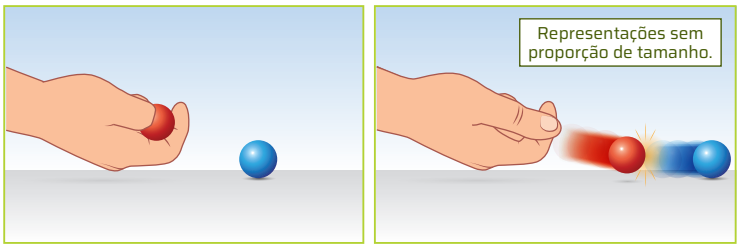
Os sinais das velocidades obedecem à indicação do exercício: negativo para as situações **a** e **d** e positivo para as situações **b** e **c**.

a) $Q_{boliche} = m_{boliche} \cdot v_A$ $Q_{boliche} = 6{,}5 \cdot (-7{,}5)$ $\therefore\ Q_{boliche} = -48{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$	b) $Q_{tênis} = m_{tênis} \cdot v_B$ $Q_{tênis} = 0{,}06 \cdot 20$ $\therefore\ Q_{tênis} = 1{,}2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$	c) $Q_{boliche} = m_{boliche} \cdot v_C$ $Q_{boliche} = 6{,}5 \cdot 10$ $\therefore\ Q_{boliche} = 65 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$	d) $Q_{tênis} = m_{tênis} \cdot v_D$ $Q_{tênis} = 0{,}06 \cdot (-30)$ $\therefore\ Q_{tênis} = -1{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Na interação entre dois corpos, um deles, se já estiver em movimento, pode provocar o movimento do outro (como nas figuras a seguir). Em outras situações, com os corpos inicialmente em repouso, o início do movimento de um deles pode dar início ao movimento de outro, como quando uma pessoa rema um barco.

Ilustrações: OracicArt/ID/BR



No jogo de bolas de gude, a bolinha em movimento colide com outra, que está inicialmente em repouso. Nessa colisão, a primeira bolinha aplica força na bolinha parada, promovendo o início de seu movimento. A segunda bolinha também aplica força na primeira, alterando a velocidade inicial desta. O princípio da ação e reação explica o que ocorre com as velocidades das bolinhas no evento da colisão. Cores-fantasia.

1. Resposta possível. Embora tenha massa pequena, o parafuso está em alta velocidade e pode produzir um impacto danoso para a ISS, em uma eventual colisão.

ROTEIRO

1. A Estação Espacial Internacional (ISS, na sigla em inglês) tem massa de cerca de 300 toneladas e viaja em torno da Terra a mais de 27 000 km/h. Há uma preocupação cada vez maior com a possibilidade de a estação ser atingida por lixo espacial, como satélites desativados ou pequenos fragmentos metálicos e lascas de tinta. Uma colisão com um desses fragmentos pode ser desastrosa para a ISS e para os astronautas a bordo.

Com base no conceito de quantidade de movimento, elabore uma explicação para o risco de uma colisão da estação espacial com um pequeno objeto, como um parafuso em órbita.

Na colisão entre as bolas de gude, quando uma delas, dotada de movimento, colide frontalmente com outra, que está em repouso, esta adquire movimento na mesma direção e no mesmo sentido da primeira bola. O movimento da primeira bola cessa ou diminui, mas, certamente, não aumenta.

A observação indica que a quantidade total de movimento dos sistemas não se modifica – pode haver transferência ou associação da quantidade de movimento, mas o total presente no sistema é mantido. Ou seja, uma parte do sistema pode ter sua quantidade de movimento aumentada, mas, na outra parte, essa quantidade diminui, como no exemplo das bolas de gude. Esse fenômeno é descrito pelo **princípio da conservação da quantidade de movimento**:

Em um sistema no qual a resultante das forças externas que agem sobre ele é nula, a quantidade de movimento total se conserva, ou seja:

$$\vec{Q}_{inicial} = \vec{Q}_{final}$$

Observe que esse princípio é válido apenas para sistemas isolados, ou seja, sistemas em que a resultante das forças externas é nula ou pode ser desprezada.

OUTRO ENUNCIADO DA SEGUNDA LEI DE NEWTON

Como vimos, a quantidade de movimento de um corpo depende de sua massa e de sua velocidade. Se a resultante das forças aplicadas sobre esse corpo não for nula, a velocidade do corpo será alterada, variando, portanto, sua quantidade de movimento. Isso significa que podemos associar a variação da quantidade de movimento de um corpo a uma resultante de forças não nula.

Nas cenas destas fotos, a resultante das forças que agem sobre o corpo causa mudança na velocidade dele e, portanto, em sua quantidade de movimento.

Marco Iacobucci Epp/Shutterstock.com/ID/BR

Quando a tenista rebate a bola com a raquete, a velocidade da bola pode apresentar alteração em seu módulo, em sua direção e em seu sentido. Tenista brasileira Beatriz Haddad Maia em uma partida de tênis em Roma, Itália. Foto de 2023.

PS Media House/Shutterstock.com/ID/BR

Quando uma lancha acelera em linha reta, a direção do movimento não varia, mas o módulo da velocidade aumenta.

Brastock/Shutterstock.com/ID/BR

Em uma roda-gigante em movimento, o módulo da velocidade é constante durante as voltas, mas a direção varia durante o movimento. Roda-gigante em Camboriú (SC). Foto de 2022.

DE OLHO NO CONCEITO

Forças internas e forças externas

Em Física, o termo **sistema** define um conjunto de elementos materiais que casualmente interagem de algum modo. Sistemas podem, ou não, trocar matéria, trabalho ou energia com o meio externo, que é denominado **vizinhança**.

Uma vez definido o sistema que se deseja estudar, podem-se analisar, por exemplo, as forças que atuam nele. As forças aplicadas por corpos incluídos no sistema são chamadas **forças internas**; as forças aplicadas por corpos que não estão incluídos no sistema são denominadas **forças externas**.

As forças externas podem alterar a quantidade de movimento total do sistema. Já as forças internas podem alterar a quantidade de movimento de componentes do sistema, mas não a resultante total dessas quantidades de movimento.

Assim, se a resultante das forças externas do sistema for nula, a quantidade de movimento total do sistema não se altera, e esse tipo de sistema é chamado de **sistema isolado**.

Não escreva no livro.

A variação da quantidade de movimento de um corpo pode ser escrita como:

$$\Delta\vec{Q} = m \cdot \Delta\vec{v}$$

Associando a variação da quantidade de movimento com a variação da velocidade ao intervalo de tempo necessário para que ocorram tais variações, temos:

$$\frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t} = m \cdot \vec{a}$$

Lembrando a **segunda lei de Newton**, $\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$, podemos escrever a expressão acima como:

$$\frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t} = \vec{F}_R$$

Essa expressão, portanto, é outra maneira de enunciar a segunda lei de Newton (ao deduzi-la, Isaac Newton usou o cálculo diferencial e integral, que foge ao âmbito de nossos estudos, para poder generalizar essa expressão para todos os tipos de força). Ela permite concluir que a resultante das forças e a variação da quantidade de movimento têm a mesma direção e o mesmo sentido.

Na expressão acima, consideramos constante a intensidade F_R da força, ou apenas o valor médio dessa força.

Teorema do impulso

A relação $\vec{F}_R = \frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t}$ também pode ser escrita como $\Delta\vec{Q} = \vec{F}_R \cdot \Delta t$.

Note que quanto menor for o intervalo de tempo no qual se dá a interação entre os corpos, maior será o valor da força para causar a mesma variação da quantidade de movimento. Por outro lado, forças pouco intensas podem provocar a mesma variação da quantidade de movimento, desde que atuem sobre o corpo por um intervalo de tempo suficiente. Daí deriva a definição da grandeza **impulso**:

O produto da força pelo intervalo de tempo durante o qual ela atua é chamado **impulso**.

Matematicamente, o impulso ($\vec{I}$) é dado pela expressão:

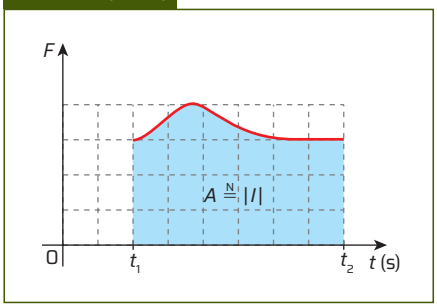
$$\vec{I} = \vec{F}_R \cdot \Delta t \text{ ou } \vec{I} = \Delta\vec{Q}$$

Essa expressão é conhecida como **teorema do impulso**. No SI, a unidade de medida do impulso é $N \cdot s$.

Para calcular o impulso de uma força de intensidade variável, analisamos o gráfico da intensidade da força em função do tempo ($F \times t$), no qual a área A, delimitada pela curva e pelo eixo do tempo, é numericamente igual ao valor do impulso. Matematicamente, escrevemos:

$$A \overset{N}{=} |I|$$

GRÁFICO ($F \times t$)



ID/BR

O valor do impulso de uma força variável é numericamente igual à área sob a curva do gráfico.

Efeito de ricochetear

Quando um jogador de vôlei lança uma bola para outro, que imediatamente a rebate, podemos dizer que essa bola foi ricocheteada. Pode parecer simples a ação do segundo jogador nesse tipo de lance, mas note que o impulso necessário para ricochetear uma bola é maior que o impulso necessário para apanhá-la. Para segurar a bola, o jogador precisa aplicar um impulso suficiente para levá-la ao repouso, porém, se ele quiser rebatê-la, esse impulso precisa ser suficiente para pará-la e arremessá-la de volta. Por isso, quando um objeto nos atinge e não o rebatemos, o impacto é menor comparado a quando esse objeto é ricocheteado.

Em esportes como tênis, futebol e vôlei, é fundamental o atleta treinar o rebote, para que, durante os jogos, consiga aplicar na bola um impulso com a intensidade e na direção necessárias para rebatê-la na trajetória desejada.

O efeito de ricochetear também é aplicado, na área da Química e em algumas engenharias, em testes de dureza dos materiais, nos quais se mede a resistência de um material à deformação. De forma simplificada, podemos entender esses testes como um teste de impacto de alta energia em que a dureza do material pode ser quantificada pelas características do ricochete desse material, como a altura em que o material foi lançado de volta após o impacto, por exemplo.

A Ricardo/Shutterstock.com/ID/BR

Na foto, jogadora da Seleção Brasileira de Voleibol Feminino Ana Cristina em posição para ricochetear a bola em um lance no jogo entre Brasil e Coreia do Sul, em 14 de maio de 2024, no Rio de Janeiro.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Uma bola de tênis de 60 g de massa bate contra uma parede a 30 m/s. Depois de rebater, ela retorna na mesma direção, porém em sentido oposto, com velocidade de 25 m/s. O contato com a parede dura apenas 0,05 s.**

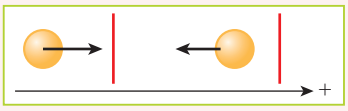
  a) Represente a situação descrita, indicando a direção e o sentido dos vetores velocidade da bola, antes e depois da colisão com a parede.

  b) Determine a intensidade média da força que agiu na bola durante o tempo em que ela esteve em contato com a parede. Explique o significado do sinal encontrado para essa força.

  c) Calcule o impulso aplicado na bola enquanto ela interagia com a parede.

Resolução

a) É importante perceber o aspecto vetorial na representação da velocidade da bola antes e depois do choque com a parede. Adotando o sentido para a direita como positivo, $\vec{v}_0$ como a velocidade antes da colisão e $\vec{v}_1$ como a velocidade após a colisão, pode-se fazer esta representação:



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

b) Antes de realizar os cálculos, é conveniente converter as unidades de acordo com o SI. No caso, apenas a massa precisará ser convertida:

$$60 \text{ g} = 0{,}060 \text{ kg}$$

Aplicando a expressão que relaciona força e variação da quantidade de movimento, temos:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{Q}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Como a intensidade da força é dada por

$$|\vec{F}| = m \cdot \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}, \text{ temos:}$$

$$|\vec{F}| = 0{,}06 \cdot \frac{|-25 - 30|}{0{,}05} \Rightarrow |\vec{F}| = 0{,}06 \cdot \frac{|-55|}{0{,}05}$$

$$|\vec{F}| = 0{,}06 \cdot 1100 \Rightarrow |\vec{F}| = 66 \text{ N}$$

Note que a força atua contrariamente à velocidade inicial da bola, alterando o sentido da velocidade. Por isso, a força tem sinal negativo e, portanto, sentido oposto ao da velocidade inicial.

c) Cálculo do módulo do impulso: $|\vec{I}| = |\vec{F}| \cdot \Delta t$

$$|\vec{I}| = 66 \cdot 0{,}05 \Rightarrow |\vec{I}| = 3{,}3 \text{ N} \cdot \text{s}$$

- **Na indústria automobilística, é comum a realização do chamado *crash test*, simulação na qual se busca reproduzir as condições reais de uma colisão de veículos contra obstáculos fixos ou entre dois veículos. Bonecos são colocados em posições estratégicas dentro do veículo de teste, para que possam ser observadas as consequências de um eventual acidente sobre o corpo humano.**

A imagem a seguir reproduz uma dessas simulações. Nela se vê o *airbag* protegendo o boneco do choque contra o volante.

†Stop Images - Caspar Benson/Brand X Pictures/Getty Images

Considere que a massa do veículo é 1000 kg, e a do boneco, 80 kg. Considere também que, ao bater, o veículo estava a 72 km/h e parou completamente em 0,1 s.

a) Indique a direção e o sentido da força aplicados pelo obstáculo no veículo durante a colisão.

b) Determine o que ocorre com o movimento inicial do boneco durante a colisão e como atuam o cinto de segurança e o *airbag* nessa fase do teste.

c) Tanto o cinto de segurança quanto o *airbag* servem para proteger o motorista e os passageiros em caso de colisão ou de freada brusca. Com base nos conceitos estudados até aqui, discuta a ação de cada um desses dispositivos, indicando seus limites e benefícios.

Resolução

a) A força exercida pelo obstáculo tem a mesma direção do deslocamento do veículo e sentido contrário a ele.

b) No momento da colisão, por causa da inércia, o boneco continua seu movimento para a frente, de encontro ao painel. Mas tanto o cinto de segurança quanto o *airbag* impedem-no de se chocar contra o painel. Em uma situação real, isso ameniza os danos à integridade física do motorista, evitando ferimentos mais graves.

c) O cinto de segurança é um dispositivo de custo acessível, de fácil instalação e reutilizável; já o *airbag*, além de ser mais caro, uma vez utilizado precisa ser reposicionado e novamente preparado para uso posterior. Durante a colisão, o cinto trava muito rapidamente (curto intervalo de tempo) e aplica uma força intensa no tórax do usuário. No caso do *airbag*, o impulso é o mesmo, mas, por ser uma bolsa que infla, atenua o efeito da colisão sobre os ocupantes do veículo, aumentando o tempo de frenagem do ocupante e, assim, aplica sobre o usuário uma força menos intensa que a do cinto de segurança.

Não escreva no livro.

ENERGIA EM COLISÕES

No estudo das colisões – entre dois automóveis, de uma bola de boliche contra os pinos a serem derrubados, de partículas subatômicas em aceleradores de partículas, de moléculas na produção de um novo composto, entre outros casos –, há sempre duas leis de conservação que podem ser verificadas:

- a lei da conservação da quantidade de movimento;
- a lei da conservação da energia total do sistema.

Embora a energia total inicial do conjunto de corpos envolvidos na colisão se conserve, ocorre transformação de parte dessa energia no processo. Há indícios que evidenciam essas transformações de energia, como o som da colisão, a presença de calor, a emissão de luz, o amassamento permanente ou temporário dos corpos envolvidos, entre outros. Em geral, a análise da energia cinética costuma oferecer uma boa descrição do que ocorre em uma colisão. Assim, conhecer o montante de energia cinética do sistema, antes e depois de uma colisão, dá uma boa ideia do comportamento dessa colisão e permite classificá-la em três categorias, apresentadas na tabela a seguir.

Tipo de colisão	Quantidade de movimento	Energia cinética
Elástica	Conserva-se integralmente.	Conserva-se integralmente.
Parcialmente elástica	Conserva-se integralmente.	Não se conserva.
Inelástica	Conserva-se integralmente.	Não se conserva.

A **colisão elástica** é um modelo idealizado em que a energia cinética se mantém intacta durante a colisão. Dessa forma, não haveria nenhum ruído ou aquecimento, nenhuma emissão de luz ou qualquer outro indício perceptível resultante dessa colisão. Há, porém, situações do cotidiano em que a transformação de energia é tão ínfima, que a colisão pode ser classificada na categoria elástica.

Já a **colisão parcialmente elástica** envolve uma gama variada de colisões e sua característica principal é o fato de que a energia cinética, após a colisão, apresenta valor menor que o valor de antes da colisão.

A **colisão inelástica** também apresenta redução em sua energia cinética, mas costuma ser acompanhada de um efeito particular: os corpos envolvidos nesse tipo de colisão passam a apresentar velocidades idênticas após a colisão, podendo, inclusive, manterem-se conectados um ao outro.

Existe ainda uma categoria especial de colisão, denominada **superelástica**, em que a energia cinética não se conserva, mas aumenta com o evento da colisão. Esse excedente de energia cinética viria de alguma fonte que é acionada em decorrência da colisão, como naquela que ocorre entre dois objetos explosivos (a energia do explosivo é liberada, gerando o excedente de energia cinética) ou mesmo em um evento mais simples, quando um corpo elástico deformado, ao colidir com outro, libera a energia armazenada na forma de energia elástica.

É interessante notar que a energia cinética está associada não só à massa do corpo, mas também ao quadrado da velocidade, de modo que pequenas variações na velocidade de um corpo podem acarretar variações consideráveis em sua energia cinética.

Além disso, essa transformação de energia, muitas vezes denominada **dissipação**, pode ocorrer ou de forma lenta e gradual ou de forma mais intensa, caracterizando o que se pode chamar de "violência da colisão". Essa violência está associada também a características do corpo, como sua capacidade de deformação. Por essa razão, por exemplo, a estrutura dos veículos é projetada para amassar em uma colisão, o que distribui o impacto pela superfície externa dos veículos enquanto se deformam, diminuindo assim a violência da colisão e aumentando a probabilidade de sobrevivência de seus ocupantes.

ROTEIRO

2. **Pense em exemplos de colisão que você já tenha observado e classifique-os em colisão elástica, parcialmente elástica ou inelástica.** Resposta pessoal.

3. **Suponha que um carro a 50 km/h colida com um poste. Qual seria a diferença se a colisão ocorresse entre esse mesmo carro e esse mesmo poste, mas com o veículo a uma velocidade apenas 20% maior? Compare as energias cinéticas envolvidas nas duas situações e a gravidade das colisões.**

No segundo o caso, a energia será 44% maior.

PARA EXPLORAR

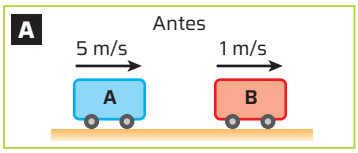
Acesse

Laboratório de colisões

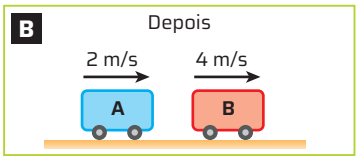
No simulador do projeto PhET Simulações Interativas, da Universidade do Colorado em Boulder, é possível simular colisões entre dois ou mais corpos variando as massas dos corpos e o coeficiente de restituição.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/collision-lab/latest/collision-lab_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 15 jul. 2024 .

ID/BR



ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

Coeficiente de restituição

No estudo quantitativo particular de colisões unidimensionais entre dois corpos pontuais, utilizamos o conceito de **coeficiente de restituição (*e*)**, definido como a razão entre o módulo da velocidade relativa de afastamento (v_{af}) e o módulo da velocidade relativa de aproximação (v_{ap}) dos dois corpos que colidem. Assim, temos:

$$e = \frac{|v_{af}|}{|v_{ap}|} \Rightarrow e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B}$$

Note que:

- a expressão $v'_B - v'_A$ representa a diferença algébrica entre as velocidades dos corpos **após a colisão**;
- a expressão $v_A - v_B$ representa a diferença algébrica entre as velocidades dos corpos **antes da colisão**.

Por ser definido como uma razão entre módulos de velocidades, o coeficiente de restituição é uma grandeza adimensional e positiva.

Na colisão elástica, como há conservação de energia cinética, temos $e = 1$. Já na colisão inelástica, como os corpos permanecem unidos após a colisão, temos $e = 0$. Assim, na colisão parcialmente elástica, temos $0 < e < 1$.

Observe o exemplo de uma colisão nos esquemas A e B. Calculando o coeficiente de restituição dessa colisão, temos:

$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \Rightarrow e = \frac{4-2}{5-1} \Rightarrow e = \frac{2}{4} \Rightarrow e = 0{,}5$$

Portanto, essa é uma colisão parcialmente elástica.

ATIVIDADE RESOLVIDA

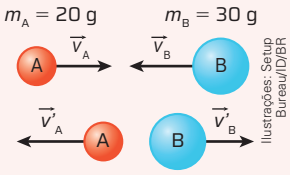
Duas bolinhas de silicone, de 20 g e 30 g de massa, colidem frontal e elasticamente. A primeira tem velocidade de 4 m/s para a direita, e a segunda, de 5 m/s para a esquerda.

a) Represente a colisão identificando os corpos envolvidos, suas massas e velocidades, com a orientação do referencial adotado.

b) Determine as velocidades das duas bolinhas após a colisão.

Resolução

a) Após a colisão elástica, cada bolinha deverá inverter o sentido de seu movimento. Antes de proceder à análise, entretanto, devemos escolher o sistema de referência. Nesse caso, adotaremos o sentido positivo para a direita.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Situação 1 (antes): $v_A = 4$ m/s e $v_B = -5$ m/s

Situação 2 (depois): v'_A e v'_B

b) Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, temos: $Q_{inicial} = Q_{final}$. Assim:

$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$

$20 \cdot 4 - 30 \cdot 5 = 20 \cdot v'_A + 30 \cdot v'_B$

$30 \cdot v'_B + 20 \cdot v'_A = -70$ (I)

Para resolver o problema, é necessário buscar uma segunda equação, que pode ser obtida da relação do coeficiente de restituição. Como o choque é elástico, $e = 1$ e, substituindo os valores das velocidades iniciais, temos:

$$e = \frac{|v'_B - v'_A|}{|v_A - v_B|} = 1 \Rightarrow e = \frac{|v'_B - v'_A|}{|4 - (-5)|} = 1$$

Isolando o termo com as incógnitas, obtemos:

$$v'_B - v'_A = 9 \text{ (II)}$$

Resolvemos, então, o sistema composto de duas equações, (I) e (II), e duas incógnitas, v'_A e v'_B. Para isso podemos, por exemplo, multiplicar a equação (II) por 20, obtendo a equação (III):

$30 \cdot v'_B + 20 \cdot v'_A = -70$ (I)

$20 \cdot v'_B - 20 \cdot v'_A = 180$ (III)

Somando (I) e (III), determinamos o valor de v'_B:

$$50 \cdot v'_B = 110 \Rightarrow v'_B = \frac{110}{50} \Rightarrow v'_B = 2{,}2 \text{ m/s}$$

Como v'_B é positiva, seu sentido é para a direita.

A substituição de v'_B em qualquer uma das equações do sistema permite encontrar o valor de v'_A. Por exemplo:

$v'_B - v'_A = 9 \Rightarrow 2{,}2 - v'_A = 9$

$v'_A = -6{,}8$ m/s (com sentido para a esquerda)

Não escreva no livro.

Colisões intrigantes

Pelas observações do cotidiano, sabemos que uma bola de basquete costuma quicar mais que uma bola de tênis. Mas, e se soltarmos uma bola de tênis em cima de uma bola de basquete, como elas vão quicar? Nesta atividade, você e os colegas vão aplicar os conceitos de quantidade de movimento e impulso na interpretação de resultados de colisões desse tipo.

Material

- bola de basquete
- bola de pingue-pongue
- bola de tênis

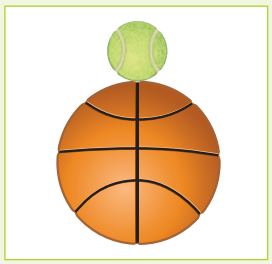
Como fazer

1. Segure com uma das mãos a bola de basquete e com a outra a bola de tênis, à mesma altura do solo. Solte-as e observe como cada uma colide isoladamente contra o solo. Repare, sobretudo, na altura atingida por uma e por outra ao quicar.
2. Coloque a bola de basquete sobre a de tênis, segurando-as juntas, a determinada altura, e encostadas uma na outra. Solte-as ao mesmo tempo, deixando-as cair de modo que a bola de tênis permaneça embaixo da bola de basquete, mas em contato com ela. Observe como se dá a colisão do conjunto contra o solo. Atente, principalmente, ao modo como a bola de basquete, que estava por cima da bola de tênis, sobe ao quicar no chão.

Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

3. Repita o procedimento, agora com as bolas em posição inversa: a bola de tênis em cima da bola de basquete. Observe como se dá a colisão desse novo arranjo contra o solo. Repare principalmente em como sobe a bola de tênis, que estava por cima da bola de basquete.



Setup Bureau/ID/BR

4. Repita agora o procedimento **3** com a bola de pingue-pongue no lugar da bola de tênis e compare o resultado com o obtido com a bola de tênis.

Para concluir

1 **Identifique os tipos de colisão que ocorrem no procedimento 2 da etapa anterior.** Nenhuma das colisões realizadas pode, a rigor, ser considerada perfeitamente elástica.

2 **Se o procedimento 2 for refeito com duas bolas de basquete, o efeito será semelhante ao observado? Por quê?** O efeito será semelhante ao caso da bola de tênis sobre a bola de basquete, mas a bola de basquete não subirá tanto quanto a bola de tênis.

3 **Discuta com os colegas como os conceitos de quantidade de movimento e impulso se aplicam aos resultados observados depois de cada uma das colisões descritas nos quatro procedimentos.** Resposta pessoal.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

SEGURANÇA NAS ESTRADAS

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) divulgados em 2023, a cada ano, no mundo, cerca de 1,19 milhão de vidas são perdidas em acidentes de trânsito. O Brasil está entre os países com maior taxa de mortalidade no trânsito, com mais de 33 mil vidas perdidas por ano – estimativa feita com base nos dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM), do Ministério da Saúde.

A maioria dos acidentes de trânsito é causada por imprudência dos motoristas. De acordo com dados do Anuário da Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran), no Brasil, somente no ano de 2023, foram registrados 21,1 milhões de infrações, sendo que a mais cometida foi o excesso de velocidade, uma das principais causas de acidentes.

Mas como se estabelece a velocidade máxima de uma via?

No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito (Contran) é o órgão que realiza os estudos para determinar as condições de trânsito na via e a velocidade máxima permitida. São analisadas variáveis como as características físicas da via, o número de pedestres que transitam por ela, o fluxo e os tipos de veículo (leves ou pesados) que nela trafegam. Após a realização desses estudos, é determinada a velocidade máxima da via e feita a sinalização. No entanto, em algumas localidades, é possível encontrar vias não sinalizadas, mas isso não isenta o motorista de ter prudência e respeitar os limites de velocidade, uma vez que o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) apresenta normas claras sobre isso.

[...]

Art. 61. A velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas suas características técnicas e as condições de trânsito.

§ 1º Onde não existir sinalização regulamentadora, a velocidade máxima será de:

I – nas vias urbanas:

a) oitenta quilômetros por hora, nas vias de trânsito rápido;

b) sessenta quilômetros por hora, nas vias arteriais;

c) quarenta quilômetros por hora, nas vias coletoras;

d) trinta quilômetros por hora, nas vias locais;

II – nas vias rurais:

a) nas rodovias de pista dupla: [...]

1. 110 km/h (cento e dez quilômetros por hora) para automóveis, camionetas e motocicletas; [...]
2. 90 km/h (noventa quilômetros por hora) para os demais veículos; [...]

b) nas rodovias de pista simples: [...]

1. 100 km/h (cem quilômetros por hora) para automóveis, camionetas e motocicletas; [...]
2. 90 km/h (noventa quilômetros por hora) para os demais veículos; [...]

c) nas estradas: 60 km/h (sessenta quilômetros por hora). [...]

§ 2º O órgão ou [a]entidade de trânsito ou rodoviário com circunscrição sobre a via poderá regulamentar, por meio de sinalização, velocidades superiores ou inferiores àquelas estabelecidas no parágrafo anterior.

[...]

Brasil. *Lei n. 9 503, de 23 de setembro de 1997*. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm. Acesso em: 15 jul. 2024.

Para discutir

1 **Quais grandezas físicas estão envolvidas quando se trafega por uma estrada?**
As grandezas físicas envolvidas são velocidade, massa, quantidade de movimento, forças de atrito, força aerodinâmica e aceleração.

2 **Por que as velocidades máximas permitidas são diferentes de acordo com o tipo de veículo? Quais conceitos físicos estão envolvidos nessas diferenças?**
Porque os veículos têm diferentes massas. O conceito envolvido é a quantidade de movimento, que deve ser semelhante entre os veículos.

3 **Exceder o limite de velocidade estipulado para determinada via aumenta a possibilidade de ocorrer um acidente e de esse acidente ser mais grave para os ocupantes? Por quê? Discuta com os colegas usando os conceitos da Física estudados neste capítulo.** Respostas pessoais. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

A POLÊMICA ENTRE LEIBNIZ E OS CARTESIANOS: MV OU MV²?

[...]

[...] O filósofo alemão [Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), nascido em Leipzig,] acreditava que, para medir a *força*, bastava encontrar uma maneira de medir o impacto *causado* pelo corpo. Esse, por sua vez, de acordo com o princípio de identidade entre causa e efeito, confundir-se-ia com a própria força, pois que esta lhe é imanente. [...]

Em 1686, Leibniz, em sua obra *Discurso de metafísica*, estuda mais profundamente a Física dos choques, reformulando os conceitos cartesianos, que passa abertamente a criticar:

> Frequentemente nossos novos filósofos se servem da famosa regra em que Deus conserva sempre a mesma quantidade de movimento do universo. De fato, isto é muito plausível e antes eu próprio a tinha como indubitável. Porém[,] há algum tempo reconheci em que consiste o seu erro. O senhor Descartes e muitos hábeis matemáticos têm acreditado que a quantidade de movimento, isto é, a velocidade multiplicada pela magnitude (massa) do móvel, é exatamente a força motriz ou, para falar matematicamente, que as forças estão na razão direta das velocidades e das magnitudes [...]

A seguir Leibniz nos demonstra que a massa vezes a velocidade não deve ser a verdadeira medida de uma "força", e sim a massa pelo quadrado da velocidade.

Seu argumento básico é de que um corpo A de massa quatro vezes menor que a de um corpo B, porém caindo de altura quatro vezes maior, ao colidir com o solo, deve ter uma força igual. Galileu e Torricelli já haviam descoberto que as velocidades finais de um corpo em queda livre eram proporcionais à raiz quadrada da altura, e assim o corpo A, quando tocasse o solo, teria uma velocidade apenas duas vezes maior que a do corpo B, o mesmo acontecendo com sua quantidade de movimento. No entanto, a razão entre as velocidades deveria ser de quatro para um, e assim Leibniz prova que a grandeza que mede o movimento, e, portanto a verdadeira medida da força, é a massa vezes o quadrado da velocidade, isto é, $\mathbf{mv^2}$, e não **mv**, como acreditavam os seguidores de Descartes (os novos filósofos a quem Leibniz refere-se). Na argumentação acima, é importante ter-se novamente o entendimento claro de que a força (*vis*), como causa prima, o impacto como efeito e causa imanente de seu novo efeito expresso na elevação do corpo devem converter-se inteiramente um no outro, para que este assim retorne à sua altura original. Em seu *Essay de dynamique* (Ensaio sobre dinâmica), Leibniz escreve como seu primeiro axioma: (no ciclo completo que começa com a queda e termina com o corpo elevando-se à altura original) "A mesma quantidade de força é conservada, ou melhor, o efeito todo é igual à causa total" [, sendo] esse axioma uma exigência básica do princípio metafísico de identidade entre causa imanente e efeito. [...]

A grandeza mv^2, nomeada de *vis viva*, e a quantidade de movimento de Descartes, mv, passaram então a disputar entre si o *status* de verdadeira medida do movimento e da força de um corpo. A questão foi motivo para grande discussão entre os cartesianos e os leibnizianos e tomou conta de todo [o] círculo científico da época.

[...]

Ponczek, R. L. A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv²? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 17, n. 3, p. 336-347, dez. 2000. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6765/6233. Acesso em: 15 jul. 2024.

Para discutir

1 **O texto cita a disputa entre duas ideias concorrentes que mediriam determinada grandeza física. Identifique essa grandeza.** A grandeza mencionada que estava sendo determinada era a força do impacto entre os corpos.

2 **Duas expressões são mencionadas no texto de forma um pouco diferente de como as conhecemos hoje. Quais são essas expressões e quais são seus significados atuais?** São elas: mv^2 e mv. A primeira, hoje calculada de forma ligeiramente diferente, é a chamada energia cinética; a segunda é a quantidade de movimento.

3 **Das grandezas mencionadas no texto, qual delas se conserva e em que condições?** A quantidade de movimento em colisões ou, de forma mais geral, em sistemas isolados.

1. c) $1,27 \cdot 10^6$ kg · m/s

1 **Determine, em kg · m/s, o valor da quantidade de movimento de cada corpo nas situações a seguir.**

a) Um besouro de 10 g voando a 25 m/s no jardim de uma casa. 0,25 kg · m/s

b) Uma bola de boliche de 7 kg a 20 m/s no final da pista, prestes a derrubar os pinos. 140 kg · m/s

c) Um pequeno avião de 5,7 t voando a 800 km/h.

d) Um elefante de 5 t deslocando-se a 10 m/s na savana africana. $5,0 \cdot 10^4$ kg · m/s

e) Um automóvel de 1450 kg a 126 km/h em uma autoestrada. $5,08 \cdot 10^4$ kg · m/s

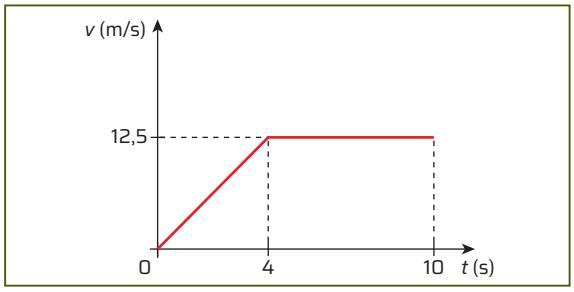
f) Compare os resultados dos itens **d** e **e**.
As quantidades de movimento são praticamente idênticas.

2 **Um caminhão de 10 t trafega a 50 km/h em uma rodovia.**

a) Determine a velocidade de um carro popular de 1000 kg para que ele e o caminhão tenham a mesma quantidade de movimento. 500 km/h

b) Um carro popular atinge essa velocidade? Justifique sua resposta. Não. Os motores de carros populares não têm potência suficiente para atingir essa velocidade.

3 **O gráfico a seguir fornece a velocidade em função do tempo de um corpo de 90 kg.**



ID/BR

a) Determine o valor da quantidade de movimento desse corpo no instante $t = 10$ s. 1 125 kg · m/s

b) Construa no caderno um gráfico da quantidade de movimento desse corpo em função do tempo para o intervalo considerado (de 0 a 10 s).
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

4 **A bola oficial de futebol de campo tem massa próxima de 450 g. Após certo chute, ela atinge o travessão com velocidade de 5 m/s e retorna com velocidade de mesmo valor.**

a) Determine o valor do impulso aplicado pela trave na bola. 4,5 N · s

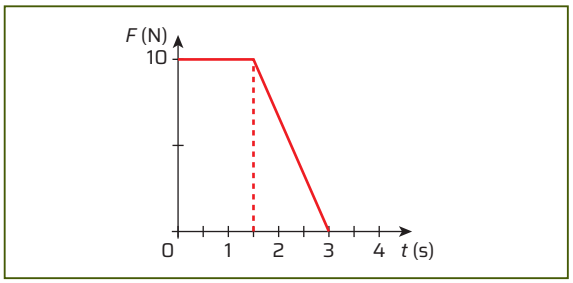
b) Sabendo que o contato entre a trave e a bola durou 0,05 s, calcule o valor da força média aplicada pela trave sobre a bola. 90 N

5 **Em alguns filmes de faroeste, é comum o herói saltar do alto de um celeiro, por exemplo, e cair bem em cima de seu cavalo. Suponha que o herói, de 70 kg, caia verticalmente de uma altura de 3 m sobre seu cavalo e que a interação entre os dois dure 0,5 s.**

a) Calcule o impulso exercido pelo cavalo no herói. 546 N · s

b) Determine o módulo da força que o cavalo exerce sobre o herói. 1 092 N

6 **Um corpo de 5 kg de massa está em repouso em um plano horizontal quando uma força $\vec{F}$, de direção paralela ao plano, atua sobre ele. Para responder às questões, considere o gráfico a seguir, que representa a variação da intensidade dessa força.**



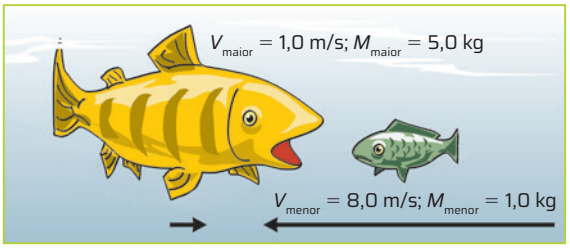
ID/BR

a) Calculando a área do gráfico, determine a intensidade do impulso aplicado ao corpo no intervalo de 0 a 3 s. 22,5 N · s

b) Determine a velocidade do corpo após 3 s. 4,5 m/s

c) Identifique em qual intervalo de tempo o movimento é uniformemente variado. Entre 0 e 1,5 s.

7 **Imagine que o peixe grande vai engolir o peixe pequeno, conforme a ilustração a seguir, que fornece os valores das massas e das velocidades anteriores ao evento.**



HS/ID/BR

Representação em cores-fantasia.

Para escolher o sinal das velocidades, considere o caráter vetorial da quantidade de movimento.

a) Determine a velocidade final do peixe maior.

b) Calcule o valor do coeficiente de restituição (*e*).

c) Classifique e justifique o tipo de colisão.

7. a), **b)** e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **Em uma pista de gelo onde o atrito é desprezível, estão em repouso o patinador 1, de 70 kg de massa, e o patinador 2, de 60 kg de massa. Em dado momento, o patinador 1 esbarra no patinador 2. Após a colisão, o patinador 1 move-se para trás com velocidade de 0,4 m/s em relação ao gelo.**

a) Faça um esquema da situação mostrando a direção das velocidades antes e depois da colisão.

b) Determine a velocidade do patinador **2** após a colisão.

c) Calcule a distância entre os dois patinadores 4 s após a colisão.

d) Use as leis de Newton e explique por que o patinador que esbarrou no outro patinador moveu-se para trás. **8. a)**, **b)**, **c)** e **d)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

1. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes percebam que, ao olhar para o céu, diferentes corpos celestes podem ser identificados, como estrelas e planetas.

BASES DA MECÂNICA CELESTE

2. Resposta pessoal. O objetivo é que os estudantes reflitam sobre a evolução dos conhecimentos científicos e também para além do planeta Terra, de modo que percebam que esses estudos podem melhorar as condições de vida no planeta, por exemplo, com o desenvolvimento de diversos tipos de satélite, de tecnologias utilizadas no aperfeiçoamento dos telefones, de equipamentos usados na medicina, entre outros.

PARA COMEÇAR

1. O que você observa quando olha para o céu?
2. Quais benefícios a exploração espacial pode trazer para a humanidade e para o estudo do Universo?

A EVOLUÇÃO DOS MODELOS COSMOLÓGICOS

A humanidade sempre mostrou grande interesse pelo céu e pelos corpos celestes – planetas, estrelas, luas, etc. –, e pela observação de regularidades nos fenômenos naturais – a sucessão de dia e noite, o nascer e o pôr do sol, as estações do ano, a ocorrência de eclipses, as passagens de cometas, entre outros.

Ao longo da história, foram concebidos diversos modelos para descrever o céu e explicar sua estrutura, sua evolução e sua origem. Esses modelos **cosmológicos** (do grego *kósmos*, que significa "ordem do Universo") variavam em concepção e em complexidade, refletindo as formas de ver e pensar o mundo de diferentes povos e épocas.

A evolução dos modelos cosmológicos ampliou o conhecimento humano sobre o Universo, e os estudos científicos de Astronomia e o desenvolvimento tecnológico possibilitaram a exploração espacial, com o lançamento de satélites e a construção de estações orbitais como a Estação Espacial Internacional, entre outros avanços.

Estação Espacial Internacional em órbita da Terra. Composição feita com fotos da Nasa. Foto de 2021.

Dima Zel/Shutterstock.com/ID/BR

OS PRIMEIROS MODELOS COSMOLÓGICOS

Diferentes sociedades antigas buscaram explicar os movimentos aparentes dos astros no céu, e suas observações levaram ao desenvolvimento de modelos cosmológicos e a conhecimentos práticos que se tornaram essenciais para atividades como a navegação e a agricultura.

As ilustrações a seguir apresentam, de forma simplificada, alguns desses modelos.

Bettmann Archive/Getty Images

Para os babilônios (que viveram no sul da Mesopotâmia, na região do atual Iraque, em torno de 2000 a.C.), o deus Marduk criou o mundo sobre a superfície da água. Um grande rio envolvia o mundo por completo, e uma cúpula sustentada por enormes paredes continha os corpos celestes. Obra do início do século XX, autor desconhecido.

Werner Forman/UIG/Fotoarena

Os egípcios antigos, no século X a.C., acreditavam que o corpo reclinado da deusa do céu, Nut, era mantido suspenso pelo deus do ar, Shu. Aos pés dela, estaria deitado na horizontal o deus da terra, Geb. Na foto, detalhe do sarcófago de Nespawershepi, c. 984 a.C.

Para os jônios, que viveram na região da atual Turquia no século VI a.C., apenas na natureza (e não em seres sobrenaturais) era possível encontrar as respostas a todas as dúvidas. O Universo seria eterno e infinito em extensão; em seu centro, estaria o mundo, em torno do qual haveria uma grande roda de fogo. O Sol, a Lua e as estrelas seriam furos nessa roda.

Cosmovisão e Arqueoastronomia maias

A Arqueoastronomia, uma área nova ligada à Astronomia, tem se dedicado a estudar esses registros ancestrais conectados a culturas e períodos históricos antigos.

Tão antiga quanto diversas culturas euroasiáticas e africanas, a cultura maia, que surgiu por volta do ano 1800 a.C. na região chamada Mesoamérica – onde hoje localizam-se porções do México, Guatemala, Belize, Honduras e El Salvador –, também construiu sua visão acerca do cosmos. Em sua cosmogonia, os deuses primordiais Gucumaz e Peteu criaram o mundo e os seres vivos com a força do pensamento, para que estes lhes rendessem adoração. Mas, como tais seres não falavam, criaram então os seres humanos para esse fim, primeiro a partir do barro e depois em madeira. Imperfeitos e sem memória, os humanos deixaram de adorar os deuses e foram varridos da Terra por um dilúvio. A geração seguinte de seres humanos a povoar a Terra foi então criada a partir do milho. Uma árvore sagrada, *Yakché*, situada no centro do mundo, sustentaria o céu com seus ramos e adentraria o submundo estendendo suas raízes.

Os maias e outros povos originários construíram e utilizaram observatórios astronômicos para estudar o céu.

Dmitry Eagle Orlov/Shutterstock.com/ID/BR

El Caracol (Chichén Itzá), localizado na península de Yucatán, atual território do México, é um dos observatórios que os maias utilizavam para estudar o céu. Foto de 2022.

Cosmovisão e Arqueoastronomia incas

Na região onde atualmente se localiza o Peru, os incas, nos séculos XV e XVI, cultuavam o Sol e realizavam precisas observações astronômicas que orientavam a elaboração e o uso de seus calendários, a organização das atividades cotidianas e a contagem do tempo. É no território que foi ocupado pelos incas que se encontra o observatório astronômico considerado atualmente o mais antigo das Américas: Chankilo, uma estrutura de 13 torres distribuídas de forma bastante regular em uma linha reta no alto de uma colina na direção norte–sul, na região costeira norte do Peru. Sabe-se que o ponto do nascer do Sol no horizonte varia ao longo do ano, e a estrutura das torres permite acompanhar essa variação, o que possibilitou medições precisas e a confecção de calendários detalhados.

Estudos científicos apontam, no entanto, que a construção desse sofisticado observatório talvez se deva a um povo anterior aos incas, provavelmente há mais de dois mil anos.

Cosmovisão indígena brasileira

Em partes do atual território brasileiro, diferentes registros rupestres indicam que povos pré-históricos locais já observavam o céu. Entre os diferentes povos indígenas estabelecidos no atual território brasileiro, também são encontrados registros astronômicos de observações celestes, bem como cosmogonias próprias que procuram explicar a criação do mundo e seu funcionamento e a origem de seu povo – muitas vezes conectado "ao mundo de cima", como para os povos indígenas Kayapó.

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

Pintura rupestre no sítio arqueológico Manuel Braga de Serranópolis (GO). Foto de 2019.

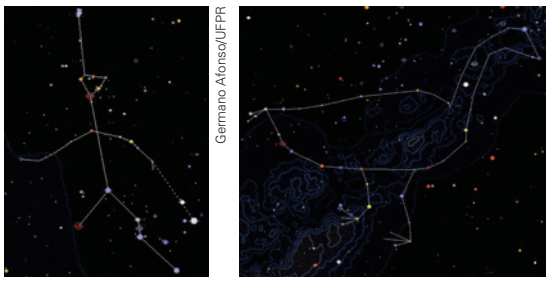
Não escreva no livro.

Para os Kayapó, seus ancestrais viviam no céu e vieram para a terra durante um evento de caçada, quando um guerreiro que fazia parte desses antepassados celestes, ao perseguir um tatu, cavou um buraco que conectou céu e terra. Ao descer, ficou impressionado com as paisagens de florestas e rios abundantes e, na volta, contou aos líderes da comunidade no céu o que havia encontrado. Vários deles resolveram se mudar para a terra, usando uma corda longa de algodão para descer. Mas alguns ficaram receosos e indecisos e não vieram, e a corda foi então cortada, separando esse povo ancestral. Os que desceram à terra se estabeleceram e formaram famílias. Os que ficaram no céu nos observam de lá até hoje e são as estrelas que vemos à noite.

Arqueoastronomia indígena e suas constelações

A identificação e os nomes das constelações diferem bastante entre os povos indígenas e são ligados a histórias e relatos diversos. Muitas dessas constelações ajudam a marcar a passagem do tempo e organizar tarefas cotidianas, como o plantio e a colheita, permitindo, por exemplo, se precaver para períodos de seca ou de chuvas intensas.

Os povos indígenas falantes de tupi-guarani identificavam no céu constelações diferentes das que a Astronomia científica atual reconhece. Uma delas é a constelação da Ema (Guirá Nhandu), que engloba algumas estrelas pertencentes a constelações estabelecidas pela Astronomia, como a do Escorpião e a do Cruzeiro do Sul. O Cruzeiro do Sul é identificado como um galho ou forquilha que impede a cabeça da ema de baixar seu bico e beber as águas do mundo. As duas estrelas maiores no pescoço da ema (Alfa Centauri, ou Rigel Kentaurus, e Beta Centauri) são ovos que ela está engolindo.


Germano Afonso/UFPR
Germano Afonso/UFPR

Constelações do Homem Velho e da Ema, segundo a visão dos povos falantes de tupi-guarani. Imagens de 2005.

O Guirá Nhandu surge totalmente ao anoitecer no lado leste do céu, a partir da segunda quinzena de junho, indicando, para os indígenas do sul do Brasil, a chegada do inverno; para os indígenas do norte, é o início da estação seca. Desse modo, os povos que reconheciam a constelação da Ema conseguiam organizar suas atividades antecipando-se a essas estações.

A diversidade de relatos e registros das diferentes culturas ancestrais que permanecem em saberes indígenas de hoje mostra que não há uma visão unificada sobre fenômenos naturais e conceitos astronômicos. O estudo dos modelos cosmogônicos desenvolvidos por diferentes culturas ajuda a compreender o pensamento, o modo de vida e a riqueza cultural desses povos. Paralelamente a esses saberes, os modelos que buscaram explicações científicas para os mesmos fatos observados criaram as bases para as discussões que deram origem à Astronomia moderna. A seguir, são apresentados três desses modelos: o aristotélico, o ptolomaico e o copernicano.

Astronomia Cultural ou Etnoastronomia

O reconhecimento da diversidade cultural nos estudos sobre o Universo e o respeito pelas importantes contribuições dos saberes tradicionais levaram à criação de um novo campo de pesquisa, a Astronomia Cultural ou Etnoastronomia.

Em 2005, a Unesco, agência especializada da Organização das Nações Unidas, aprovou uma iniciativa reconhecendo a relevância das construções culturais ligadas à Astronomia. Em 2010, a União Astronômica Internacional, órgão que congrega astrônomos e astrônomas do mundo todo, dedicou uma edição inteira de sua revista à Astronomia Cultural.

DE OLHO NO CONCEITO

Constelações

Antigamente, a ciência considerava constelações grupamentos de estrelas, que, interligadas, formavam certos desenhos arbitrariamente definidos, como "Órion, o Caçador", por exemplo, seguindo a antiga tradição grega e de outros povos antigos. Qualquer outro desenho formado arbitrariamente era chamado de "asterismo" e não era considerado constelação. Um exemplo bastante conhecido é "O arado", um asterismo formado por algumas estrelas pertencentes à constelação da Ursa Maior. Em 1929, a Sociedade Astronômica Internacional decidiu, em reunião oficial, dividir a esfera celeste em 88 setores formando um mosaico com cada pedaço se encaixando a outros. Essa é a definição atual de constelação: um setor do céu, com coordenadas rigidamente definidas, formado pelos objetos celestes presentes nesse espaço. Assim, a constelação de Órion atualmente contém todas as estrelas que formavam a figura do caçador, mais os bilhões de objetos celestes identificáveis nesse setor, e assim por diante.

ROTEIRO

1. Durante muito tempo, a Astronomia científica considerou constelações apenas os desenhos imaginários oriundos das observações dos gregos antigos e alguns outros arranjos de estrelas que foram sendo adicionados ao longo do tempo. Qualquer outro agrupamento ou parte de constelação observada separadamente eram chamados de asterismos. Um asterismo bastante conhecido são as Três Marias, que são parte da chamada constelação de Órion.

- Você conhece as Três Marias? A diferenciação entre constelações e asterismos ainda faz sentido nos dias atuais? Justifique.

1. Resposta pessoal. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

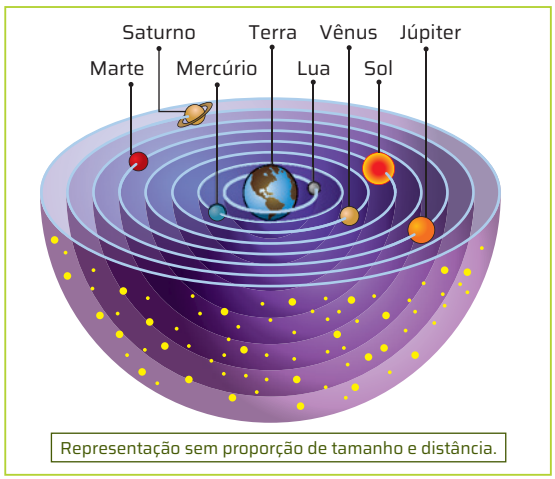
MODELO ARISTOTÉLICO

Na Grécia Antiga, o filósofo Aristóteles de Estagira (384 a.C.-322 a.C.) elaborou seu modelo introduzindo aperfeiçoamentos no modelo de outro grande filósofo que o precedeu, Eudoxo de Cnido (408 a.C.-347 a.C.). O modelo aristotélico é chamado **geocêntrico**, pois nele a Terra estaria imóvel, fixa, no centro do Universo. Esferas transparentes e concêntricas conteriam a Lua e os planetas conhecidos na época, cada um em uma esfera. Essas esferas realizariam rotações uniformes, de modo que as trajetórias dos planetas transportados por elas seriam perfeitamente circulares.

Esse Universo, fixo e imutável, seria delimitado por uma última esfera, o firmamento, no qual estariam as estrelas fixas, e o movimento dessa esfera seria transferido às esferas internas, originando todos os demais movimentos. Para além do firmamento, nada haveria: nenhum tipo de movimento, nem tempo, nem espaço.

O aspecto filosófico mais importante desse modelo reside na separação do cosmo em duas partes. Uma delas seria a morada humana, composta de terra, água, ar e fogo e envolta em uma atmosfera imperfeita, que se estenderia até a esfera lunar. Acima da esfera lunar, estaria a parte celeste, constituída de um outro elemento: o éter. Os movimentos existentes nessa parte do cosmo seriam circulares e uniformes, em verdadeira perfeição.

Pelas observações do céu, sabia-se que, em determinados momentos, as trajetórias de alguns dos planetas ao redor da Terra pareciam retroceder. Para explicar esse aparente movimento retrógrado, Aristóteles atribuía, a cada uma das esferas que continham os planetas, movimentos de rotação distintos e simultâneos, em torno de diferentes eixos e com diferentes velocidades.



AMj Studio/ID/BR

Representação simplificada do modelo cosmológico de Aristóteles. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Rioga, L. Geocentrismo e heliocentrismo. Espaço do conhecimento - UFMG, 2 fev. 2021. Disponível em: https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/geocentrismo-e-heliocentrismo/#:~:text=Arist%C3%B3teles%2C%20por%20volta%20de%20350,a%20quarta%20esfera%3A%20oo%20Sol. Acesso em: 10 out. 2024.

Tunc Tezel/NASA

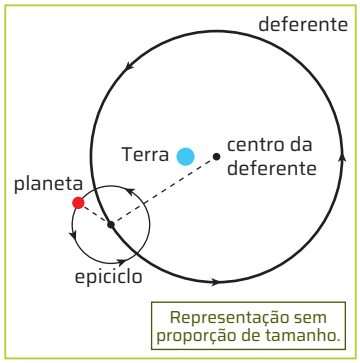
Movimento retrógrado de Marte. A imagem acima foi obtida pela sobreposição de fotos registradas em 29 datas diferentes.

MODELO PTOLOMAICO

O astrônomo egípcio de ascendência grega Cláudio Ptolomeu (c. 100 d.C.-c. 170 d.C.) é responsável pelo modelo geocêntrico que melhor explica o movimento retrógrado dos planetas. Segundo esse modelo, a Terra não estaria exatamente no centro do Universo, como nos modelos anteriores. O esquema ao lado representa o movimento de um planeta no modelo ptolomaico.

As concepções de Ptolomeu a respeito do Universo perduraram pelos catorze séculos seguintes. O modelo ptolomaico representou o ápice da cosmologia grega e predominou ao longo dos séculos como o modelo aceito de Universo, sendo usado como base nas explicações dos dados observacionais. Assim, o geocentrismo, com suas variações, prevaleceu por cerca de dezoito séculos.

ID/BR



O planeta gira em torno de um ponto, descrevendo uma circunferência chamada epiciclo. O centro do epiciclo gira em torno de outro ponto, descrevendo uma circunferência maior, chamada deferente. A Terra está imóvel, próxima do centro da deferente. Cores-fantasia.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Os grandes cosmólogos da Antiguidade

Hiparco de Niceia [...] no ano de 134 a.C. detectou o surgimento de uma nova estrela na constelação de Escorpião. Esta estrela aumentou seu brilho rapidamente e, passado algum tempo, desapareceu e nunca mais foi vista. [...].

Delbem, N. F. *Introdução matemática aos modelos cosmológicos*. 2010. 144 p. Dissertação (Mestrado em Matemática Universitária) – Unesp, Rio Claro, 2010. p. 24. Disponível em: http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94340/delbem_nf_me_rcla.pdf?sequence51. Acesso em: 17 jul. 2024.

1. **O relato é favorável ou contrário à hipótese aristotélica de Universo perfeito e imutável?** **1.** É contrário, já que o surgimento e o desaparecimento de uma estrela mostram que o Universo não é imutável.
2. **Pode-se dizer que esse relato representa uma evidência concreta de que o Universo tem um processo dinâmico de evolução?** Sim. O desaparecimento de uma estrela mostra que o Universo está em evolução.

Astronomia indígena

Não escreva no livro.

MODELO COPERNICANO

Em 1497, o monge polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), após ter lido o *Almagesto* (nome em árabe pelo qual ficou conhecida a obra *O grande tratado*, de Ptolomeu), entrou em contato com um dos modelos mais antigos de sistema cosmológico **heliocêntrico**: o do astrônomo e matemático grego Aristarco de Samos (c. 310 a.C.-c. 230 a.C.). Segundo Aristarco, o Sol ocuparia a posição central do sistema, e todos os planetas, incluindo a Terra, girariam em órbitas circulares perfeitas ao seu redor.

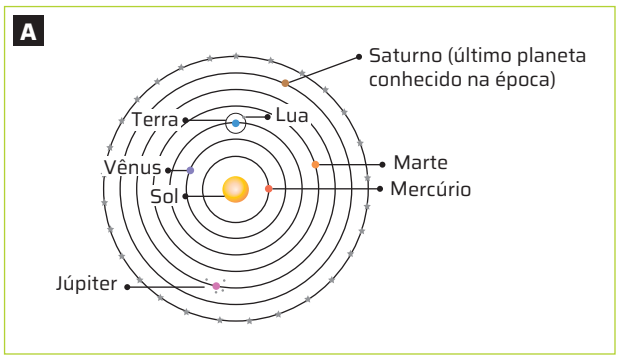
Simpático às ideias gregas de perfeição, Copérnico viu no modelo de Aristarco uma possibilidade de voltar às trajetórias circulares perfeitas em torno de um corpo central. Além disso, percebeu que, com base nele, poderia explicar algumas de suas próprias observações astronômicas. Copérnico desenvolveu, então, a tese de que a Terra e os demais corpos giravam ao redor do Sol em trajetórias circulares, contidos em esferas que ele denominou **orbes**, e apenas a Lua se moveria ao redor da Terra (imagem **A**). Para explicar algumas imprecisões na observação das trajetórias de certos planetas em seu modelo, Copérnico se viu obrigado a considerar pequenos epiciclos. De qualquer modo, seu modelo permite uma explicação mais simples e mais precisa para o movimento retrógrado dos planetas (imagens **B** e **C**): os planetas se movem em diferentes velocidades e, quando observados da Terra – que também se move –, em determinadas épocas aparentemente apresentam movimento retrógrado.

O modelo copernicano também possibilitou uma explicação simples e coerente de outras observações celestes:

- Os orbes de Vênus e Mercúrio estariam entre o orbe da Terra e o Sol, de modo que os dois planetas, Vênus e Mercúrio, seriam sempre observados mais próximos ao Sol (planetas interiores).
- Os orbes de Marte, Júpiter e Saturno estariam mais distantes do Sol que o orbe da Terra, o que explicaria as visualizações desses planetas em oposição ao Sol (planetas exteriores).

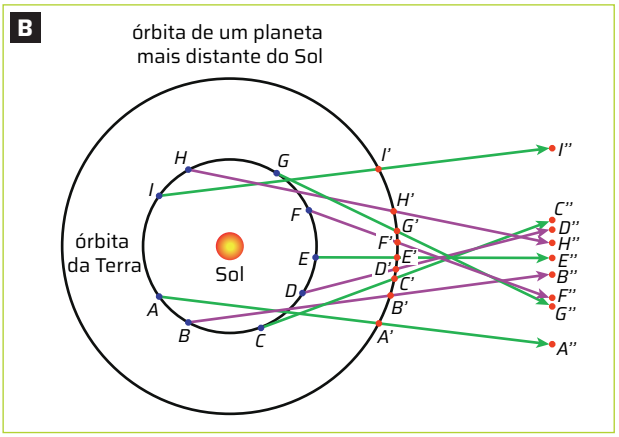
Ao colocar a Terra em posição secundária no Universo, Copérnico contrariava as firmes crenças da época.

D/BR

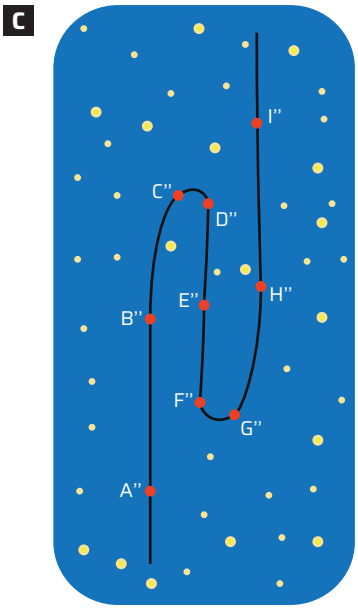


Modelo heliocêntrico de Copérnico, no qual o Sol é o centro do Universo e os demais astros giram ao seu redor com velocidades diferentes. Como nos modelos anteriores, o último círculo representa a esfera das estrelas fixas. Cores-fantasia.

ID/BR



ID/BR



Representações sem proporção de tamanho e distância.

Movimento retrógrado de um planeta com órbita externa à da Terra. (**B**) Posições reais do planeta e da Terra nas respectivas órbitas. (**C**) Posições aparentes do planeta externo como visto da Terra. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Filho, K. S. O.; Saraiva, M. F. O. Movimento dos planetas. *In: Astronomia e Astrofísica*. Porto Alegre: Instituto de Física, 2006. Disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm. Acesso em: 10 out. 2024.

Galileu e a defesa do modelo copernicano

As ideias de Copérnico não obtiveram aceitação fácil e imediata, mas despertaram o interesse de pensadores que, com suas contribuições, consolidariam as bases de uma nova forma de ver e de explicar o mundo físico, dos fenômenos terrestres ao modelo de Universo.

Entre tais pensadores, destaca-se o físico e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642), que era adepto do experimentalismo e, frequentemente, fazia uso desse recurso em seus estudos. Um dos principais feitos atribuídos a Galileu foram as observações celestes que realizou com o uso da luneta, e, apesar de não ser o primeiro a fazê-lo, foi o primeiro a descrever com detalhes o que viu. Ele observou os satélites de Júpiter, e suas conclusões fortaleciam o modelo copernicano. Elas seriam a prova de que nem todos os corpos celestes giram em torno de um único objeto privilegiado (a Terra ou o Sol), mas que haveria outros centros, à semelhança de Júpiter e seus satélites. Galileu também constatou que a Via Láctea – anteriormente vista como uma mancha luminosa no céu – era, na verdade, composta de um grande número de estrelas, das quais a maioria não pode ser vista a olho nu.

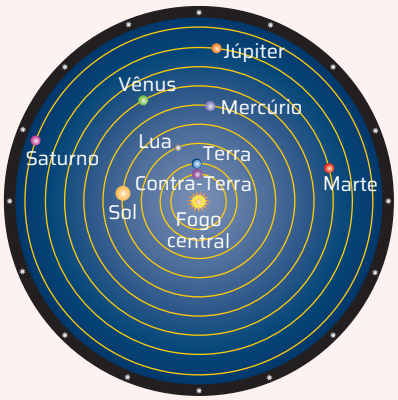
ATIVIDADE RESOLVIDA

As imagens a seguir (em cores-fantasia) apresentam três modelos propostos pelos gregos antigos. Elas ilustram algumas concepções acerca do Universo de determinadas épocas e de diferentes escolas de pensamento. Após observação e análise, identifique:

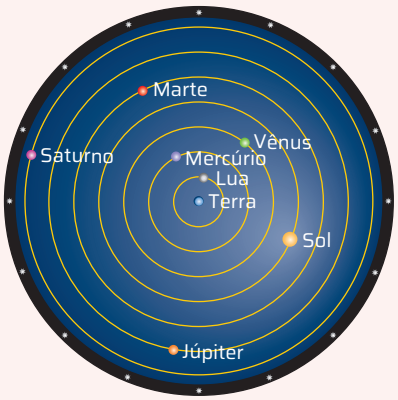
a) pontos comuns entre os modelos;

b) pontos específicos de cada modelo.

Modelo de Filolau e da escola pitagórica de Samos (século VI a.C.)



Modelo de Aristóteles de Estagira (século IV a.C.)



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Modelo de Aristarco de Samos (século IV a.C.)

Representações sem proporção de tamanho e distância.

Setup/Bureau/ID/BR

Resolução

a) **Pontos comuns**

- Trajetórias circulares dos corpos celestes fixos em esferas concêntricas.
- Esfera mais externa composta de estrelas fixas.
- Os três modelos de Universo baseiam-se na ideia de um corpo central.

b) **Pontos específicos**

- Modelo de Filolau e da escola pitagórica: um fogo central seria a origem da força misteriosa que move o mundo. Uma "Contra-Terra" ajudaria a compor um Universo com dez esferas, número místico para os pitagóricos.
- Modelo de Aristóteles: a Terra é o corpo central (modelo geocêntrico), e todos os demais corpos giram em torno dela.
- Modelo de Aristarco: o Sol é o corpo central do Universo (modelo heliocêntrico). A Lua gira em torno da Terra.

2. Espera-se que os estudantes respondam:
a) modelo de Aristóteles.
b) modelo de Aristarco de Samos.

ROTEIRO

2. Observe novamente os modelos de Universo apresentados na atividade resolvida e identifique, entre eles, qual apresenta maior semelhança com:

a) o modelo de Ptolomeu;

b) o modelo de Copérnico.

Não escreva no livro.

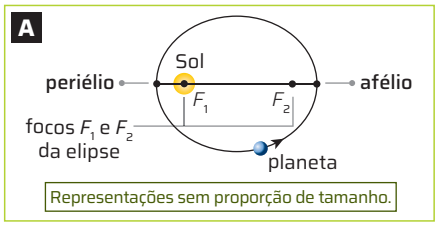
LEIS DO MOVIMENTO PLANETÁRIO

Em 1600, o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) correspondeu-se com o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), solicitando-lhe dados astronômicos. Conhecendo a reputação de Kepler como exímio matemático, Brahe o convidou para trabalhar em seu observatório, relação que durou pouco, pois Brahe morreu em 1601. A qualidade dos dados deixados por Brahe, associada à habilidade matemática e à determinação do pesquisador, levou Kepler às três leis que descrevem o movimento planetário.

Primeira lei de Kepler: a lei das órbitas elípticas

A trajetória de cada planeta em torno do Sol é elíptica, e o Sol ocupa um dos focos de cada elipse.

A imagem **A** representa essa lei. O Sol tem importante papel na configuração dessa trajetória. Como seria explicado mais tarde por Isaac Newton, a atração existente entre o Sol e os outros astros determina que um planeta na órbita do Sol aumente a velocidade conforme se aproxima dele, atingindo o valor máximo na posição mais próxima dessa estrela (**periélio**); e diminua a velocidade conforme se afasta, atingindo o valor mínimo na posição mais afastada (**afélio**).



Representação da primeira lei de Kepler. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Leis de Kepler. Instituto de Física UFRGS, [20--]. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Diomar/kepler.html. Acesso em: 10 out. 2024.

Segunda lei de Kepler: a lei das áreas

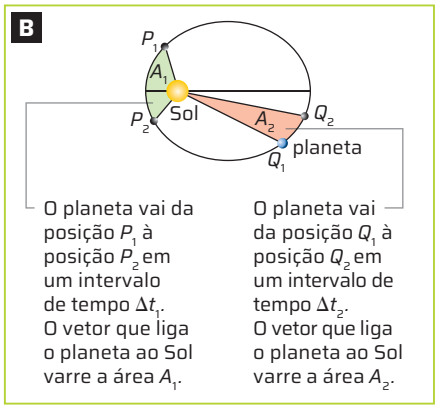
O vetor que liga o Sol a um planeta sempre varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

A intensidade da velocidade aumenta no trecho que vai do afélio ao periélio e diminui no trecho que vai do periélio ao afélio (imagem **B**). No entanto, as áreas varridas pelo vetor que une o Sol ao planeta são proporcionais ao intervalo de tempo em que tais áreas são varridas:

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2}$$

Se o intervalo de tempo de que o planeta necessita para ir da posição P_1 à posição P_2 de sua trajetória for igual ao intervalo de tempo necessário para o planeta ir da posição Q_1 à posição Q_2, então as áreas A_1 e A_2 são iguais. Assim, podemos escrever:

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \Rightarrow A_1 = A_2$$



Representação da segunda lei de Kepler. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Leis de Kepler. Instituto de Física UFRGS, [20--]. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Diomar/kepler.html. Acesso em: 10 out. 2024.

Terceira lei de Kepler: a lei dos períodos

Kepler também obteve uma relação entre o período de translação (T) e a medida do semieixo maior (a) da trajetória elíptica de um planeta. Ele constatou que o quadrado do período e o cubo da medida do semieixo maior eram proporcionais. Tal relação pode ser expressa da seguinte maneira:

$$T^2 = k \cdot a^3$$

Nessa expressão, conhecida como terceira lei de Kepler, k é uma constante de proporcionalidade cujo valor depende da massa do corpo central e do sistema de unidades adotado, entre outros.

O enunciado dessa expressão é:

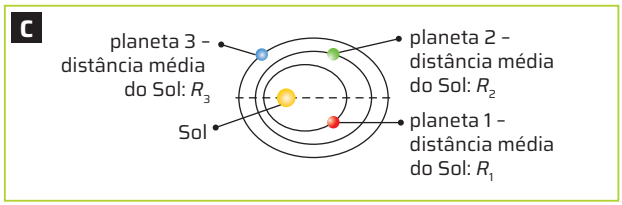
O quadrado do período de translação de um planeta em torno do Sol é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.

Considere três planetas, P_1, P_2 e P_3, orbitando o Sol, como mostra a imagem **C**. Sendo o período do movimento de translação de cada planeta igual a T_1, T_2 e T_3, respectivamente, de acordo com a terceira lei de Kepler, temos:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3}$$

As elipses das órbitas da maioria dos planetas do Sistema Solar são aproximadamente circulares, de modo que o semieixo maior pode ser considerado aproximadamente igual ao raio médio da órbita (R).

ID/BR



Representação sem proporção de tamanho.

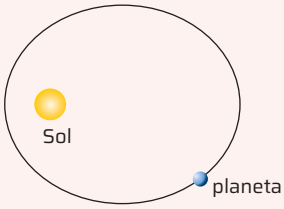
Representação de três planetas em órbita do Sol. Cores-fantasia.

É importante salientar dois fatos relacionados às leis de Kepler para o movimento planetário:

- Essas leis também podem ser aplicadas na descrição de movimentos de asteroides, satélites e de outros corpos que orbitem astros.
- Essas leis fornecem apenas descrições matemáticas do movimento dos planetas, não explicando as causas desses movimentos. Apesar disso, o trabalho de Kepler abriu caminho para que, quase oitenta anos depois, Newton formulasse a **lei da gravitação universal**, que explica a atração entre corpos dotados de massa.

ATIVIDADE RESOLVIDA

A figura ao lado (fora de escala e em cores-fantasia) mostra a trajetória de um planeta ao redor do Sol.



Setup Bureau/ID/BR

a) Escreva o nome que se dá à curva que representa essa trajetória.

b) Determine o ponto geométrico da curva do qual o Sol está mais próximo.

c) Faça um esquema localizando os pontos denominados afélio e periélio e descreva o que ocorre com a velocidade do planeta nesses pontos.

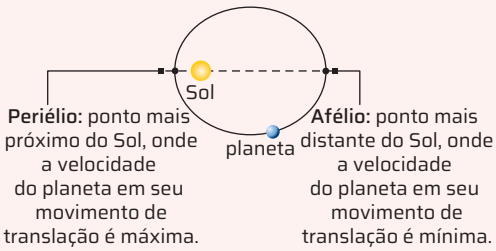
d) Descreva o movimento do planeta em toda a extensão de sua trajetória.

Resolução

a) Essa curva é chamada elipse.

b) Toda elipse tem dois pontos denominados focos. O Sol está em um desses focos.

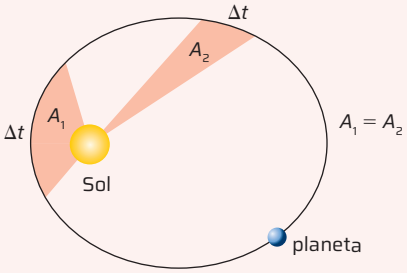
c)



Setup Bureau/ID/BR

d) O movimento do planeta em sua órbita ao redor do Sol tem duas fases distintas: (1) do afélio ao periélio, quando o movimento é acelerado, e a velocidade do planeta aumenta gradativamente até atingir o máximo valor ao chegar ao periélio; (2) do periélio ao afélio, quando o movimento é retardado, e a velocidade do planeta diminui gradativamente até chegar ao afélio.

Representações sem proporção de tamanho.



Setup Bureau/ID/BR

Não escreva no livro.

Exploração espacial virtual

Berni0004/Shutterstock.com/ID/BR

Exploração virtual do espaço e de outros planetas.

Com o desenvolvimento da tecnologia e das ferramentas digitais, atualmente é possível explorar o espaço e o Universo sem ser astronauta nem precisar de equipamentos sofisticados ou veículos espaciais e até sem sair de casa.

Há diversos aplicativos que permitem conhecer detalhes da Terra, do Sistema Solar e de diversos corpos celestes, como outros planetas e suas luas, o Sol e outras estrelas, cometas, asteroides e até mesmo buracos negros.

Além de visitas virtuais a esses corpos celestes e o acesso a diversas informações a respeito deles, alguns aplicativos possibilitam fazer simulações, observar a órbita de determinado planeta, acrescentar a órbita de suas luas, acompanhar sua velocidade em torno do Sol, entre outros recursos.

Nesta atividade, você e os colegas vão pesquisar na internet um aplicativo ou um simulador digital que permita realizar uma exploração virtual do espaço.

Se necessário, peçam ajuda ao/à professor(a) para encontrar esse aplicativo.

Material

- dispositivo com acesso à internet
- caderno para anotações

Como fazer

1. Espera-se que os estudantes percebam a diferença entre os formatos das órbitas, bem como a alteração de velocidade ao longo da órbita.
2. Espera-se que os estudantes percebam que a velocidade pode ser exibida por um vetor e que esse vetor, ao longo da trajetória, vai mudando de tamanho.
3. Os estudantes devem perceber que Vênus é o planeta com a trajetória mais próxima de uma circunferência. A órbita da Terra também é bastante circular e é por essa razão que, em geral, consideramos uma circunferência quando tratamos do movimento da Terra em torno do Sol.
4. Resposta pessoal. A descrição vai depender dos objetos visitados.

1. Pesquise na internet um aplicativo que simule as órbitas dos planetas do Sistema Solar. Escolha três planetas, além da Terra, e acompanhe suas órbitas, observando os diferentes parâmetros disponibilizados pelo aplicativo, como velocidade orbital e distância do planeta ao Sol, formato da órbita, quantidade de luas, entre outros.
2. Agora, pesquise um aplicativo do tipo planetário virtual que permita simular uma visita a corpos do Sistema Solar e a outros externos a ele, como o programa Stellarium, disponível em: https://stellariumweb.org/ (acesso em: 18 jul. 2024). O aplicativo que você pesquisou na etapa **1** também pode ser utilizado, caso tenha essa função. Procure, então, por:
   - um grande asteroide pertencente ao Sistema Solar;
   - um cometa;
   - um planeta com anéis;
   - um sistema binário de estrelas;
   - um exoplaneta;
   - um pulsar.

5. Espera-se que os estudantes respondam que a nomenclatura "exoplaneta" se aplica a planetas identificados fora do Sistema Solar. Resposta pessoal.
6. Espera-se que os estudantes respondam que sistemas binários são compostos de duas estrelas que orbitam um ponto em comum, denominado centro de massa do sistema. Sim, há sistemas binários que têm ao menos um planeta. Resposta pessoal.

Para concluir

1 **O que você percebeu de diferente nos movimentos dos quatro planetas que observou?**

2 **A velocidade de cada planeta permaneceu constante durante o movimento orbital? Como isso é mostrado na simulação?**

3 **Há algum planeta cuja órbita possa ser considerada circular? Se sim, qual(is)? Se as órbitas dos planetas fossem todas circulares, como seria o comportamento da velocidade deles?**

4 **Escreva no caderno, de forma simplificada, as características de cada corpo celeste visitado.**

5 **Pesquise e responda: O que é um exoplaneta? Você observou algum na visita virtual? Comente.**

6 **Pesquise e responda: O que são sistemas binários? Existem planetas em sistemas binários? Você observou algum sistema binário na visita virtual?**

7 **Em sua opinião, o uso de simuladores e/ou de *softwares* em Astronomia pode ajudar no aprendizado dessa ciência? Comente com os colegas.** Resposta pessoal. O objetivo desta questão é promover o uso de tecnologias digitais interativas como ferramenta de aprendizagem, a fim de tornar as aulas mais dinâmicas, motivar os estudantes na construção individual e coletiva dos conceitos apresentados e enfatizar a aprendizagem significativa.

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

O físico Isaac Newton deu continuidade aos estudos de Kepler a respeito da influência exercida pelo Sol sobre os planetas que o orbitam.

Em sua análise, Newton afirmou que seria necessária uma força agindo sobre um planeta para que ele se movesse em órbita elíptica, o que é coerente com sua lei da inércia. Com base nas ideias de outros cientistas que o precederam, Newton concluiu que o Sol deveria ser o responsável por essa força.

Segundo ele, essa força seria do tipo atrativa e estaria relacionada com a massa dos corpos envolvidos – nesse caso, o Sol e o planeta. Assim, essa força de atração, denominada **força gravitacional**, constituiria um par de forças do tipo ação e reação.

Em sua obra *Princípios matemáticos da filosofia natural*, publicada em 1687, Newton apresentou a **lei da gravitação universal**, na qual afirmava que a força gravitacional entre dois corpos diminuía com o quadrado da distância entre eles, ocorria em todos os corpos dotados de massa e que ela era proporcional à massa de ambos os corpos que interagiam.

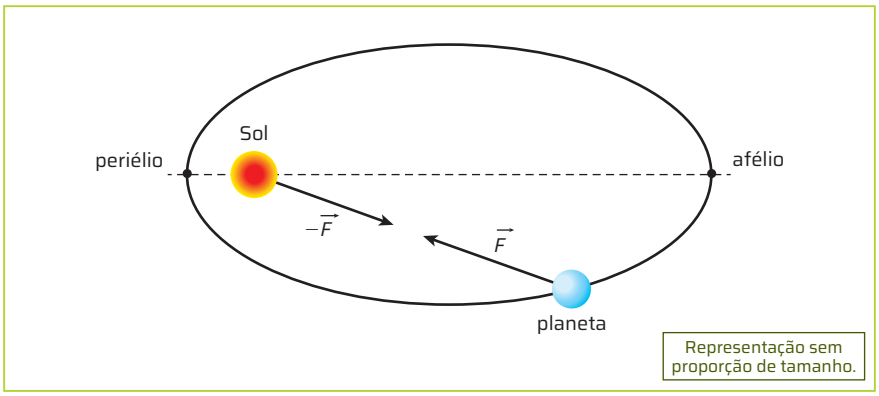
A lei da gravitação universal pode ser assim enunciada:

> Dois corpos dotados de massa se atraem mutuamente. A intensidade da força atrativa é diretamente proporcional às massas deles e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre ambos.

ROTEIRO

3. Debata com um colega a seguinte questão: Em que lugar da Terra uma pessoa não teria peso?

Considerando uma distribuição simétrica da massa, o ponto em que a força gravitacional resultante é nula é no centro da Terra.



AMj Studio/ID/BR

Por terem massa, o Sol e o planeta que o orbita aplicam forças mútuas de atração. Essas forças têm intensidade variável de acordo com a distância entre os corpos, de modo que o planeta é atraído mais intensamente quando está no periélio e menos quando está no afélio. Cores-fantasia.

Matematicamente, escrevemos:

$$F_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2}$$

Nessa equação, M e m são as massas dos corpos que se atraem, d é a distância entre os centros dos corpos, e G é a **constante da gravitação universal**, cujo valor em unidades do SI é $G \cong 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

A força gravitacional atua entre quaisquer dois corpos de massa que se encontram a uma certa distância entre si. É uma força de campo, que surge das interações entre os corpos que estão próximos.

Entretanto, essa força não tem intensidade significativa no caso de interações entre corpos de massa pequena que lidamos no nosso cotidiano, como interações entre veículos, pessoas e em outras situações. O valor da constante da gravitação universal G, é da ordem de 10^{-12}, valor muito pequeno. Portanto, apenas em interações envolvendo massas grandes, como a massa de um planeta, é que a força gravitacional deixa de ter um valor desprezível.

PARA EXPLORAR

Leia

***Newton e a gravidade em 90 minutos*, de Paul Strathern. Tradução: Maia Helena Geordane. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.**

O livro narra fatos da vida e as principais descobertas de Isaac Newton, que não apenas formulou a lei da gravidade, mas também desenvolveu o conceito de força, desvendou a natureza da luz e colaborou para o desenvolvimento de muitos métodos de cálculos, entre tantas outras contribuições para a ciência.

Não escreva no livro.

Relação entre *g* e *G*

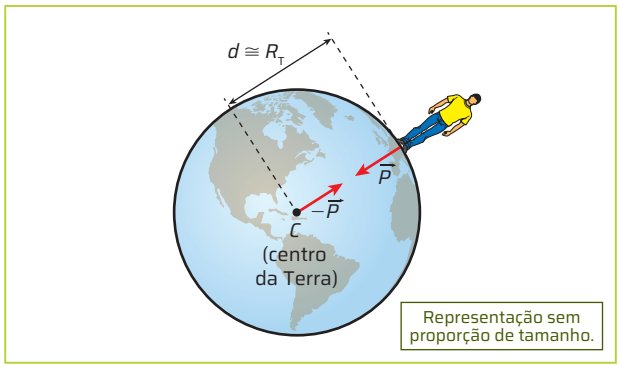
Quando um corpo se encontra próximo à Terra em contato, ou não, com sua superfície, ocorre atração gravitacional entre ambos. Pensando apenas na ação da Terra, pode-se dizer que ela atrai tudo o que tenha massa e que esteja próximo a ela. Essa força de atração a distância se deve à existência, em torno da Terra, do que chamamos **campo gravitacional**.

Quando um corpo está próximo à superfície terrestre, a força gravitacional aplicada pela Terra sobre o corpo é chamada **peso**. Assim, considerando que o peso e a força gravitacional representam a mesma atração exercida pela Terra sobre o corpo, podemos escrever:

$$P = F_G \Rightarrow m_c \cdot g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow \boxed{g = \frac{G \cdot M_T}{d^2}}$$

Nessa equação, m_c é a massa do corpo, M_T é a massa da Terra, g é a aceleração da gravidade no ponto em que se encontra o corpo, G é a constante da gravitação universal, e d é a distância entre o corpo e o centro da Terra.

O esquema a seguir (em cores-fantasia) mostra o cálculo da aceleração da gravidade na superfície da Terra (g_0).



AMj Studio/ID/BR

No caso da superfície da Terra, em que $M_T \cong 6 \cdot 10^{24}$ kg, $R_T \cong 6{,}4 \cdot 10^6$ m e $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m² · kg⁻², temos:

$$g_0 = \frac{G \cdot M_t}{R_T^2} \Rightarrow g_0 \cong \frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(6{,}4 \cdot 10^6)^2} \Rightarrow g_0 \cong 9{,}8 \text{ m/s}^2$$

Observe que a aceleração da gravidade depende apenas da massa M da Terra, e não da massa m do corpo. Galileu já havia chegado qualitativamente a uma conclusão semelhante ao comprovar que, mesmo tendo massas diferentes, os corpos apresentavam a mesma aceleração da gravidade, caindo simultaneamente da mesma altura e chegando juntos ao solo, desprezando-se a resistência do ar.

Apesar de a massa da Terra ser constante, g varia com o quadrado da distância d. Quanto mais afastado o corpo do centro da Terra, menor o valor da aceleração da gravidade.

A tabela a seguir mostra alguns valores da aceleração g para determinadas altitudes (h) em relação ao nível do mar e à latitude de 45°.

Variação de *g* com a altitude					
Altitude (km)	0	20	60	100	200
g (m/s²)	9,81	9,75	9,63	9,51	9,22

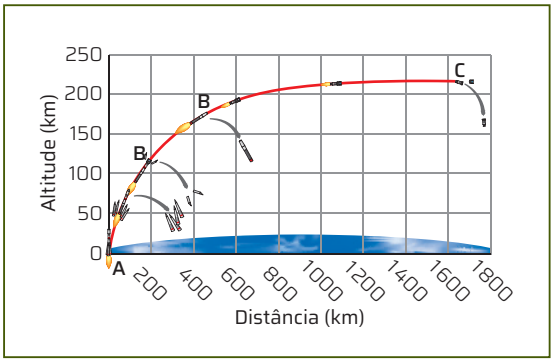
MOVIMENTO DOS SATÉLITES ARTIFICIAIS

O alcance dos estudos de Kepler e de Newton é significativo: suas leis são capazes de explicar desde o comportamento dos planetas em torno do Sol até o comportamento dos satélites artificiais, como os **geoestacionários**. Esses satélites apresentam órbita circular equatorial a uma distância aproximada de 35 900 km da superfície, de modo que seu período de revolução é exatamente igual e sincronizado com o período rotacional da Terra; dessa forma, eles permanecem fixos em relação a determinado ponto na superfície da Terra.

Velocidade orbital

Os satélites são lançados e posicionados no espaço com o auxílio de foguetes, que os elevam até a altitude necessária e lhes dão a velocidade tangencial (ou velocidade horizontal) à trajetória circular do satélite em torno da Terra. O esquema a seguir (em cores-fantasia) mostra, de maneira simplificada, um lançamento de foguete.

AMj Studio/ID/BR



A – Lançamento: Com os tanques cheios de combustível, o foguete é lançado transportando o satélite que será colocado em órbita.
B – Estágios intermediários: O foguete ganha altitude, curvando sua trajetória, enquanto o módulo da velocidade aumenta. Durante a subida, partes que vão se tornando desnecessárias, como os tanques vazios, são descartadas.
C – Finalização: Ao atingir a altitude e a velocidade programadas, o satélite é liberado, iniciando sua órbita em torno da Terra.

Fonte de pesquisa: European Space Agency (ESA). Disponível em: https://sci.esa.int/sci-images/c7/22631.jpg. Acesso em: 18 jul. 2024.

Para calcular a velocidade necessária para o satélite atingir determinada órbita e permanecer nela, considere que, durante seu movimento, a atração gravitacional entre a Terra e o satélite é a única força que agirá sobre ele, uma vez que as demais forças que atuam sobre ele podem ser consideradas desprezíveis. Essa força de atração pode ser calculada pela lei da gravitação universal e é do tipo centrípeta para órbitas praticamente circulares. Assim, obtemos:

$$F_G = F_{cp} \Rightarrow \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} = \frac{m \cdot v^2}{d}$$

Nessa equação, m é a massa do satélite e d é o raio de sua órbita (lembre-se de que $d = R + h$, sendo R o raio da Terra e h, a altitude em relação ao nível do mar). Assim, temos:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$

Note que essa velocidade não depende da massa do satélite.

Velocidade de escape

Quanto maior for a velocidade de lançamento de um corpo, mais distante da Terra ele poderá ser levado para que seja colocado em órbita. Uma vez posicionado, se sua órbita tiver um raio maior, a atração gravitacional será proporcionalmente menor. Há uma velocidade de lançamento que ocasiona o afastamento do corpo até uma região em que a gravidade, embora continue atuando sobre ele, não é capaz de impedir seu afastamento. Essa velocidade é chamada **velocidade de escape**, definida a seguir.

Velocidade de escape é aquela capaz de liberar um corpo da atração gravitacional a que está submetido, permitindo que ele se afaste indefinidamente.

O cálculo do valor da velocidade de escape envolve o conceito de conservação de energia, pois essa velocidade deve fornecer ao corpo energia cinética suficiente para livrá-lo completamente da atração gravitacional. Usando a expressão da energia potencial gravitacional, em que d representa a distância até o centro do planeta, podemos escrever:

$$E_{mec}^{Terra} = E_{mec}^{infinito} \Rightarrow E_{cin}^{Terra} + E_{pot}^{Terra} = E_{cin}^{infinito} + E_{pot}^{infinito} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{d} = 0 + 0 \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{G \cdot M \cdot m}{d}$$

Cancelando m (massa do corpo) e isolando v (velocidade de escape), temos a equação:

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{d}}$$

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

1. Tycho Brahe observou e catalogou milhares de estrelas, construiu um grande laboratório de Astronomia e elaborou mapas celestes, possibilitando descrições mais realistas das órbitas dos planetas. Johannes Kepler, estudando e aprofundando os dados de Brahe, chegou às três principais leis do movimento de astros em órbita, além de comprovar o modelo heliocêntrico.
4. Newton determinou as causas para os movimentos de órbitas elípticas dos planetas aplicando sua lei da gravitação universal, o que é possível verificar neste trecho do texto: "Esse feito foi realizado tempos depois por Isaac Newton, que aprofundou os estudos de Kepler".

BRAHE, KEPLER E A ÓRBITA DOS PLANETAS

Adoc-photos/Corbis/Getty Images

Gravura colorizada do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe.

A história da Astronomia é repleta de feitos atribuídos a brilhantes e incansáveis pesquisadores que se dedicaram a observar o céu e construir modelos que explicassem suas observações. Entre eles, o alemão Johannes Kepler merece destaque. Mas não se pode citá-lo sem mencionar o dinamarquês Tycho Brahe, que o antecedeu e foi seu mentor.

Ainda adolescente, Tycho Brahe ficou fascinado pela possibilidade de previsão exata das ocorrências dos eclipses do Sol. E, logo que começou a praticar suas observações celestes, percebeu como eram inexatas as previsões feitas por Ptolomeu. Em busca de registros mais realistas, durante vinte anos e com a máxima precisão possível para a época, Tycho observou e catalogou milhares de estrelas, empenhando-se para que seus assistentes e discípulos se comprometessem igualmente com esse trabalho. Construiu um grande laboratório em uma ilha entre a Alemanha e a Suécia, tendo procurado em toda a Europa os melhores instrumentos de Astronomia disponíveis e os aprimorado. Com os dados obtidos, elaborou mapas celestes que tornaram possível uma descrição mais realista das órbitas dos planetas. Apenas após a sua morte um de seus assistentes conseguiu alcançar essa descrição: o talentoso Johannes Kepler, grande conhecedor de Matemática.

Inicialmente, os estudos de Kepler não tiveram bons resultados e foram cercados de tentativas e erros, como seu método de observar as estrelas com um simples tubo de madeira suspenso por uma corda. Mas esse grande pensador abriria as portas da compreensão sobre o Sistema Solar, superando a teoria de Copérnico ao descobrir as leis que regem a órbita dos planetas e apresentando o caminho futuro para o estudo do espaço cósmico.

Dedicando a maior parte de sua vida a analisar os dados que seu mestre havia deixado sobre o movimento dos planetas, Kepler fez várias tentativas para comprovar a teoria de Tycho sobre a órbita circular. Testou 70 órbitas circulares, comparando todos os resultados obtidos com os dados deixados por Tycho. Usando cálculos matemáticos, chegou a um resultado aproximado, mas não ficou satisfeito. Continuou, então, procurando uma exatidão maior para os movimentos planetários, até que rejeitou as órbitas circulares, passando a experimentar a curva oval. Chegou, assim, à órbita elíptica, quando então pôde elaborar as leis que fizeram avançar a Astronomia. Esse feito foi realizado tempos depois por Isaac Newton, que aprofundou os estudos de Kepler.

Em seu livro *As harmonias do mundo*, Kepler escreveu: "Descobri entre os movimentos celestes a natureza plena da harmonia". Essa descoberta resultou no que hoje conhecemos como leis de Kepler.

Pictures From History/akg-images/Album/ Fotoarena

Gravura colorizada do alemão Johannes Kepler.

Fonte de pesquisa: Ferris, T. *O despertar na Via Láctea*: uma história da Astronomia. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1990. p. 37-55.

Para discutir

1 **No caderno, faça uma lista com as contribuições de Brahe e de Kepler para o estudo dos movimentos dos planetas.**

2 **O texto afirma que Kepler foi um talentoso assistente de Tycho Brahe. O fato de ser talentoso significava que Kepler nunca falhava? Justifique.** A suposição de que Kepler nunca falhava não é verdade; ele trabalhou de maneira árdua e precisa para conseguir interpretar a natureza dos movimentos celestes. As falhas que Kepler cometeu não diminuem seu talento.

3 **Kepler introduziu uma mudança fundamental na compreensão da órbita dos planetas. Identifique essa mudança e as razões para adotá-la.** A descoberta ou comprovação da órbita elíptica, pois as órbitas circulares de Tycho Brahe não se mostraram exatas após diversas tentativas de comprová-las.

4 **Em que medida é possível afirmar que os trabalhos de Newton complementaram o trabalho de Kepler? Utilize trechos do texto para dar sua resposta.**

5 **Thomas Edison (1847-1931), cientista estadunidense que tornou a lâmpada elétrica comercializável, disse em certa ocasião: "Genialidade é 1% inspiração e 99% transpiração". Encontre no texto pelo menos um aspecto que confirme essas palavras de Edison.** "[...] durante vinte anos [...], Tycho observou e catalogou milhares de estrelas [...]."; "Kepler fez várias tentativas para comprovar a teoria de Tycho [...]. Testou 70 órbitas circulares [...], mas não ficou satisfeito."

FÍSICA E GEOGRAFIA

DETRITOS ESPACIAIS: UM DESAFIO PARA A GEOPOLÍTICA AEROESPACIAL

Os avanços na exploração espacial desde o fim da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) e o desenvolvimento tecnológico e econômico impulsionaram os lançamentos de satélites, foguetes e sondas espaciais. Todo esse progresso proporcionou muitos benefícios para a sociedade, como o GPS; porém, está gerando um acúmulo de diversos detritos artificiais na órbita da Terra: partes de satélites, de foguetes, de espaçonaves e de outros recursos físicos utilizados na exploração espacial.

Christoph Burgstedt/SPL/Fotoarena

Ilustração de detritos orbitando a Terra. Cores-fantasia.

Esse cenário tem trazido desafios para a Física, demandando soluções tecnológicas, e também para a área de Geografia, com a necessidade de políticas internacionais para controlar e organizar o envio de novos equipamentos ao espaço e viabilizar projetos.

[...]

A Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (Nasa) e a Agência Espacial Europeia (ESA) estimam que existem pelo menos 175 milhões de objetos espaciais orbitando a Terra, com massa maior de 11,5 mil toneladas. A maior parte deles ronda a órbita baixa da Terra (LEO [Low Earth Orbit]), região do espaço a até dois mil quilômetros da superfície terrestre, mas uma porcentagem considerável de detritos também está presente na órbita geoestacionária da Terra (GEO [Geostationary Earth Orbit]), com cerca de 36 mil quilômetros a partir da superfície terrestre. Esses objetos viajam pelo espaço a uma velocidade de até 36 mil quilômetros por hora – cerca de dez vezes mais que uma bala de revólver – e aproximadamente 200 deles caem na Terra todo ano.

[...]

Lacuna jurídica

[...]

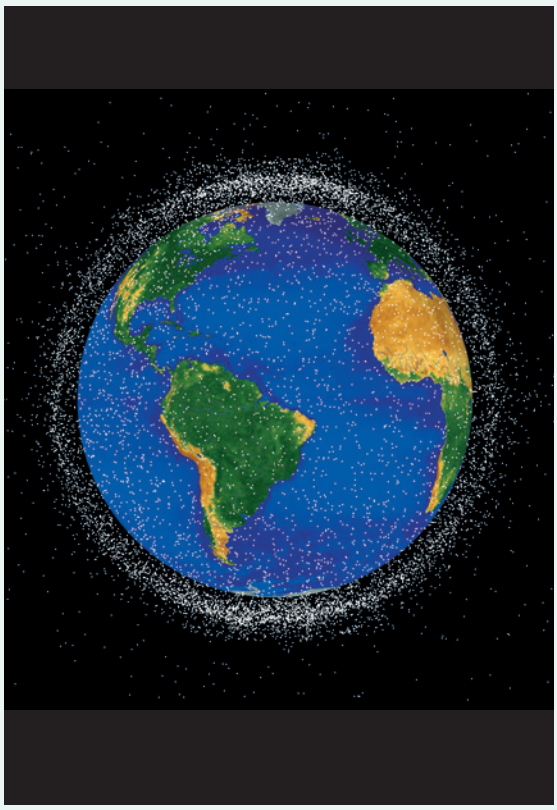
"Sobre detritos espaciais, o que se tem hoje são apenas diretrizes, códigos de conduta e recomendações, como o *Código europeu de conduta para diminuição de detritos espaciais*, as *Diretrizes de mitigação de detritos espaciais do Comitê Interagência para Coordenação de Detritos Espaciais (IADC)* e do Comitê das Nações Unidas para o Uso Pacífico do Espaço Exterior (Copuos) e a recente *Carta zero detritos*, mas nada obrigatório ou vinculante – e essa é a grande questão", afirma a analista em ciência e tecnologia sênior, chefe da Divisão de Extensão e Capacitação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e autora do livro *Um satélite para chamar de seu: ensaio sobre direito ambiental espacial*, Márcia Alvarenga dos Santos. [...]

Não escreva no livro.

Apesar de as regras não serem obrigatórias, Santos acredita que elas exercem papel importante no âmbito internacional. "O problema dos detritos espaciais sempre é debatido nas reuniões do subcomitê jurídico do Copuos, mas não chega a conceber um tratado, então os países acabam se apoiando em iniciativas paralelas e respeitando-as para continuar desenvolvendo atividades no espaço", defende. "Ao mesmo tempo, como o espaço sideral é um bem comum, essas iniciativas não são o melhor caminho, porque o ideal seria discutir isso comumente, entre todos, e chegar [a] um consenso". Atualmente, as atividades no espaço são regidas pelo Tratado do Espaço Sideral, de 1967, que não tem artigos específicos sobre detritos espaciais. [...]

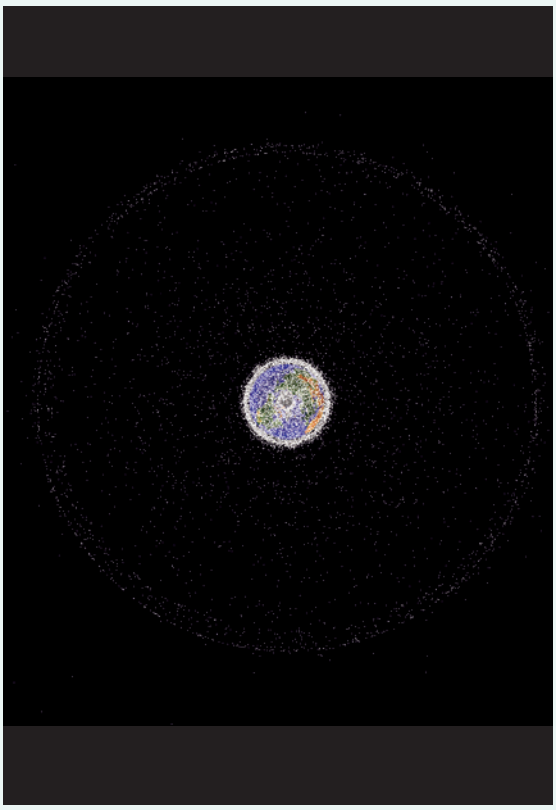
Ortiz, B. Detritos espaciais geram impactos à geopolítica aeroespacial. *ComCiência*, Dossiê 252 – Geopolítica espacial, Unicamp/SBPC, Campinas, maio 2024. Dossiê 252 – Geopolítica espacial. Disponível em: https://www.comciencia.br/detritos-espaciais-geram-impactos-a-geopolitica-aeroespacial/. Acesso em: 19 jul. 2024.

ODPO/NASA



Simulação de detritos orbitais ao redor da Terra mostrando a população de objetos na órbita baixa da Terra (LEO).

ODPO/NASA



Simulação de detritos orbitais ao redor da Terra mostrando a população de objetos na órbita geoestacionária (GEO).

Conecte as ideias

1 **Como a força gravitacional influencia a órbita dos detritos? Explique utilizando como exemplo as órbitas citadas no texto, LEO e GEO.** A força gravitacional determina a trajetória e a velocidade das órbitas dos detritos. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **Que ações geopolíticas você consideraria importantes para conter o aumento da quantidade de detritos espaciais? Defenda suas sugestões explicando a diferença entre diretriz e tratado.**
Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes proponham a elaboração de tratados internacionais.

3 **Existem iniciativas para monitorar os detritos espaciais e mitigar seus efeitos potencialmente danosos, mas ainda não se realizaram missões para fragmentar esses objetos ou removê-los da órbita da Terra.**

a) Com base em conceitos da Física, explique as principais dificuldades e os riscos envolvidos em ações para fragmentar os detritos existentes. Para isso, suponha que essa fragmentação possa ser feita por colisão com um projétil ou por uma explosão causada por um mecanismo interno.

3. a) Fragmentar um detrito, com um projétil ou uma explosão, pode lançar destroços menores, mas em alta velocidade e em todas as direções.

b) Suponha uma missão para juntar os objetos e removê-los da órbita da Terra. Quais dificuldades poderiam surgir nessa missão? Justifique. As dificuldades para essa missão seriam as distâncias desses objetos entre si; as altas velocidades orbitais dos objetos e a grande variedade de tamanhos.

c) Converse com os colegas sobre os desafios políticos e econômicos para financiar missões desse tipo. Depois, elaborem um texto de ao menos um parágrafo resumindo o que vocês discutiram.
Respostas variáveis. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

COMO A LUA SE FORMOU? CIENTISTAS MAPEIAM PRESENÇA DE HIDROGÊNIO NA SUPERFÍCIE LUNAR

[...]

Embora ela esteja bem perto de nós e plenamente visível quase todas as noites, ainda são muitos os mistérios que cercam a Lua. Em especial, mistérios que envolvem o papel da água na origem do satélite natural da Terra.

Em um estudo publicado no *Journal of Geophysical Research*, pela primeira vez, pesquisadores do Laboratório de Física Aplicada Johns Hopkins, nos Estados Unidos, compilaram um mapa completo da presença de hidrogênio na superfície da Lua. O mapa identifica dois tipos de materiais lunares contendo o elemento e confirma ideias anteriores sobre a relação entre hidrogênio e água na Lua. Os achados sugerem que a água provavelmente desempenhou um papel importante na formação e solidificação original do oceano de magma da Lua.

[...]

"A variação da quantidade de hidrogênio lunar aumenta com relação à latitude, por isso, quanto mais próximo dos polos da Lua, maior a quantidade de hidrogênio. Inclusive, temos evidências de gelo nas calotas polares da Lua. Mas, o que esse mapa novo mostra é que, na porção central da Lua, ou seja, nas porções mais próximas do Equador, distante dos polos, existem duas regiões que têm valores de hidrogênio anomalamente elevados", esclarece o geofísico.

O mapa confirmou hidrogênio em dois tipos de materiais lunares. A primeira confirmação surgiu no território lunar conhecido como Planalto de Aristarco, que abriga o maior depósito piroclástico da Lua. Esses depósitos são fragmentos de rochas em erupção de vulcões, corroborando observações anteriores de que o hidrogênio e/ou a água desempenharam um papel nos eventos magmáticos lunares. A segunda confirmação veio na forma de rochas do tipo KREEP, um acrônimo em inglês para rocha de lava lunar, que significa potássio (K), elementos de terras raras (REE) e fósforo (P). Ambos os locais remontam às origens do satélite.

"O grande interesse desse trabalho é que costumamos associar a quantidade de hidrogênio – ou voláteis em geral – na superfície da Lua como um efeito da vinda desse material a partir do vento solar. Como se esse material tivesse sido depositado sobre a superfície da Lua depois que ela se formou. No entanto, a existência dessa quantidade maior de hidrogênio nesses dois locais mostra que a água pode ter sido parte dos elementos que contribuíram para a formação da Lua, 4 bilhões de anos atrás", revela o professor.

De acordo com os cientistas, descobertas como essa são importantes não apenas para entendermos o funcionamento e [a] origem do Sistema Solar, mas também para planejar futuras explorações humanas fora da Terra.

O professor reforça que, atualmente, a hipótese mais aceita é que a Lua tenha nascido da colisão de um corpo muito grande, praticamente do tamanho de Marte, com a Terra primitiva. No processo, uma parte do manto terrestre escapou, mas ficou aprisionada pela gravidade e formou nosso satélite. "Por isso, considerando essa hipótese, a formação da Lua não é exatamente como a formação da Terra ou [a] de outros planetas do nosso Sistema Solar. Então, entender qual era a composição desse material que se descolou da Terra para formar a Lua é importante, assim como saber se havia água no processo", finaliza.

Pacheco, D. Como a Lua se formou? Cientistas mapeiam presença de hidrogênio na superfície lunar. *Jornal da USP*, São Paulo, 22 ago. 2022. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/como-a-lua-se-formou-cientistas-mapeiam-presenca-de-hidrogenio-na-superficie-lunar/. Acesso em: 18 jul. 2024.

1. Segundo o texto, a teoria mais aceita atualmente para explicar a formação da Lua defende que o satélite natural teria se originado de um formidável impacto que a Terra sofreu há bilhões de anos.

Para discutir **2.** Resposta variável. Uma possível resposta seria: caso parte da massa da Terra não tivesse sido arrancada para formar a Lua, o campo gravitacional da Terra seria diferente, por exemplo. Outra grandeza alterada seria a densidade da Terra.

1 **Segundo o texto, qual é a teoria mais aceita atualmente para explicar a formação da Lua?**

2 **De acordo com a teoria proposta no texto, se a Lua não tivesse sido formada, a massa da Terra seria outra. Quais grandezas estudadas neste capítulo teriam seus valores alterados? Justifique.**

3 **Segundo o texto, qual é a importância de descobrir a existência de água na Lua?**
Espera-se que os estudantes respondam que essa descoberta é importante não apenas para entender o comportamento do Sistema Solar e de sua origem, mas também para planejar futuras explorações humanas fora da Terra.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

2. a) Na imagem, podemos observar vários corpos celestes fora da Terra girando ao redor de um ponto fixo. Isso seria um argumento para dizer que a Terra poderia estar parada, enquanto os corpos giram em torno dela.

1 **Ainda hoje, para algumas pessoas, o modelo heliocêntrico – com a Terra e os demais planetas girando ao redor do Sol – é de difícil aceitação, uma vez que os movimentos do nosso planeta não são percebidos pelo senso comum. Que argumentos você usaria para defender o modelo heliocêntrico?**

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **Observe a foto a seguir, registrada por exposição prolongada. As circunferências foram formadas por pontos de luz emitida por corpos celestes.**

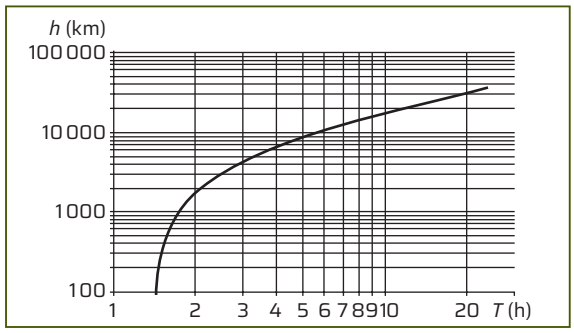
3231brianw/Shutterstock.com/ID/BR

Foto de longa exposição do céu noturno, em Dorset, na Inglaterra. Foto de 2024.

a) Quais informações essa imagem fornece para a defesa de um modelo geocêntrico de Universo?

b) E quais informações dessa imagem podem ser usadas a favor de um modelo heliocêntrico de Universo?

3 **O gráfico a seguir mostra a relação entre as altitudes considerando a superfície da Terra (em km) e o período de translação (em h) para satélites artificiais em órbitas circulares.**



ID/BR

a) Que altitude deve ter um satélite cujo período é 4 h? Pelo gráfico, é aproximadamente 5 500 km.

b) Determine, com base no gráfico, as altitudes dos satélites síncronos (geoestacionários). Pelo gráfico, é aproximadamente 25 500 km.

c) De acordo com os dados do gráfico, enquanto o período aumenta de 2 h para 20 h (fator 10), qual é o fator de variação da altitude? A variação é de 1 100 km até 20 000 km, ou seja, um fator de cerca de 20 vezes.

4 **A imagem a seguir (em cores-fantasia) mostra a trajetória aproximada da Estação Espacial Internacional, indicada pela linha verde, cujo plano orbital tem inclinação de 52°, e a de um satélite qualquer, representada pela linha roxa, com plano orbital de inclinação de 28°.**

Representação sem proporção de tamanho e distância.

Adilson Secco/ID/BR

De acordo com a imagem, indique se cada afirmação é verdadeira ou falsa. Justifique suas respostas.

a) A Estação Espacial Internacional é geoestacionária.

b) Considerando o movimento de rotação da Terra, o satélite "enxerga" uma região maior do nosso planeta que a região observada da ISS.

4. a) e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **Três satélites artificiais fictícios são colocados em órbita em torno da Lua. A tabela a seguir fornece algumas características desses objetos.**

	Massa (kg)	Raio orbital	Período (dia)
Luna 1	150	R	4
Moon Observer	1 238	//////////////	32
Selenium	390	9R	//////////

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) Copie a tabela no caderno e complete-a usando a lei de Kepler adequada à situação.

b) De acordo com a lei de Kepler, o valor da massa do satélite é determinante na razão entre o raio e o período? Justifique. Não, pois, segundo as leis de Kepler, a massa do satélite não influencia o período ou o raio da órbita.

6 **A distância da Lua à Terra é de aproximadamente sessenta vezes o raio da Terra (que é de cerca de 6 400 km). A massa da Lua é aproximadamente $7{,}36 \cdot 10^{22}$ kg.**

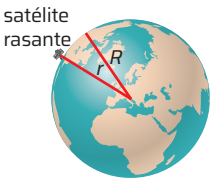
a) Calcule a intensidade aproximada da força gravitacional que a Lua exerce sobre uma pessoa de 80 kg na superfície da Terra. $F = 3{,}8 \cdot 10^{-39}$ N

b) Compare o resultado com o peso da pessoa na Terra e verifique quantas vezes essa força é menor que a exercida pela Terra.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 **Define-se como satélite rasante terrestre aquele cuja órbita é baixa o suficiente para que o raio dela seja considerado aproximadamente igual ao raio da Terra ($r \cong R$). Veja a imagem ao lado, em cores-fantasia.**

Representação sem proporção de tamanho.



Adilson Secco/ID/BR

R = raio da Terra

r = raio da órbita do satélite rasante

$r \cong R$

a) Calcule o valor da velocidade necessária para que se coloque um satélite rasante em órbita.

Dados: $R_T \cong 6{,}4 \cdot 10^6$ m; $M_T \cong 6 \cdot 10^{24}$ kg; $G \cong 7 \cdot 10^{-11}$ N · m² · kg⁻². $v = 8{,}1 \cdot 10^3$ m/s

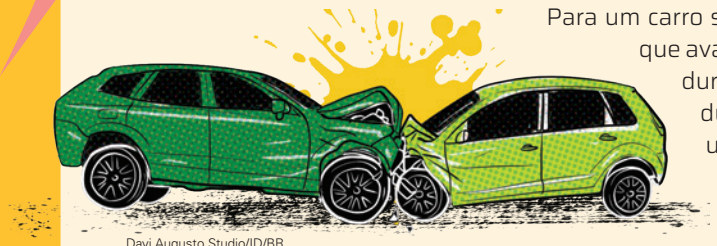
b) Determine o que deve ocorrer com a velocidade do satélite para que sua órbita passe a ter raio igual ao dobro do raio da Terra ($r = 2R$). $v = 5{,}7 \cdot 10^3$ m/s

2. b) A mesma imagem pode ser usada para argumentar a respeito de um Universo heliocêntrico. Esse argumento não é observável, mas se poderia pensar que os corpos registrados estão em movimento ao redor de outro corpo que não é a Terra, e que a Terra também está girando, e, por isso, um observador terrestre vê os corpos celestes passarem por ela.

Não escreva no livro.

PENSANDO CIÊNCIAS

COMO SABER SE UM CARRO É SEGURO?



Davi Augusto Studio/ID/BR

No Brasil, metade dos acidentes fatais registrados nas estradas federais é resultante de colisão frontal entre dois veículos.

Para um carro ser lançado no mercado, ele precisa passar por alguns testes que avaliam sua capacidade de proteger o motorista e os passageiros durante uma eventual colisão. Essa medida é necessária para reduzir a incidência de acidentes fatais. Mas que tipo de proteção um carro é capaz de oferecer a seus ocupantes?

Em grupo, imaginem que vocês precisam avaliar a segurança de um modelo de carro que está para ser lançado no próximo ano. De que maneira você e os colegas poderiam determinar se esse carro é seguro?

Decompondo o problema

A pergunta "De que maneira é possível determinar se um carro é seguro?" está relacionada a um problema de complexa resolução. Por esse motivo, é necessário dividir esse problema em outras questões mais simples, que envolvem, por exemplo, conhecer os itens de segurança de um veículo, analisar a dinâmica de uma colisão sob a perspectiva da Física e saber o que são os *crash tests*.

Pesquisem e discutam questões como:

- Quais são os itens obrigatórios de segurança de um veículo? E os opcionais?
- Que conceitos da cinemática se relacionam com esse problema? E da dinâmica?
- Quais são os tipos de colisão entre veículos mais comumente observados?
- Como testar os efeitos de uma colisão entre veículos?

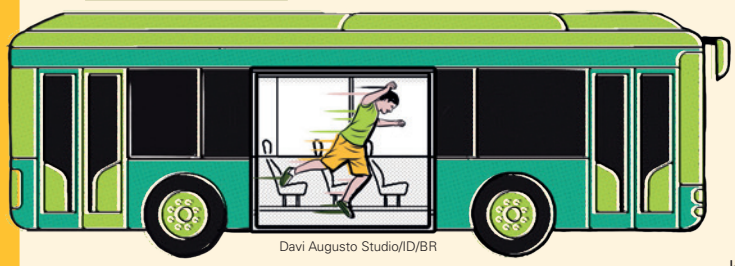
Reconhecendo padrões

Considerando uma colisão frontal entre dois veículos, é possível perceber semelhanças entre essa situação e outras que envolvem o deslocamento de corpos. Para reconhecer um padrão comum que ajude na resolução do problema, vamos partir da pergunta: "Quais conceitos da Dinâmica se relacionam com a colisão entre veículos?".

A Dinâmica é o ramo da mecânica que estuda as causas do movimento. Nesse contexto, a primeira lei de Newton explica a tendência de um corpo continuar em movimento, caso não seja aplicada uma força em sentido contrário à de seu deslocamento. Assim, é possível entender por que uma pessoa vai para a frente quando um ônibus freia bruscamente: por inércia, ela continua a realizar o movimento do ônibus por mais algum tempo após a parada do veículo.

Discutam se a inércia é um princípio que deve ser considerado ao se pensar na segurança de um veículo, em caso de colisão. Realizem esta etapa para os demais problemas levantados anteriormente.

Representação sem proporção de tamanho.



Davi Augusto Studio/ID/BR

Representação do movimento de uma pessoa no interior de um ônibus quando o veículo freia bruscamente. Cores-fantasia.

Abstraindo o problema

Entre os questionamentos levantados para cada problema na etapa anterior, alguns deles são pertinentes para se chegar à solução, enquanto outros são irrelevantes. Nesta etapa, o objetivo é descartar os pontos que não importam para a situação descrita.

Não escreva no livro.

Considerando que a inércia é um dos conceitos da dinâmica que se relacionam com a colisão entre dois veículos, é possível pensar no que um carro deve oferecer para minimizar as consequências desse evento sobre seus ocupantes, em uma situação em que a colisão seja inevitável. Se o corpo é projetado para a frente durante uma colisão, o veículo precisa oferecer dispositivos que reduzam ou amorteçam a projeção de seus passageiros.

Entre os itens de segurança oferecidos pelos veículos, analisem quais deles atuam para minimizar o efeito da inércia durante uma colisão, descartando aqueles que não estejam diretamente relacionados com isso – como as luzes diurnas, por exemplo, que ajudam a tornar o veículo visível durante o dia. Entre os itens selecionados, avaliem quais características do modelo influenciam essa proteção e quais não influenciam. Considerem, ainda, o modelo básico de cada item, geralmente presente em carros populares, bem como os modelos instalados apenas em alguns veículos, organizando em uma tabela as informações encontradas.

Item de segurança	Esse item se relaciona com a inércia?	Modelos básicos	Modelos avançados	Custo
Luzes diurnas	Não	—	—	—
Cinto de segurança	//////////////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////
//////////////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////

Organizem tabelas com as informações encontradas sobre os demais pontos levantados na etapa "Decompondo o problema", realizando pesquisas sempre que necessário.

Buscando soluções

Em grupo, discutam uma possível solução para o problema "De que maneira é possível demonstrar que um carro é seguro?". É importante compartilhar as ideias com o(a) professor(a), que deve avaliar a pertinência do método e sua operacionalidade.

Elaborando o algoritmo

Vamos agora elaborar o algoritmo para a solução do problema, isto é, o passo a passo do que deve ser feito, indicando os materiais e a sequência de etapas a serem realizadas.

Um exemplo de algoritmo é o procedimento para fazer cubos de gelo:

1) Pegue uma fôrma para cubos de gelo e enxágue-a para retirar eventuais restos de gelo remanescente; 2) encha cada espaço da fôrma com água potável à temperatura ambiente, tomando cuidado para que o nível da água não ultrapasse a borda da fôrma; 3) coloque a fôrma de gelo no interior do *freezer* (com temperatura igual ou inferior a 0 ºC), acomodando-a de modo que ela fique na horizontal; 4) após cerca de três horas, retire a fôrma do *freezer* e verifique se a água em seu interior se solidificou; 5) remova os cubos de gelo torcendo a fôrma até que eles se desprendam e possam ser retirados com as mãos ou com um utensílio adequado.

Com base nas informações pesquisadas e no exemplo dado, elaborem o algoritmo para determinar a segurança de um carro.

Olga Dubravina/Shutterstock.com/ID/BR

Preparativo para fazer cubos de gelo em uma fôrma.

Para discutir

1 **Compartilhem com os demais grupos o algoritmo que vocês desenvolveram e os comparem. Quais são as diferenças e as semelhanças entre eles?**
Respostas variáveis. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **Algum dos algoritmos inclui cálculos? Se sim, avaliem como são feitos. Caso contrário, discutam de que maneira a Matemática poderia ser incorporada à solução do problema.**
Respostas variáveis. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 **Quais foram as maiores dificuldades enfrentadas durante essa atividade? De que maneira elas foram superadas?** Respostas variáveis. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

QUESTÕES GLOBAIS

1 (**Fuvest-SP**) Os lagartos do gênero *Basiliscus* têm a capacidade incomum de correr sobre a água. Essa espécie possui uma membrana entre os dedos que aumenta a área superficial de suas patas traseiras. Com uma combinação de forças verticais de suporte e forças horizontais propulsivas geradas pelo movimento de suas patas na água, o lagarto consegue obter impulso resultante para cima e para frente, conforme figura a seguir.

Isso garante uma estabilidade dinâmica na superfície da água, em corridas que podem chegar a dezenas de metros, dependendo do peso e da idade do animal.

Bence Mate/Nature PL/Fotoarena

Sobre esse movimento, é correto afirmar: Alternativa **a**.

a) A componente vertical da reação à força gerada pelas patadas na água compensa o peso do animal, fazendo com que ele não afunde.

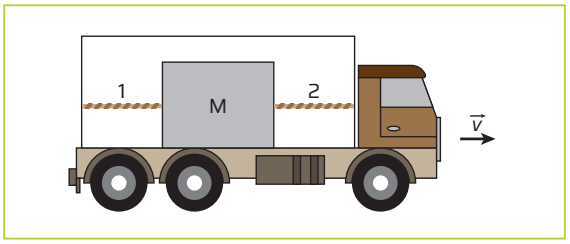
b) O mecanismo de flutuação do lagarto advém de um equilíbrio hidrostático, que pode ser explicado pelo princípio de Arquimedes.

c) Por ser um meio viscoso, a água possui um atrito desprezível, facilitando a flutuação.

d) A alta salinidade da água é uma condição necessária para que ocorra um equilíbrio entre as forças envolvidas no movimento.

e) A tensão superficial da água, por si só, é suficiente para impedir que o animal afunde.

2 (**Enem**) Uma equipe de segurança do transporte de uma empresa avalia o comportamento das tensões que aparecem em duas cordas, **1** e **2**, usadas para prender uma carga de massa M = 200 kg na carroceria, conforme a ilustração. Quando o caminhão parte do repouso, sua aceleração é constante e igual a 3 m/s² e, quando ele é freado bruscamente, sua frenagem é constante e igual a 5 m/s². Em ambas as situações, a carga encontra-se na iminência de movimento, e o sentido do movimento do caminhão está indicado na figura. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o assoalho da carroceria é igual a 0,2. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s², as tensões iniciais nas cordas iguais a zero e as duas cordas ideais. Alternativa **a**.



Enem. Fac-símile: ID/BR

Nas situações de aceleração e frenagem do caminhão, as tensões nas cordas 1 e 2, em newton, serão

a) aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 200$; frenagem: $T_1 = 600$ e $T_2 = 0$.

b) aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 200$; frenagem: $T_1 = 1400$ e $T_2 = 0$.

c) aceleração: $T_1 = 0$ e $T_2 = 600$; frenagem: $T_1 = 600$ e $T_2 = 0$.

d) aceleração: $T_1 = 560$ e $T_2 = 0$; frenagem: $T_1 = 0$ e $T_2 = 960$.

e) aceleração: $T_1 = 640$ e $T_2 = 0$; frenagem: $T_1 = 0$ e $T_2 = 1040$.

3 (**Enem**) Um pai faz um balanço utilizando dois segmentos paralelos e iguais da mesma corda para fixar uma tábua a uma barra horizontal. Por segurança, opta por um tipo de corda cuja tensão de ruptura seja 25% superior à tensão máxima calculada nas seguintes condições:

- O ângulo máximo atingido pelo balanço em relação à vertical é igual a 90°;
- Os filhos utilizarão o balanço até que tenham uma massa de 24 kg.

Além disso, ele aproxima o movimento do balanço para o movimento circular uniforme, considera que a aceleração da gravidade é igual a 10 $\frac{m}{s^2}$ e despreza forças dissipativas. Alternativa **d**.

Qual é a tensão de ruptura da corda escolhida?

a) 120 N

b) 300 N

c) 360 N

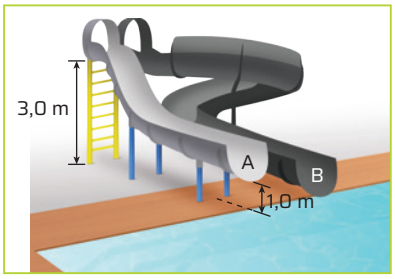
d) 450 N

e) 900 N

4 (**UFSC**) Como o dia estava ensolarado, Pedro, Thiago e João resolveram tomar sol à beira de uma das piscinas do navio. Logo perceberam que existiam dois tobogãs (A e B) com a mesma altura inicial (3,0 m), mas com alturas finais diferentes. O tobogã A finalizava com 1,0 m de altura da piscina, enquanto o tobogã B finalizava na mesma altura da borda da piscina, conforme a figura [a seguir]. Tomando a

Não escreva no livro.

gravidade como 10,0 m/s², resolveram, então, fazer afirmações que envolviam os tobogãs.



UFSC. Fac-símile: ID/BR

Considerando o exposto, dentre as afirmações feitas pelos amigos, identifique a(s) correta(s).
Soma das alternativas corretas: 08 + 16 = 24

01. Duas garotas de massas 50,0 kg e 40,0 kg, com velocidades constantes, realizam o mesmo trabalho para subirem as escadas dos tobogãs.

02. Desconsiderando os atritos, um rapaz solto no topo dos tobogãs terá maior energia mecânica no final do tobogã B.

04. Se a perda de energia ao longo do tobogã A for de 25%, uma garota de 50,0 kg solta no topo será lançada para a piscina com uma velocidade de 5,0 m/s.

08. Desconsiderando os atritos, pessoas de massas diferentes soltas no topo do tobogã B chegarão à base do tobogã com a mesma velocidade.

16. Pessoas com massas diferentes terão a mesma energia mecânica quando estiverem paradas no topo dos tobogãs.

5 (**Enem**) Em um autódromo, os carros podem derrapar em uma curva e bater na parede de proteção. Para diminuir o impacto de uma batida, pode-se colocar na parede uma barreira de pneus, isso faz com que a colisão seja mais demorada e o carro retorne com velocidade reduzida. Outra opção é colocar uma barreira de blocos de um material que se deforma, tornando-a tão demorada quanto a colisão com os pneus, mas que não permite a volta do carro após a colisão.

Comparando as duas situações, como ficam a força média exercida sobre o carro e a energia mecânica dissipada? Alternativa **a**.

a) A força é maior na colisão com a barreira de pneus, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de blocos.

b) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de pneus.

c) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é a mesma nas duas situações.

d) A força é maior na colisão com a barreira de pneus, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de pneus.

e) A força é maior na colisão com a barreira de blocos, e a energia dissipada é maior na colisão com a barreira de blocos.

6 (**Enem**) Um buraco negro é um corpo celeste que possui uma grande quantidade de matéria concentrada em uma pequena região do espaço, de modo que sua força gravitacional é tão grande que qualquer partícula fica aprisionada em sua superfície, inclusive a luz. O raio dessa região caracteriza uma superfície-limite, chamada de horizonte de eventos, da qual nada consegue escapar. Considere que o Sol foi instantaneamente substituído por um buraco negro com a mesma massa solar, de modo que o seu horizonte de eventos seja de aproximadamente 3,0 km.

SCHWARZSCHILD, K. On the gravitational field of a mass point according to Einstein's theory. Disponível em: arxiv.org. Acesso em: 26 maio 2022 (adaptado).

Após a substituição descrita, o que aconteceria aos planetas do Sistema Solar? Alternativa **a**.

a) Eles se moveriam em órbitas espirais, aproximando-se sucessivamente do buraco negro.

b) Eles oscilariam aleatoriamente em torno de suas órbitas elípticas originais.

c) Eles se moveriam em direção ao centro do buraco negro.

d) Eles passariam a precessionar mais rapidamente.

e) Eles manteriam suas órbitas inalteradas

7 (**Unicamp-SP**) O planeta-anão Ceres foi descoberto em 1801 por Giuseppe Piazzi. Resultados científicos recentes indicam que Ceres teria sido formado nas zonas mais afastadas do Sistema Solar e posteriormente foi lançado para a região onde se encontra atualmente, entre as órbitas de Marte e Júpiter. A tabela [a seguir] apresenta o período de translação T, a distância média ao Sol R, bem como T^2, R^3 e a razão (T^2/R^3) para alguns planetas do Sistema Solar. De acordo com a 3ª Lei de Kepler, a razão (T^2/R^3) é constante. A partir dos dados da tabela, pode-se concluir que o período orbital de Ceres, T_{Ceres}, é aproximadamente igual a Alternativa **c**.

Planeta	T (anos)*	R (u.a.)**	T^2 (anos²)	R^3 (u.a.³)	(T^2/R^3) (anos²/u.a.³)
Vênus	0,615	0,723	0,378	0,378	1,0
Terra	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0
Marte	1,88	1,52	3,53	3,51	1,0
Ceres	?	2,77	?	21,3	?
Júpiter	11,9	5,20	142	141	1,0
Saturno	29,5	9,55	870	871	1,0

Unicamp-SP. Fac-símile: /ID/BR

*anos terrestres
** 1 unidade astronômica (1,0 u. a.) = distância média da Terra ao Sol

a) 1,00 ano.

b) 2,77 anos.

c) 4,62 anos.

d) 21,3 anos.

8 Um foguete transportando um satélite que será colocado em órbita é lançado da superfície da Terra.

a) Determine a velocidade do foguete para que ele escape da atração gravitacional da Terra.
$v = 11{,}2 \cdot 10^3$ m/s

b) Calcule a velocidade orbital do satélite para que ele entre em órbita a uma altitude equivalente a cinco raios terrestres. $v = 3{,}5 \cdot 10^3$ m/s

ESTÁTICA

Você talvez, em algum momento, já tenha se perguntado como navios tão grandes conseguem flutuar na água e também manter sua rota de navegação. Embarcações fazem parte da história do desenvolvimento das sociedades, visto que tiveram, e ainda têm, grande importância no transporte de pessoas e de cargas, além de aquelas mais tradicionais pertencerem à cultura regional de muitos povos.

No transporte de cargas, destacam-se os enormes navios cargueiros, assim como os gigantescos navios de passageiros, destinados ao lazer, como o mostrado na foto, que podem acomodar milhares de pessoas.

Nesta unidade, você vai estudar os tipos de força e os princípios que ajudam a compreender o equilíbrio dos corpos – como as embarcações – e sua flutuação sobre líquidos.

OBJETIVOS

- Compreender os conceitos de torque e centro de massa e suas relações com as condições de equilíbrio.
- Conhecer o conceito de máquinas simples e identificar as forças presentes em alavancas.
- Entender o que são fluidos e reconhecer suas características.
- Compreender as grandezas físicas presentes no estudo dos fluidos.
- Compreender os efeitos da pressão atmosférica.
- Entender os princípios da Física dos fluidos.
- Compreender a flutuação dos corpos e definir as condições de flutuabilidade.
- Identificar fenômenos que envolvem fluidos líquidos.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Você já teve a sensação de que a água ajuda a sustentar, contra a gravidade, os corpos nela imersos? Reflita sobre o que poderia causar essa sensação.
2. Como um corpo de grande massa, como o navio mostrado na foto, consegue flutuar na superfície da água?
3. Em embarcações, existem equipamentos de segurança obrigatórios, como os coletes salva-vidas, que evitam que as pessoas afundem na água em situações de emergência. Por que esses coletes flutuam na água?

1. Resposta pessoal. Essa sensação é causada pela força de empuxo exercida pela água sobre o corpo; essa força tem orientação vertical e para cima, o que auxilia na sustentação do corpo submerso.
2. Resposta pessoal. Um corpo de grande massa, como o navio mostrado na foto, consegue flutuar na superfície da água porque há uma força vertical, para cima, que atua em sentido contrário ao da força peso, que sustenta a embarcação.
3. Resposta pessoal. O volume de água que o colete salva-vidas desloca tem massa maior que a dele; assim, o colete flutua porque a força de empuxo da água sobre ele tem intensidade maior que a força peso exercida sobre ele.

Um dos maiores navios de passageiros do mundo partindo de Miami, Flórida (EUA), para sua segunda viagem. Foto de 2024. ▸

Joe Raedle/Getty Images

UNIDADE 3

1 Torque

2 Estudo dos fluidos

TORQUE

1. Considerando que os assentos em uma gangorra têm posições definidas e estão igualmente distantes do ponto de apoio, o funcionamento desse brinquedo é favorecido se as pessoas que o utilizarem tiverem massas bem próximas.
2. As maçanetas das portas são instaladas na extremidade oposta às dobradiças porque, desse modo, a força necessária para abrir e fechar a porta é menor, uma vez que, nesse caso, o braço de alavanca é o maior possível.

PARA COMEÇAR

1. Em sua opinião, como funciona a brincadeira de gangorra, em que pessoas com massas muito diferentes podem brincar juntas? Justifique.
2. Por que as maçanetas das portas são instaladas na lateral oposta à das dobradiças?

RELAÇÃO ENTRE EQUILÍBRIO E FORÇA EM CORPOS EXTENSOS

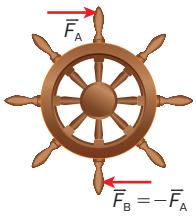
Quando um **corpo extenso** é submetido à ação de determinadas forças, ele pode se transladar (ou seja, deslocar-se pelo espaço), executar rotações (ou seja, girar em torno de si mesmo) ou realizar simultaneamente os dois movimentos. Isso ocorre porque as dimensões do corpo são consideradas em seus movimentos.

Para saber se um corpo extenso está em equilíbrio, é necessário verificar a condição de **equilíbrio translacional**, em que a soma vetorial das forças translacionais agindo sobre o corpo é igual a zero ($\Sigma \vec{F} = \vec{0}$), e a condição de **equilíbrio rotacional**, em que a soma vetorial dos momentos ou torques das forças aplicadas sobre o corpo também deve ser igual a zero ($\Sigma \vec{M} = \vec{0}$).

Por exemplo, a imagem **A** mostra um timão, peça que serve para pilotar embarcações. Quando o timão é girado em torno de um eixo pelo piloto do barco, acontece a mudança na rota da embarcação. Nesse caso, duas forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos atuam sobre o timão, garantindo o equilíbrio de **translação**, ou seja, o timão não se moverá para os lados ou para cima, apesar de girar em torno de seu eixo. Nessa situação, há equilíbrio de translação, apesar de não haver equilíbrio de **rotação**.

Adilson Secco/ID/BR

A



Teeter-Totter Wall, instalação artística temporária de gangorras no muro que separa Estados Unidos e México, na cidade de Juarez. Em seu perfil em uma rede social, o arquiteto Ronald Rael, um dos responsáveis pela instalação, afirmou que o muro serviu de ponto de apoio entre os dois países. Foto de 2019.

Luis Torres/AFP

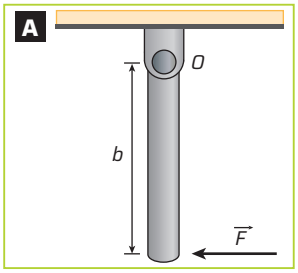
Não escreva no livro.

TORQUE

Representações sem proporção de tamanho.

A rotação de um corpo extenso depende da intensidade da força aplicada, do braço da alavanca (b), isto é, do local de aplicação da força em relação ao eixo de rotação desse corpo, e do ângulo entre as direções da força e do braço da alavanca. Quanto maior for o braço da alavanca, menor será a intensidade da força necessária para girar esse corpo. Por isso, as maçanetas das portas são instaladas o mais distante possível de suas dobradiças.

A figura **A** mostra uma força $\vec{F}$ aplicada para provocar a rotação de uma barra em torno do eixo de rotação que passa pelo ponto O. Essa força está aplicada em um ponto que se encontra à distância b do ponto de rotação.



Setup Bureau/ID/BR

A combinação da força com seu braço de alavanca resulta no conceito de **torque**, também conhecido como **momento de uma força**. A intensidade do torque (M) é calculada pelo produto do módulo da força pelo braço da alavanca:

$$M = F \cdot b$$

No SI, a unidade de torque é: $[M] = N \cdot m$

O torque é uma grandeza vetorial porque apenas a informação de seu módulo não é suficiente para defini-lo. Para simplificar o estudo, nas atividades propostas neste capítulo, vamos tratar essas forças em sua forma escalar.

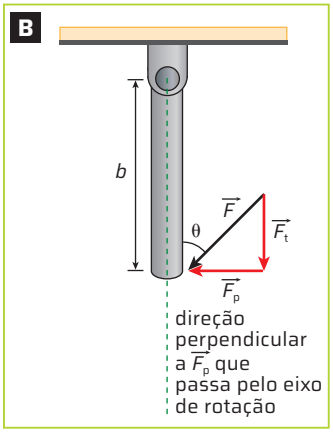
RELAÇÃO ENTRE O TORQUE E A DIREÇÃO DA FORÇA

Quando a força aplicada para a rotação não é perpendicular ao eixo de rotação, a decomposição do vetor apresenta uma componente da força na direção tangencial ao eixo ($\vec{F}_t$) e uma componente perpendicular ($\vec{F}_p$) ao eixo.

Observe na figura **B** que a componente perpendicular de F vai ser capaz de movimentar a barra. Já a componente tangencial fica paralela à barra, o que não gera torque para realizar a rotação.

O módulo da componente da força que apresenta torque é $F_p = F \cdot \text{sen}\,\theta$. Nesse caso, para calcular o torque, considera-se somente a componente perpendicular:

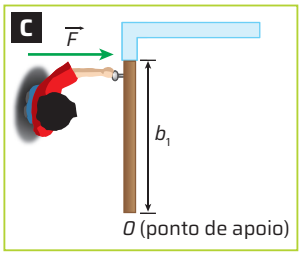
$$M = F \cdot \text{sen}\,\theta \cdot b$$



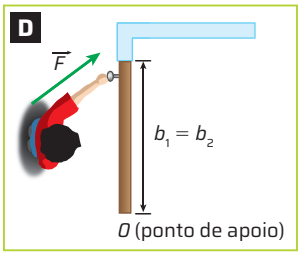
Setup Bureau/ID/BR

Decomposição da força $\vec{F}$ com inclinação θ em relação ao eixo de rotação. Cores-fantasia.

As imagens **C** e **D** representam uma porta, vista de cima, submetida à ação da força $\vec{F}$, aplicada por uma pessoa que tenta fechá-la em diferentes circunstâncias.



Força perpendicular ao eixo de rotação. Cores-fantasia.



Força com inclinação de 45° ao eixo de rotação. Cores-fantasia.

Ilustrações: Setup/Bureau/ID/BR

Os braços b_1 e b_2 são iguais, mas $M_2 < M_1$ devido à diferença na direção da força aplicada.

Convencionou-se adotar o sinal positivo para forças capazes de provocar rotação no sentido anti-horário; para giro no sentido horário, o torque é negativo. Então: $M = \pm F \cdot b$

ROTEIRO

1. Em sua opinião, é mais fácil abrir uma porta com uma maçaneta do tipo arredondada ou com uma que tenha haste? Discuta com os colegas e justifique sua resposta usando como argumento a intensidade do torque.

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que a maçaneta em forma de alavanca é mais fácil de abrir, pois tem um braço de alavanca maior, o que resulta em um torque maior, mesmo quando se aplica uma força de igual intensidade.

FÍSICA E MATEMÁTICA

Decomposição de forças

Relações matemáticas permitem decompor vetores, como um vetor força, em suas componentes vetoriais usando as relações trigonométricas.

Por exemplo, um vetor força $\vec{F}$, que forma um ângulo θ com a horizontal, pode ser decomposto em $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$, que são perpendiculares entre si, e representado por:

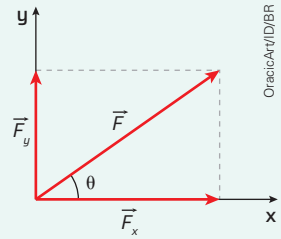
$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

Pelas relações trigonométricas, o cálculo das componentes do vetor $\vec{F}$ é dado pela razão entre os módulos de $\vec{F}_y$ e $\vec{F}$, que é definida como o seno do ângulo θ, e pela razão entre os módulos de $\vec{F}_x$ e $\vec{F}$, que é definida como o cosseno do ângulo θ. Logo:

$$\text{sen}\,\theta = \frac{\vec{F}_y}{\vec{F}}; \cos\theta = \frac{\vec{F}_x}{\vec{F}}$$

Portanto:

$$F_x = F \cdot \cos\theta$$
$$F_y = F \cdot \text{sen}\,\theta$$



OracicArt/ID/BR

1. Você já conhece ou já trabalhou com expressões semelhantes no componente curricular Matemática?

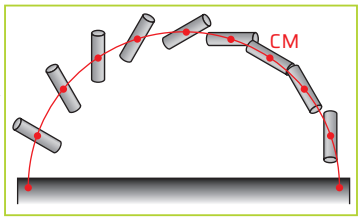
Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes já tenham estudado Trigonometria.

2. Reúna-se com um colega para debater quais conceitos de Física vocês já utilizaram na decomposição de forças ou de grandezas físicas.

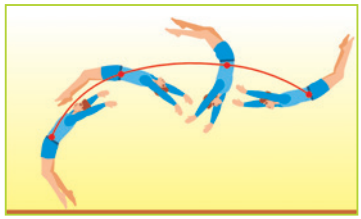
2. Resposta pessoal. Os estudantes podem comentar, por exemplo, o uso da decomposição de vetores no estudo dos movimentos e no estudo do equilíbrio.

Representações sem proporção de tamanho.

Setup Bureau/ID/BR



HS/ID/BR



Esquemas da trajetória do centro de massa de um bastão em lançamento e de um atleta realizando um salto. Em ambos os casos, verifica-se que a trajetória do centro de massa corresponde à trajetória de um ponto material. Cores-fantasia.

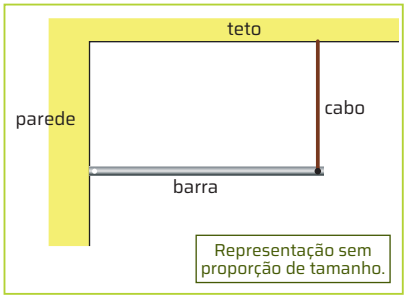
CENTRO DE MASSA

Quando uma força é aplicada em um corpo extenso, ela pode gerar um torque e provocar a rotação do corpo. Porém, caso a força atuante passe pelo **centro de massa** do corpo, ocorrerá movimento, mas sem a presença de torque.

O centro de massa (CM) de um corpo ou de um sistema de corpos é um ponto no qual se considera que está concentrada toda a massa do corpo ou do sistema, de modo que, quando analisamos o movimento de translação, consideramos a resultante das forças aplicada nesse ponto.

A seguir, são apresentadas algumas características do centro de massa de um corpo com distribuição homogênea de massa.

- O centro de massa representa o ponto geométrico no qual toda a massa do corpo estaria concentrada, de modo que a força resultante ali aplicada gerasse o mesmo efeito dinâmico da força resultante aplicada ao corpo todo. Quando a resultante da força é gravitacional, o centro de massa também é chamado **centro de gravidade**.
- Sua localização depende da geometria do corpo. O centro de massa não precisa necessariamente estar dentro do corpo; em um anel, por exemplo, ele está no ponto central do círculo.
- Sua trajetória corresponde à trajetória do ponto material representativo desse corpo.
- Considere o exemplo apresentado nesta imagem, que representa uma situação em que uma barra homogênea, presa a um suporte na parede, é equilibrada por um cabo vertical. O comprimento da barra é 1 m, e sua massa é igual a 0,5 kg. Se o cabo estiver preso à extremidade livre da barra, a tração nele aplicada terá o menor valor possível. Acompanhe a seguir o cálculo da tração.



Setup Bureau/ID/BR

Representação de uma barra homogênea presa a um suporte fixado em uma parede. Cores-fantasia.

A força exercida na barra é a força peso (vertical e dirigida para baixo), e o braço da força peso equivale à metade do comprimento da barra, pois, se ela é homogênea, seu centro de massa encontra-se em seu centro geométrico. Portanto:

$$F = P = 5\ \text{N};\ b_P = 0{,}5\ \text{m};\ M_P = 2{,}5\ \text{N} \cdot \text{m}$$

O torque exercido pelo cabo deve ser igual ao torque exercido pelo peso da barra. Portanto, em condições de equilíbrio:

$$M_C = F_C \cdot b_C = 2{,}5\ \text{N} \cdot \text{m} \Rightarrow F_C = \frac{2{,}5}{b_C} = \frac{2{,}5}{1} = 2{,}5\ \text{N} \cdot \text{m}$$

Ainda que não estivesse presa à parede, a barra poderia ser equilibrada por um único cabo, desde que ele fosse fixado ao centro de massa da barra. Os corpos podem se equilibrar em um único ponto de apoio quando esse ponto coincide com seu centro de massa.

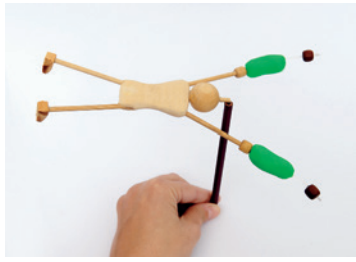
Centro de gravidade e estabilidade

Você sabia que a localização do centro de gravidade é importante para a estabilidade dos corpos?

Nosso corpo e suas inúmeras articulações, por exemplo, fazem um trabalho em conjunto para que possamos ficar em pé, e o centro de massa do corpo (centro de gravidade, quando a resultante da força é gravitacional) é fundamental para que ele se mantenha em equilíbrio.

O centro de massa do corpo humano fica próximo à região do umbigo, portanto, quando estamos em pé, a linha de ação da força peso está dentro da região delimitada por nossos pés (área de suporte), mantendo nosso corpo em equilíbrio.

Fernando Favoretto/ID/BR



Mesmo apoiado em um único ponto, o boneco não perde a condição de equilíbrio. Isso se deve ao fato de o ponto de apoio ser seu centro de massa, coincidente com o centro de gravidade. O peso, responsável pelo torque e por uma possível queda do boneco, está aplicado no ponto de apoio, sendo equilibrado pela força normal aplicada pelo suporte.

Não escreva no livro.

ALAVANCAS

Para facilitar a realização de certas atividades, o ser humano produziu instrumentos denominados máquinas simples, como as **alavancas**. Em grandes obras arquitetônicas, em utensílios do cotidiano – como abridores de garrafa, tesouras, pinças e freios de bicicleta – e em articulações do corpo humano verifica-se um mesmo princípio básico, relacionado com o equilíbrio da rotação de corpos extensos. O funcionamento das alavancas baseia-se no conceito de torque.

PzAxe/Shutterstock.com/ID/BR

Inewsfoto/Shutterstock.com/ID/BR

Os alicates (**A**) e os freios de bicicleta (**B**) são constituídos de sistemas de alavancas.

As alavancas são usadas para mover objetos que estejam apoiados em algum ponto ao longo do instrumento. São constituídas de pelo menos uma barra e um ponto fixo de apoio.

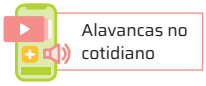
O movimento realizado por uma alavanca é sempre de rotação em torno de um eixo, já que sempre haverá um ponto de apoio.

PARA EXPLORAR

Leia

Arquimedes e suas máquinas de guerra, **de Luca Novelli. São Paulo: Ciranda Cultural, 2008 (Coleção Gênios da Ciência).**

Nesse livro, o próprio matemático grego Arquimedes narra suas principais descobertas e invenções, como a alavanca e outras máquinas.

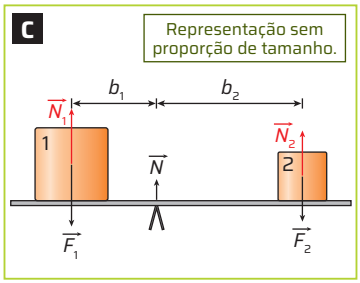


Equilíbrio de uma alavanca

Observe o esquema (imagem **C**) que representa um sistema de alavancas em equilíbrio constituído de dois corpos de massas diferentes. A massa maior está a uma distância menor (b_1) do ponto de apoio, e a massa menor está a uma distância maior (b_2) do ponto de apoio. As forças de reação $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ equilibram-se com as respectivas normais $\vec{N}_1$ e $\vec{N}_2$. O peso da barra é desprezível.

O torque $\vec{M}_1$ é provocado pela massa 1, e o torque $\vec{M}_2$, pela massa 2. A condição de equilíbrio é expressa matematicamente por:

$$\vec{M}_1 + \left(-\vec{M}_2\right) = \vec{0} \quad \text{ou} \quad \left|\vec{M}_1\right| = \left|\vec{M}_2\right|$$



Adilson Secco/ID/BR

Diagrama de forças que atuam em duas massas (**1** e **2**) equilibradas em uma alavanca. Cores-fantasia.

Lembrando que, para uma força perpendicular ao eixo de apoio, o módulo do torque é definido como $M = F \cdot b$. Assim, tem-se:

$$F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2$$ 1ª condição de equilíbrio de uma alavanca (equilíbrio rotacional)

Existe ainda outro tipo de equilíbrio a considerar: o equilíbrio das forças que atuam no sistema, o que ocorre quando a força resultante é nula. Aplicada à situação do esquema, essa informação fornece outra condição de equilíbrio, expressa por:

$$N = F_1 + F_2$$ 2ª condição de equilíbrio de uma alavanca (equilíbrio translacional)

Ou seja, as forças de reação ($\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$) são equilibradas pelas respectivas forças normais ($\vec{N}_1$ e $\vec{N}_2$), sem que estas necessariamente estejam atuando no mesmo ponto no sistema de alavancas. A força resultante que age no centro de massa é nula.

Não escreva no livro.

FORÇAS EM UMA ALAVANCA

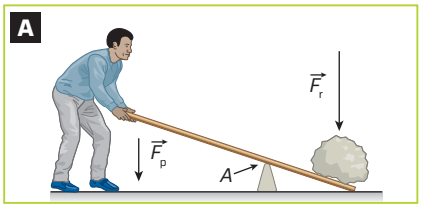
Há diversos tipos de alavanca. A diferença entre eles depende do ponto em que as forças são aplicadas em relação ao ponto de apoio. Acompanhe os exemplos que seguem.

Na imagem **A**, repare que o homem aplica uma força na extremidade esquerda da barra e que o ponto de apoio da alavanca se encontra entre a força aplicada pelo homem e a força que a pedra exerce na alavanca.

A força aplicada pelo homem chama-se **força potente** ($\vec{F}_p$); já a força que a pedra exerce na alavanca e que dificulta o movimento é chamada **força resistente** ($\vec{F}_r$), e *A* é o **ponto de apoio**.

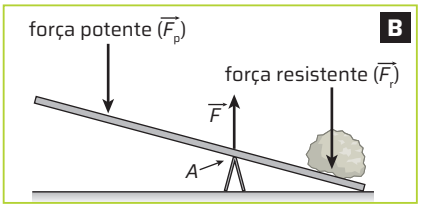
Veja, na imagem **B**, o esquema de forças que representa a situação mostrada anteriormente:

Representações sem proporção de tamanho.



Adilson Secco/ID/BR

Pessoa utilizando uma alavanca para erguer uma pedra. Cores-fantasia.



Adilson Secco/ID/BR

Esquema de forças em uma alavanca. Cores-fantasia.

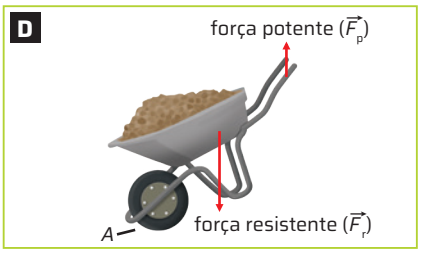
Perceba que o ponto de apoio (*A*) está localizado entre a força potente ($\vec{F}_p$) e a força resistente ($\vec{F}_r$). As alavancas desse tipo são conhecidas como **alavancas interfixas**.

O uso de carrinho de mão ou carriola em canteiros de obras auxilia no trabalho dos profissionais, aumentando a eficiência de suas atividades. O funcionamento do carrinho de mão também tem como base o princípio de alavanca, embora seja uma alavanca diferente da que vimos no exemplo anterior.

Note, nas imagens **C** e **D**, que a força resistente ($\vec{F}_r$) está entre a força potente ($\vec{F}_p$) e o ponto de apoio (*A*).

Reinaldo Vignati/ID/BR

Profissional usando um carrinho de mão. Cores-fantasia.



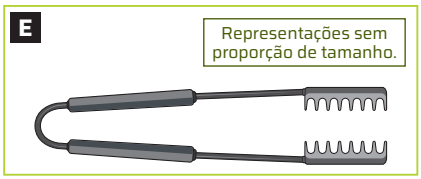
Reinaldo Vignati/ID/BR

Esquema de forças em um carrinho de mão. Cores-fantasia.

Alavancas desse tipo são conhecidas como **alavancas inter-resistentes**.

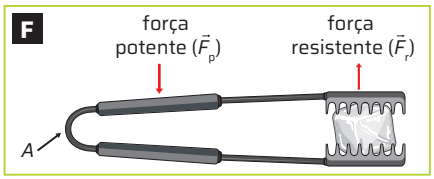
Há ainda vários utensílios de cozinha cujo funcionamento também emprega o princípio da alavanca, como o pegador de gelo.

Observe, nas imagens **E** e **F**, que as forças são aplicadas de maneira diferente em relação aos exemplos anteriores. No caso do pegador de gelo, a força potente ($\vec{F}_p$) está entre o ponto de apoio (*A*) e a força resistente ($\vec{F}_r$), razão pela qual esse tipo de alavanca é conhecido como **alavanca interpotente**.



Reinaldo Vignati/ID/BR

O pegador de gelo é um exemplo de alavanca interpotente. Cores-fantasia.



Reinaldo Vignati/ID/BR

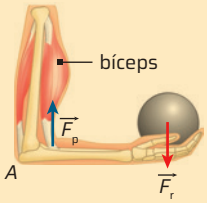
Esquema de forças em uma alavanca interpotente. Cores-fantasia.

DE OLHO NO CONCEITO

Alavancas no corpo humano

Ao estudar o movimento do corpo humano e seu equilíbrio, é possível identificar e entender o funcionamento de diversas estruturas com função de alavanca, como as articulações – joelhos, cotovelos, etc. Com o conjunto muscular a elas associado, as articulações funcionam como pontos de apoio na aplicação de forças potentes e resistentes. Veja os exemplos a seguir.

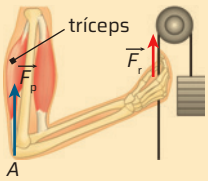
- **Quando a mão segura um peso:**



Hélio Senatore/ID/BR

Alavanca interpotente. Cores-fantasia.

- **Força potente ($\vec{F}_p$):** aplicada pelo bíceps (músculo localizado na parte anterior do braço).
- **Força resistente ($\vec{F}_r$):** aplicada sobre a mão.
- **Ponto de apoio (*A*):** cotovelo.
- **Quando a mão puxa um peso para cima:**



Hélio Senatore/ID/BR

Alavanca interfixa. Cores-fantasia.

- **Força potente ($\vec{F}_p$):** aplicada pelo tríceps (músculo localizado na parte posterior do braço).
- **Força resistente ($\vec{F}_r$):** aplicada sobre a mão.
- **Ponto de apoio (*A*):** cotovelo.

A compreensão das alavancas do corpo humano e de seu funcionamento tem possibilitado o desenvolvimento de próteses, aparelhos que substituem partes do corpo (como pernas e braços), e órteses, aparelhos que melhoram o funcionamento de estruturas, que, por motivos diversos, tenham sido comprometidas.

Não escreva no livro.

Alavancas no dia a dia

Como vimos, as alavancas estão presentes em nosso cotidiano, em diversas atividades que executamos, e até mesmo em nosso corpo. Mas como identificar seu uso na realização de determinadas atividades do dia a dia? Para entender sua aplicação e seu funcionamento, você e os colegas vão examinar atividades de duas áreas distintas: a construção civil e a Educação Física.

Material

- folhas de papel
- canetas coloridas
- lápis
- borracha

Como fazer

O(A) professor(a) vai organizar a turma em grupos. Metade dos grupos trabalhará com exemplos de alavanca presentes na construção civil, e a outra metade explorará as atividades de musculação.

Orientações para os grupos que vão trabalhar com as alavancas na construção civil

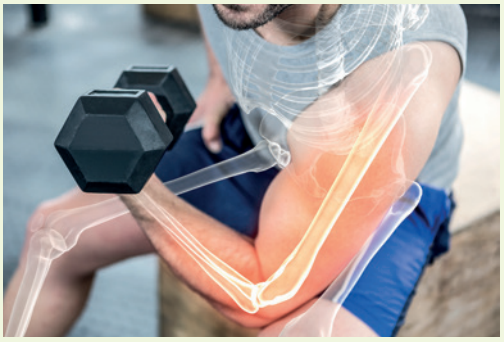
1. Entrevistem pessoas que trabalhem em construção civil. Perguntem sobre as ferramentas que elas utilizam, como martelo, alicate, enxada e guindaste. Peçam exemplos aos entrevistados.
2. Elaborem um desenho/esquema de cada uma das ferramentas citadas que utilizem o princípio da alavanca, indicando onde são aplicadas as forças (potente e resistente) e onde fica o ponto de apoio.
3. Identifiquem, em cada caso, o tipo de alavanca: interpotente, inter-resistente ou interfixa.

LianeM/Shutterstock.com/ID/BR

Ferramenta manual conhecida como "pé de cabra".

Orientações para os grupos que vão trabalhar com as alavancas nas atividades de musculação

1. Entrevistem professores de Educação Física sobre o funcionamento dos aparelhos de musculação e sobre os diferentes exercícios realizados com pesos.
2. Identifiquem as alavancas no corpo humano e nos aparelhos de musculação que forem citados.
3. Elaborem um desenho/esquema de cada uma das atividades realizadas com os aparelhos de musculação que envolvam alavanca e das alavancas presentes no corpo humano. Identifiquem, em cada caso, o tipo de alavanca: interpotente, inter-resistente ou interfixa.



Wavebreakmedia/Shutterstock.com/ID/BR

Imagem ilustrando alguns dos ossos envolvidos na sustentação mecânica do corpo humano. O princípio de alavancas pode ser usado para estudar a musculação. Cores-fantasia.

Para concluir **1** e **2**. Sugira aos estudantes que desenhem modelos mostrando o funcionamento das diversas alavancas no corpo humano, desde a boca (maxilares) até os dedos dos pés.

1 **De volta à sala de aula e com a ajuda do(a) professor(a), organizem uma exposição dos desenhos/esquemas dos grupos segundo o tipo de alavanca: interpotente, inter-resistente ou interfixa.**

2 **Observem cada conjunto de desenhos/esquemas e discutam as relações entre as alavancas nos objetos e as alavancas no corpo humano.**

3 **Uma alavanca artificial pode substituir um segmento do corpo de uma pessoa? Justifiquem.**
Espera-se que os estudantes reconheçam que as próteses podem substituir um membro ou um segmento de membro.

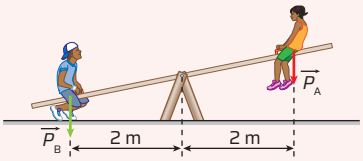
4 **Observem os objetos representados. Imaginem realizar a mesma atividade sem o uso de uma dessas ferramentas com alavanca e expliquem como seria realizada essa atividade.**
A proposta, nesta questão, é explorar as dificuldades de realizar tarefas simples sem o uso de alavancas.

5 **A seguinte frase é atribuída ao matemático grego Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.): "Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio e moverei o mundo". Do ponto de vista físico, justifiquem essa frase.**
Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reconheçam que as alavancas, ao "ampliar" a força humana, auxiliam as pessoas na realização de diversas tarefas.

2. a) Como o torque da força F_2 é mais intenso que o torque da força F_1, a barra vai girar no sentido anti-horário.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 Duas crianças brincam em uma gangorra. Seus pesos são $P_A = 400$ N e $P_B = 500$ N. A distância do ponto de apoio para ambas é 2 m. A criança **B** permanece na parte de baixo da gangorra e do lado esquerdo; a criança **A** fica suspensa no lado oposto.



AMj Studio/ID/BR

a) Use o conceito de torque para explicar como a criança **B** consegue suspender a criança **A**.

b) Calcule o torque resultante em relação ao ponto de apoio e determine seu sentido.

c) Em relação ao ponto de apoio, calcule qual deveria ser a posição da criança **B** para que a gangorra ficasse em equilíbrio. Considere que, em equilíbrio, o torque resultante deve ser nulo.

Resolução

a) Os torques são aplicados em sentidos opostos. O peso de cada criança atua sobre a prancha da gangorra e, associado à alavanca de ação dessa força, produz o torque; o torque resultante causa o movimento de rotação. Como as crianças têm pesos diferentes e estão à mesma distância do ponto de apoio, a criança mais pesada produz maior torque do que a mais leve.

b) Para obter o torque resultante, calcula-se o torque de cada criança, para depois analisar o equilíbrio de torques.

Calculando o torque de **A**:

$M_A = P_A \cdot b \Rightarrow M_A = 400 \cdot 2 \Rightarrow M_A = 800 \text{ N} \cdot \text{m}$

Calculando o torque de **B**:

$M_B = P_B \cdot b \Rightarrow M_B = 500 \cdot 2 \Rightarrow M_B = 1000 \text{ N} \cdot \text{m}$

Para calcular o torque resultante, devemos considerar a tendência de rotação que cada uma das forças provoca (M_A negativo e M_B positivo):

$M = M_A + M_B = -800 + 1000$

$M = 200 \text{ N} \cdot \text{m}$

Portanto, o sentido de rotação é anti-horário.

c) Para a prancha ficar em equilíbrio, é necessário que os torques se anulem, ou seja: $M_A + M_B = 0$.

O torque de **A** não varia ($M_A = 800$ N).

O torque de **B** pode ser escrito como:

$M_B = 500 \cdot b_B$

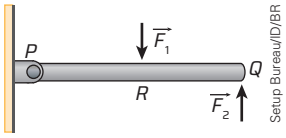
Assim, tem-se:

$M_A + M_B = 0 \Rightarrow -800 + 500 \cdot d_B = 0$

$-500 \cdot b_B = -800 \Rightarrow d_B = 1{,}6 \text{ m}$

Portanto, a criança **B** deveria se sentar a 1,6 m de distância do ponto de apoio para que a gangorra ficasse equilibrada.

2 Na figura, P é o ponto de apoio da rotação. A barra tem 60 cm de comprimento. São exercidas duas forças: $\vec{F}_1$ no ponto R, na metade da barra, e $\vec{F}_2$ no ponto Q, na extremidade oposta à do eixo de rotação. Despreze o peso da barra.



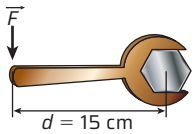
Setup Bureau/ID/BR

a) Se $F_1 = 10$ N e $F_2 = 6$ N, determine o sentido em que a barra vai girar.

b) Calcule o torque resultante. $M = 0{,}6 \text{ N} \cdot \text{m}$

c) Se $F_2 = 6$ N, calcule o valor de F_1 para que o sistema permaneça em equilíbrio. $F_1 = 12$ N

3 Para soltar certo parafuso, muito apertado, é necessária a aplicação de um torque igual a 150 N · m. Calcule o valor da força aplicada, considerando a figura e desprezando o peso da ferramenta.

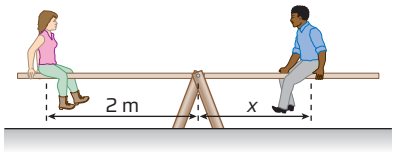


Setup Bureau/ID/BR

$F = 1\,000$ N

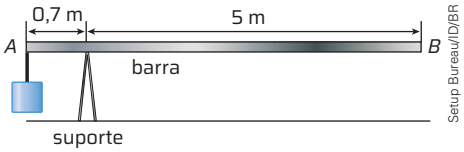
4 Duas pessoas estão sentadas em uma gangorra em equilíbrio. O peso da moça (à esquerda) é igual a 500 N, e sua distância em relação ao ponto de apoio é 2 m. O rapaz (à direita) tem peso igual a 625 N. Desprezando o peso da gangorra, determine a distância do rapaz em relação ao ponto de apoio para que a gangorra permaneça em equilíbrio.

O rapaz à direita deverá estar a 1,6 m do ponto de apoio para que o sistema permaneça em equilíbrio.



Adilson Secco/ID/BR

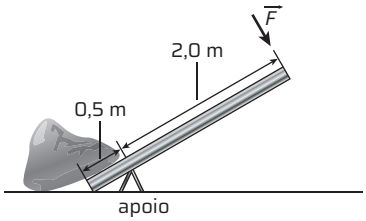
5 Uma barra rígida e de massa desprezível tem um corpo com peso de 60 N pendurado em uma de suas extremidades, conforme a figura a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

- Calcule o valor da força que deve ser exercida em B para que o sistema permaneça em equilíbrio.

6 Para mover uma pedra de 120 kg, uma pessoa monta uma alavanca como a do esquema a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

- Considere desprezível o peso da barra e determine o menor valor de F para que a pessoa consiga movimentar a pedra. $F = 300$ N

5. A força que deve ser aplicada em B para que o sistema permaneça em equilíbrio deverá ter intensidade de 8,4 N.

Não escreva no livro.

ESTUDO DOS FLUIDOS

O QUE SÃO FLUIDOS

1. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
2. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Quando observamos o comportamento da água, do ar e da fumaça, percebemos que esses elementos apresentam características físicas diferentes daquelas de um objeto sólido. Por exemplo, ao segurarmos um bloco de madeira nas mãos e, em seguida, virarmos esse bloco sobre uma mesa, ele não sofrerá nenhuma alteração em sua forma. No entanto, se fizermos o mesmo com um copo com água, o líquido se espalhará pela mesa.

Os líquidos e os gases são denominados **fluidos** porque ambos têm capacidade de fluir, isto é, de se espalhar naturalmente, e de se adaptar ao formato do recipiente que os contém. São classificados como fluidos todos os materiais em estado líquido (chamados líquidos) ou em estado gasoso (chamados gases).

Objetos sólidos, como o submarino retratado na foto, comportam-se de diferentes maneiras quando inseridos em um meio fluido como a água. Em função de suas características, sua massa pode variar de 1 400 toneladas, na superfície, a 1 550 toneladas, quando está submerso, e as propriedades dos meios fluidos lhe permitem, então, flutuar ou ficar totalmente submerso.

PARA COMEÇAR

1. Observe a imagem do submarino que está flutuando atracado no porto. Você acha que existem forças atuando para que ele permaneça nessa posição? Quais seriam elas?

2. Com suas palavras, explique como o submarino pode, em determinados momentos, flutuar e, em outros, submergir.

Submarino S-34 da classe Tikuna, construído no Brasil em parceria da Marinha brasileira com empresas alemãs. Seu nome homenageia o povo Ticuna, originário da América do Sul, conhecido pela persistência na luta pela sobrevivência. Base naval em Niterói (RJ). Foto de 2014.

Yasuyoshi Chiba/AFP

Sérgio Dotta Jr./ID/BR

Pesquisadora transfere uma porção de líquido para um béquer usando uma pipeta. Béquer e pipeta são recipientes de vidro graduados, geralmente usados em laboratórios para medir e transportar líquidos.

GRANDEZAS BÁSICAS NO ESTUDO DOS FLUIDOS

As leis da mecânica se aplicam aos movimentos dos fluidos e envolvem três grandezas para descrevê-los: o **volume**, a **densidade** e a **pressão**, apresentados a seguir.

Volume

Chamamos de **volume (*V*)** o espaço ocupado por corpos sólidos, líquidos ou gasosos.

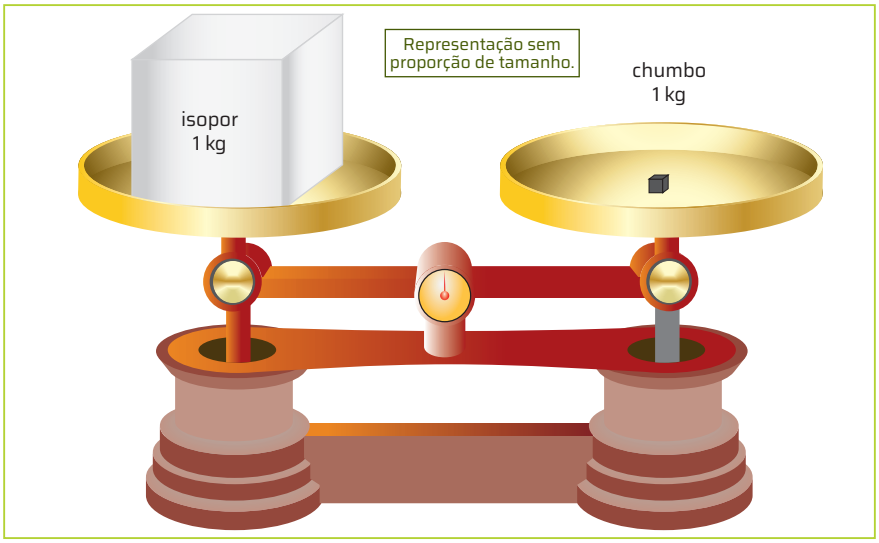
Na prática, quando se trata de gases ou de líquidos, a maneira mais simples de medir o volume é colocando-os em um recipiente de volume conhecido ou em um recipiente cuja parede externa tenha uma escala graduada, para aferir o conteúdo. O volume de um gás corresponde ao volume do próprio recipiente onde está armazenado.

A unidade de medida de volume empregada no cotidiano é o litro (L), embora no SI sejam usados o metro cúbico (m^3), seus múltiplos e submúltiplos, valendo a igualdade **1 m³ = 1 000 L**. Outras igualdades também usuais são:

$$1\ cm^3 = 1\ mL \quad \text{e} \quad 1\ dm^3 = 1\ L$$

Densidade

Considere duas massas iguais de 1 kg, uma de isopor e outra de chumbo, sobre os pratos de uma balança de pratos equilibrada, como mostra a figura.



Setup Bureau/ID/BR

Apesar de ambos os corpos apresentarem a mesma massa (1 kg), o espaço ocupado (volume) pelo corpo de isopor é bem maior que o espaço ocupado pelo corpo de chumbo. Dizemos, então, que a massa do corpo de isopor está menos concentrada (ocupa maior volume) que a massa do corpo de chumbo (ocupa menor volume). A grandeza física relacionada à concentração de massa de um corpo ou material é a **densidade**.

A **densidade (*d*)** de um corpo é calculada pela razão entre sua **massa** e o **volume** delimitado por sua superfície. Matematicamente, escrevemos:

$$d = \frac{m}{V}$$

Dessa relação, podemos concluir que, quanto mais massa houver em certo volume ou quanto menor for o volume ocupado por determinada massa, maior será a densidade do corpo. E vice-versa: quanto menos massa houver em certo volume ou quanto maior for o volume ocupado por determinada massa, menor será a sua densidade.

DE OLHO NO CONCEITO

Espalhamento e compressibilidade

Embora existam características comuns a líquidos e gases, há diferenças que devem ser consideradas, como o **espalhamento** e a **compressibilidade**.

No espalhamento, os gases não têm forma nem volume próprios; assim, quando contidos em recipientes fechados, os gases se espalham ocupando todo o volume disponível. Os líquidos, por sua vez, não têm forma própria, mas apresentam volume definido; assim, embora adaptem sua forma ao formato do recipiente que os contém, seu volume permanece inalterado. Na compressibilidade, quando contidos em recipientes idênticos, submetidos à pressão de um êmbolo, líquidos e gases têm comportamentos distintos. Os líquidos, quando submetidos a pequenas forças, tendem a resistir à pressão, sem alterar seu volume, enquanto os gases têm facilmente seu volume alterado.

ROTEIRO

1. Considere uma amostra de 26 g de glicerina, cujo volume é igual a 20 cm³. Calcule a densidade da glicerina.

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow d = \frac{26}{20} = 1{,}3 \Rightarrow d = 1{,}3\ g/cm^3$

Não escreva no livro.

No SI, a unidade de medida de densidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m^3).

No cotidiano, outras unidades são mais usuais, como o grama por centímetro cúbico (g/cm^3). Lembrando que 1 g = 0,001 kg e que 1 cm = 0,01 m, podemos estabelecer esta relação entre as duas unidades:

$$1\,\frac{g}{cm^3} = \frac{1 \cdot 10^{-3}\,kg}{1 \cdot 10^{-6}\,m^3} = 1 \cdot 10^3\,\frac{kg}{m^3}$$

Assim, por exemplo, podemos dizer que 12 g/cm^3 equivalem a 12 000 kg/m^3, ou $1{,}2 \cdot 10^4$ kg/m^3.

Quando nos referimos à densidade de uma substância pura, usamos o termo **massa específica** em vez de densidade. Sob pressão e temperatura constantes, uma substância pura apresenta massa diretamente proporcional a seu volume, ou seja, a razão $\frac{m}{V}$ é constante. Essa constante é representada pela letra grega μ (lemos "mi").

DENSIDADE DE ALGUNS MATERIAIS*	
Substância	**Densidade (kg/m^3)**
água	1 000
etanol	800
alumínio	2 700
aço inoxidável	7 900
cobre	8 900
platina	21 400
prata	10 500

*Valores aproximados.

Fonte de pesquisa: Tipler, P. A.; Mosca, G. *Física para cientistas e engenheiros*: mecânica, oscilações e ondas. Tradução: Paulo Machado Mors. Rio de Janeiro: LTC, 2009. v. 1. p. 432.

Fotografias: Fe Reis/Fotoarena

Densímetro instalado em uma bomba de combustível. Com esse instrumento, é possível identificar se o combustível foi adulterado, o que costuma acontecer com a adição de água ao álcool.

ATIVIDADE RESOLVIDA

A foto mostra um recipiente completamente preenchido com líquidos de diferentes densidades e imiscíveis entre si, cada um correspondendo a uma das cores.

Identifique qual é o líquido mais denso.

Alexander Shalamov/iStock/Getty Images

Resolução

Por causa da ação da gravidade, o líquido de maior densidade (e, portanto, de maior peso) se acomodará na parte mais baixa do recipiente. Logo, o líquido marrom tem maior densidade. Usando o mesmo raciocínio, conclui-se que o líquido amarelo tem menor densidade.

DE OLHO NO CONCEITO

Densidade relativa

A densidade relativa de duas porções de matéria determina qual delas se equilibra sobre a outra; a de maior densidade "desce" e a de menor densidade "sobe".

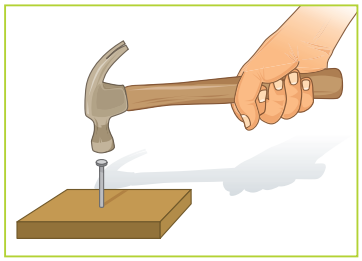
Líquidos voláteis

Alguns líquidos têm a propriedade de passar muito rapidamente para o estado de vapor ou gás em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), por isso, são chamados voláteis. Para evitar a perda da substância para o ambiente que a cerca, os frascos devem ser mantidos bem fechados.

Um exemplo é o éter etílico, líquido incolor, de cheiro forte, volátil e inflamável, que costumava ser usado como anestésico, mas com diversos efeitos colaterais nos pacientes, como irritação no trato respiratório e alteração na pressão arterial.

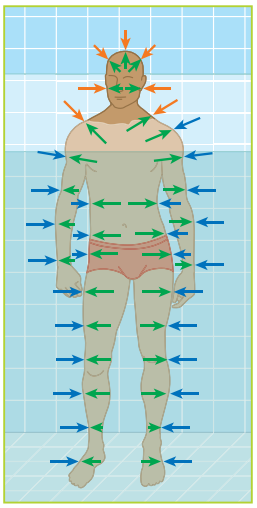
Com o tempo, o éter foi substituído por substâncias anestésicas mais seguras, que não apresentam o risco de explosão, isto é, são menos voláteis, e têm menos efeitos colaterais. Atualmente, o éter etílico é usado como solvente na indústria química.

Pressão

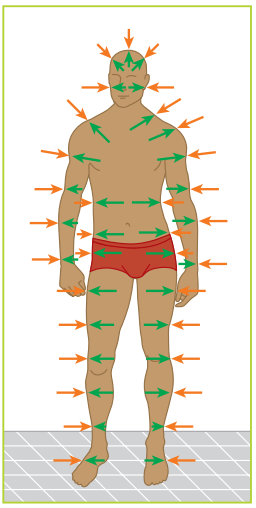

AMj Studio/ID/BR

Ao martelar a cabeça do prego, a força exercida pelo martelo concentra-se na ponta do prego, o que facilita sua penetração na madeira.

Quando alguém entra em uma piscina, acaba por deslocar um volume de água equivalente ao volume da parte submersa do próprio corpo. Quando a pessoa sai da piscina, o nível da água volta ao ponto inicial. Seja no ar, seja na água, o corpo está sujeito à força realizada pelo fluido a seu redor, e essa força age sobre toda a sua superfície. A grandeza física que descreve a distribuição dessa força sobre a área superficial do corpo é denominada **pressão**. Observe nos esquemas a seguir a representação da situação descrita.


Adilson Secco/ID/BR

Esquema 1: Corpo imerso na água. Cores-fantasia.


Adilson Secco/ID/BR

Esquema 2: Corpo imerso no ar. Cores-fantasia.

Representações sem proporção de tamanho.

Fonte de pesquisa: Grimm, A. Medidas de pressão atmosférica. In: *Meteorologia básica*: notas de aula. Curitiba: UFPR, 1999 [Recurso eletrônico]. Disponível em: https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap4/cap4-6.html. Acesso em: 10 out. 2024.

No esquema **1**, as setas azuis ilustram a força aplicada pela água em toda a superfície da parte imersa do corpo. Em ambos os esquemas, as setas laranja ilustram a força aplicada pelo ar (no esquema **1**, sobre a parte do corpo que está fora da água). Nos dois esquemas, as setas verdes indicam a força relacionada à pressão exercida, de dentro para fora, pelo corpo imerso em um fluido; essa pressão interna evita que o corpo seja esmagado pelos fluidos em que está imerso.

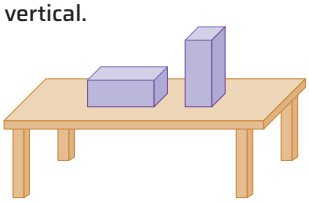
A pressã é definida como a razão entre a intensidade da **força** aplicada perpendicularmente a uma superfície e a **área** dessa superfície. Matematicamente, escrevemos:

$$p = \frac{|\vec{F}|}{A}$$

No SI, a unidade de medida de pressão é o newton por metro quadrado (N/m^2), unidade também chamada de pascal (Pa).

ROTEIRO

2. **A figura a seguir mostra dois blocos idênticos apoiados sobre uma mesa, um posicionado na horizontal e outro, na vertical.**


Setup Bureau/ID/BR

- Identifique, no caderno, qual dos blocos exerce maior pressão sobre a mesa. Justifique sua resposta.

Espera-se que os estudantes respondam que o bloco que exerce maior pressão sobre a mesa é o bloco posicionado na vertical, pois pressão é a razão entre a intensidade da força resultante aplicada perpendicularmente a uma superfície e à área dessa superfície.

Pressão atmosférica

A atmosfera terrestre é composta de uma mistura de gases, na proporção de aproximadamente 78% de gás nitrogênio, 21% de gás oxigênio e 1% de outros gases, como gás carbônico, ozônio, hélio, argônio, etc. (desconsiderando o vapor-d'água, que varia conforme as condições climáticas).

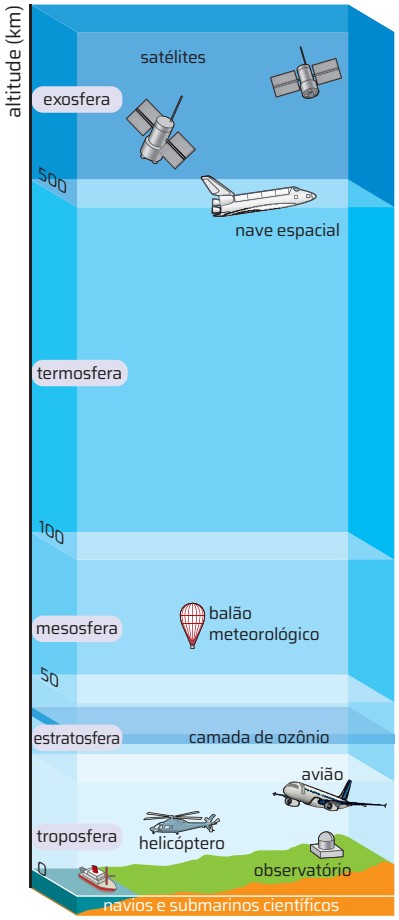
Esses gases permanecem ao redor da Terra devido à ação gravitacional. Os gases da atmosfera exercem pressão na superfície do planeta e em todos os corpos nele existentes. Essa pressão é chamada **pressão atmosférica**.

A atmosfera terrestre se estende por cerca de 1 000 quilômetros de altitude (observe o esquema na página 149). À medida que a altitude aumenta, o ar vai tornando-se rarefeito, ou seja, menos denso. Esse fenômeno pode ser explicado em razão da altura da coluna de ar sobre determinado ponto; quanto menor a altitude, mais ar há sobre o ponto; portanto, a força e a pressão são maiores e, como consequência, a densidade atmosférica também é maior.

Não escreva no livro.

Portanto, quanto maior for a altitude, menor será a densidade do ar atmosférico e, por conseguinte, menor será a pressão exercida por ele. Convencionou-se que a pressão atmosférica **ao nível do mar** tem valor igual a 1 atmosfera (1 atm), de modo que, conforme aumenta a altitude, os valores medidos de pressão atmosférica diminuem e são sempre menores que 1 atm. Em locais abaixo do nível do mar – como é o caso da região do mar Morto, no Oriente Médio –, os valores de pressão atmosférica aumentam à medida que se desce e são sempre maiores que 1 atm.

A pressão atmosférica também é um parâmetro para observações meteorológicas. Uma variação de pressão geralmente antecede mudanças acentuadas nas condições do tempo, como chuvas, frentes frias e elevações significativas de temperatura. O instrumento usado para medir as variações de pressão atmosférica é o **barômetro**.



Adilson Secco/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho e distância.

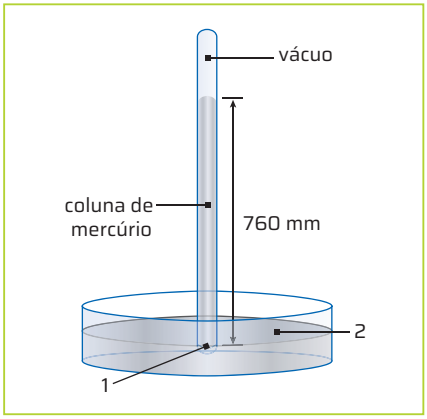
À medida que a altitude aumenta, o ar atmosférico fica mais rarefeito (menos denso). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: NASA. Earth´s atmospheric layers. NASA, 22 jan. 2013. Disponível em: https://www.nasa.gov/image-article/earths-atmospheric-layers-3/. Acesso em: 11 out. 2024.

Medida da pressão atmosférica

O cientista que mediu pela primeira vez a pressão atmosférica foi o físico e matemático italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), por volta de 1643.

O experimento de Torricelli, representado no esquema a seguir, consistiu em encher completamente um tubo com mercúrio e emborcá-lo em um recipiente também contendo mercúrio. Era esperado que o metal líquido, de elevada densidade, descesse totalmente por causa da ação da força gravitacional. De fato, um pouco do líquido que estava no tubo desceu para o recipiente, mas uma parte permaneceu no tubo.



Setup Bureau/ID/BR

Torricelli verificou que a pressão exercida pela coluna de mercúrio dentro do tubo (**1**) é igual àquela exercida pela atmosfera sobre a superfície do mercúrio no recipiente aberto (**2**). Concluiu, assim, que a pressão atmosférica é equivalente à pressão de uma coluna de mercúrio. A altura da coluna varia conforme a altitude do lugar. Cores-fantasia.

Torricelli concluiu que a pressão atmosférica atuante sobre o mercúrio no recipiente aberto impedia a descida do volume de mercúrio que restava no tubo. Então, ele mediu a altura da coluna de mercúrio que permaneceu no tubo e obteve o valor de 760 mm (ao nível do mar, no local onde foi realizada a experiência), equivalente a 1 atm. Daí surgiu a medida da pressão em milímetro de mercúrio (mmHg).

As unidades de pressão se relacionam da seguinte maneira:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1{,}013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

A pressão atmosférica e o corpo humano

Para percebermos algum efeito da pressão atmosférica, é preciso haver uma variação significativa entre as pressões interna e externa ao corpo. Isso acontece, por exemplo, quando viajamos de avião ou quando nos deslocamos entre locais de acentuada diferença de altitude, de regiões montanhosas para locais ao nível do mar, e vice-versa. Nessas situações, a mudança de pressão é sentida no interior das orelhas e superada assim que o corpo se adapta à nova pressão. Se a variação de altitude é grande e rápida, o corpo pode apresentar outros sintomas, como dor de cabeça, náusea, dificuldade respiratória e perda de apetite. É o que costuma ocorrer com os atletas brasileiros que vão jogar futebol em cidades situadas em altitudes elevadas, como na Cidade do México, no México (a 2 000 m de altitude), e em La Paz, na Bolívia (a 3 600 m de altitude).

3. Quanto maior for a altitude, maior será a diferença de pressão e de temperatura dentro e fora do avião. A pressurização antes da decolagem assegura que a temperatura se mantenha estabilizada sem sofrer grandes alterações e que a pressão do ar dentro da cabine continue semelhante à do nível do solo.

ROTEIRO

3. Aviões comerciais que transportam passageiros em grandes altitudes têm seu interior pressurizado antes da decolagem. Explique por que esse procedimento é necessário.

A diferença de pressão atmosférica entre os locais ao nível do mar e os locais a grandes altitudes é notável para o ser humano, a ponto de causar diferenças fisiológicas entre pessoas que nascem e crescem à beira-mar e pessoas que sempre viveram em regiões montanhosas. As diferenças ocorrem porque o organismo se adapta à quantidade de oxigênio existente no ambiente. Quem está habituado a lugares com elevada altitude apresenta volume pulmonar aumentado e maior número de hemácias (células responsáveis pelo transporte de oxigênio até as demais células).

ATIVIDADE RESOLVIDA

Um professor de Física resolveu reproduzir a experiência de Torricelli em laboratório. Ao final, constatou que a coluna de mercúrio se estabilizou em 700 mmHg.

a) Converta o valor medido para atm.

b) Calcule o valor medido na unidade de pressão do SI, isto é, em pascal (Pa).

c) Elabore uma hipótese para os 700 mmHg, em vez dos 760 mmHg obtidos por Torricelli.

Resolução

a) Sabe-se que 1 atm equivale a 760 mmHg. Aplicando uma regra de três, temos:

760 mmHg ——— 1 atm

700 mmHg ——— x

$760 \cdot x = 700$

$x = \frac{700}{760} \Rightarrow x \approx 0{,}92$

Portanto, o valor medido equivale a aproximadamente 0,92 atm.

b) Sabemos que 760 mmHg equivalem a $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa. Aplicando uma regra de três, temos:

760 mmHg ——— $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa

700 mmHg ——— x

$760 \cdot x = 700 \cdot 1{,}013 \cdot 10^5$

$x = \frac{700 \cdot 1{,}013 \cdot 10^5}{760} \Rightarrow x \geqslant 0{,}93 \cdot 10^5 \Rightarrow x \geqslant 9{,}3 \cdot 10^4$

Portanto, o valor medido equivale a aproximadamente $9{,}3 \cdot 10^4$ Pa.

c) O experimento provavelmente foi realizado em um local com altitude acima do nível do mar.

AÇÃO E CIDADANIA

A calibragem dos pneus e a segurança no trânsito

Verificar e corrigir a pressão dos pneus é uma tarefa essencial para quem utiliza veículos como carros, motocicletas, caminhões e bicicletas. A calibragem incorreta pode provocar danos na estrutura do veículo e até causar acidentes.

Submeter o pneu a uma pressão inadequada reflete diretamente no funcionamento do veículo, alterando sua estabilidade, o conforto e a aderência.

Caso o pneu apresente uma pressão menor que a recomendada, podem ocorrer desgaste irregular e alterações em sua estrutura interna, aumentando a probabilidade de ocorrência de furos e até de explosão.

OPgrapher/Shutterstock.com/ID/BR

Como medida de segurança, recomenda-se que os pneus sejam calibrados no máximo a cada 15 dias, seguindo os valores de pressão estipulados no manual do veículo (esse valor pode ser encontrado também na lateral do pneu).

1. Junte-se aos colegas para fazer uma pesquisa na comunidade sobre a frequência com que se verifica a calibragem dos pneus utilizados no transporte público. Investiguem onde se realiza esse procedimento e como os veículos se comportam após a calibragem.

2. Depois, elaborem textos que expliquem por que é importante a calibragem dos pneus, onde obter as informações sobre a pressão mais adequada para cada situação e quais riscos a calibragem incorreta pode acarretar. Utilizem esses textos para confeccionar panfletos.

1. Resposta pessoal. Aproveite a proposta da atividade e incentive os estudantes a realizar a pesquisa consultando mídias impressas e digitais.
2. Compartilhe com a turma os dados que foram obtidos e promova um debate sobre o tema, priorizando a argumentação como forma de validar as opiniões.

Não escreva no livro.

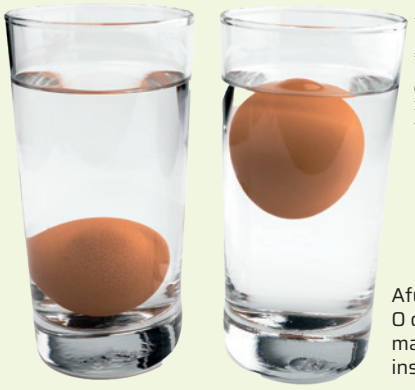
Experimento sobre densidade

Em nosso cotidiano, deparamo-nos com inúmeras situações cujas causas desconhecemos. Os fluidos, por exemplo, têm propriedades e aplicações que podem ser observadas em diferentes circunstâncias, como na circulação sanguínea do nosso corpo, na compressão e na expansão do gás nos refrigeradores, no bombeamento da água para a irrigação, na mistura de ar e combustíveis em motores dos veículos, etc. Mas quais são as propriedades que podem ser identificadas no estudo dos fluidos?

Nesta atividade, você e os colegas vão estudar uma dessas propriedades – a densidade – e verificar como ela pode variar em diferentes situações que envolvem meios fluidos.

Material

- pedaço de parafina de uma vela (sem o pavio)
- água
- álcool
- ovo inteiro cru
- copo de vidro transparente
- colher
- sal
- duas vasilhas



Arthit Pompikanet/ iStock/Getty Images

Afunda ou flutua? O comportamento de materiais varia ao serem inseridos em meio fluido.

Como fazer

1. Coloquem água em uma das vasilhas e álcool na outra, até enchê-las.
2. Depositem a parafina na vasilha com água. Observem e anotem no caderno:
   - A parafina flutua na água?
3. Coloquem agora a parafina na vasilha com álcool. Observem e anotem no caderno:
   - A parafina flutua no álcool?
4. Depositem cuidadosamente o ovo inteiro cru em um copo com água, que deve conter água em, aproximadamente, 2/3 do seu volume total. Observem e anotem no caderno:
   - O ovo cru flutua ou afunda na água?
5. Aos poucos, adicionem sal à água com a colher, até perceberem o movimento do ovo no líquido.
6. Acrescentem mais um pouco de sal. Observem e anotem no caderno:
   - O ovo cru flutua ou afunda na água depois que o sal é adicionado?

Para concluir

1 **Como se explicam os resultados da experiência com a parafina? Compare a densidade da água e a do álcool com base neste experimento.**

2 **Qual densidade é maior: a do ovo ou a da água? Como vocês chegaram a essa conclusão?** A densidade do ovo é maior que a da água, porque o ovo afunda.

3 **O que acontece com a densidade da água ao se acrescentar sal a ela? E com a densidade do ovo depois de adicionar o sal à água?**
Com o acréscimo do sal, a densidade da água aumenta e fica maior que a do ovo.

1. A densidade da parafina é menor que a da água, por isso ela flutua. Mas, no álcool, a parafina fica submersa, porque sua densidade se encontra entre a densidade da água e a do álcool. Portanto, a densidade do álcool é menor que a da água.

PRINCÍPIOS BÁSICOS NO ESTUDO DOS FLUIDOS

Agora que já foram descritas as principais grandezas envolvidas na caracterização dos fluidos, vamos ver como elas se relacionam. Para isso, estudaremos três importantes relações: o teorema de Stevin, o princípio de Pascal e o princípio de Arquimedes.

O teorema de Stevin: profundidade e pressão

Um corpo sobre a superfície da Terra está imerso no ar, assim como um corpo mergulhado em um recipiente com água está imerso nesse líquido. Os dois fluidos – ar e água – agem do mesmo modo sobre os corpos neles imersos, exercendo pressão sobre suas superfícies. Uma variação de poucos metros abaixo da superfície do líquido, porém, causa uma alteração de pressão muito maior que a variação na mesma distância em altura na atmosfera.

Isso acontece porque o aumento da pressão em um fluido, ocasionado pela profundidade, é diretamente proporcional à sua densidade: fluidos mais densos exercem uma pressão adicional maior do que fluidos menos densos. É o que ocorre com a água em relação ao ar.

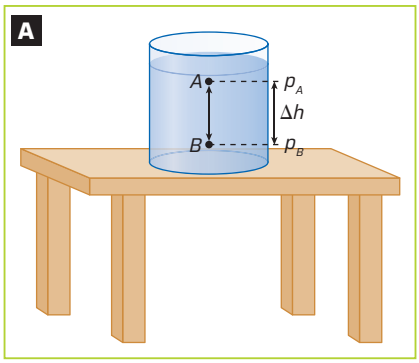
Para obter a variação de pressão a que um corpo está submetido, comparamos os valores de pressão em dois pontos do fluido no qual o corpo está imerso. Observe o exemplo na imagem **A**, em que os pontos *A* e *B* foram tomados em função de sua profundidade na água contida no recipiente.

Para calcular a diferença de pressão (Δp) entre os pontos *A* e *B*, devemos considerar três fatores: a densidade (d) da água, a aceleração da gravidade (g) e a diferença de altura (Δh) entre *A* e *B*. Matematicamente, a relação entre essas grandezas pode ser expressa pela equação:

$$\Delta p = d \cdot g \cdot \Delta h$$

Essa expressão foi descrita pelo físico e matemático belga Simon Stevin (1548-1620) e é conhecida como **teorema de Stevin** ou **princípio fundamental da hidrostática**.

Representação sem proporção de tamanho.



Setup Bureau/ID/BR

Diferença de pressão da água em dois pontos, *A* e *B*, de diferentes profundidades: $\Delta p = p_B - p_A$, em que $p_A < p_B$. Cores-fantasia.

Dedução do teorema de Stevin

Além da verificação experimental, é possível deduzir o teorema de Stevin. Considere um cilindro contendo líquido que é colocado no interior de um recipiente, que contém o mesmo líquido, como representado na imagem **B**.

Além do peso $\vec{P}$ do cilindro, há outras duas forças que devem ser consideradas: a força $\vec{F_2}$, devido à pressão exercida na base do cilindro, e a força $\vec{F_1}$, devido à pressão exercida no topo. As forças aplicadas pela pressão nas laterais do cilindro se equilibram.

Como o cilindro está em equilíbrio, temos: $F_2 = F_1 + P$ (I)

As intensidades das forças F_1 e F_2 podem ser expressas em função da pressão aplicada na base e no topo do cilindro:

$$F_2 = p_2 \cdot A \text{ e } F_1 = p_1 \cdot A \text{ (sendo } A \text{ a área da base do cilindro)}$$

Assim, a equação (I) pode ser reescrita na seguinte forma:

$$p_2 \cdot A = p_1 \cdot A + m \cdot g \quad \text{(II)}$$

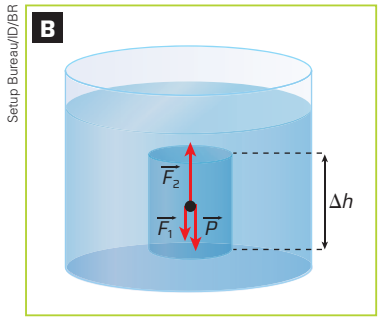
Dividindo os dois membros da equação (II) por *A*, temos:

$$p_2 = p_1 + \frac{m \cdot g}{A} \quad \text{(III)}$$

Sabemos que a área *A* da base do cilindro pode ser escrita em função do volume do cilindro: $A = \frac{V}{\Delta h}$. Assim:

$$p_2 = p_1 + \frac{m \cdot g}{\frac{V}{\Delta h}} \Rightarrow p_2 = p_1 + \frac{m \cdot g \cdot \Delta h}{V}$$

Como $d = \frac{m}{V}$ e $p_2 - p_1 = \Delta p$, resulta: $\Delta p = d \cdot g \cdot \Delta h$



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

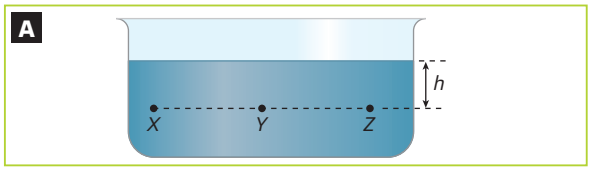
Não escreva no livro.

Consequências do teorema de Stevin

A aplicação do teorema de Stevin permite chegar às seguintes conclusões:

- Em um líquido em equilíbrio, todos os pontos que estão à mesma profundidade *h* estão sujeitos à mesma pressão (imagem **A**).

AMj Studio/ID/BR



Os pontos *X*, *Y* e *Z* estão à mesma profundidade *h*; portanto, a pressão P_{total} sobre eles é a mesma. Cores-fantasia.

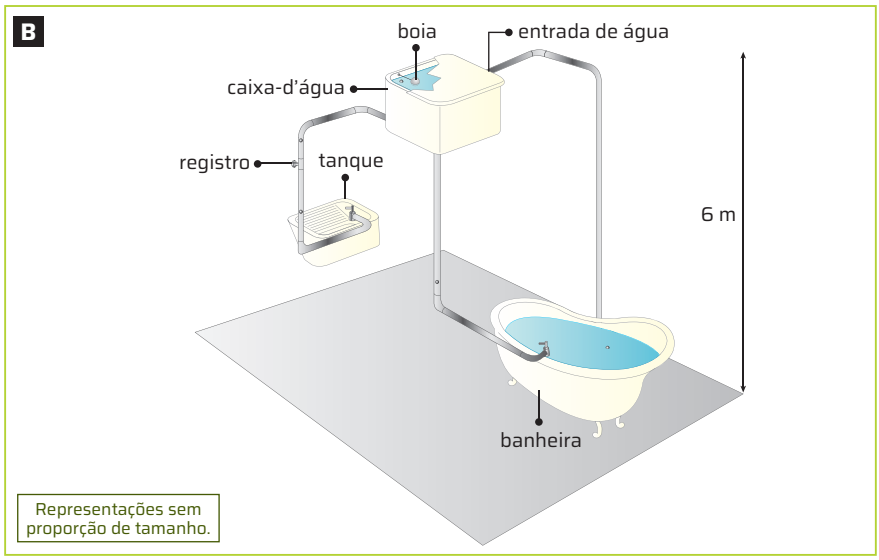
- Como a superfície do líquido está sujeita à pressão da atmosfera, a pressão total à profundidade *h* no interior do líquido será:

$$P_{total} = P_{atmosférica} + d \cdot g \cdot h$$

Vasos comunicantes e distribuição de água

As caixas-d'água ficam sempre na parte mais alta das construções. A elas conecta-se um cano com várias subdivisões, pelo qual a água é distribuída entre as diversas dependências da construção, como mostra o esquema **B**.

Setup Bureau/ID/BR



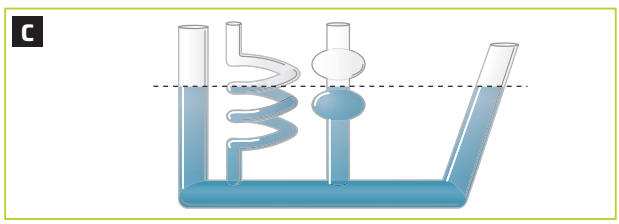
Distribuição de água em uma residência. O ideal é a caixa-d'água ficar na parte mais alta da construção, de modo que se aproveite a ação da força gravitacional e se dispense o uso de bombas hidráulicas, que consomem energia elétrica. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Gukovas, M.; Martins, J. R. S.; Contrera, R. C. Aula 5: abastecimento de água - partes constituintes. *E-disciplinas da USP*, [20--]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1889013/mod_resource/content/7/PHD0313%20-%20Aula%205%20-%20Instalações%20de%20Agua%20Fria%20-%20Partes%20Constituintes%20%281%29.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

A condução da água a diferentes pontos da construção é possibilitada pela tendência de os fluidos líquidos, sob ação da gravidade, ocuparem locais mais baixos e espalharem-se pelo espaço.

Essa situação é semelhante à mostrada no esquema **C**, no qual está representado um recipiente de vidro com quatro tubos de formatos diferentes, abertos na parte superior e conectados na parte inferior por uma base comum. Os tubos podem ser chamados de "vasos", pois todos são receptores de líquido; por estarem interligados pela base, esses vasos são denominados "comunicantes". Daí o nome tradicional de estruturas desse tipo: **vasos comunicantes**.

Setup Bureau/ID/BR



Exemplo de vasos comunicantes. A linha tracejada indica o mesmo nível do líquido para todos os vasos. Cores-fantasia.

PARA EXPLORAR

Leia

***Dinâmica dos fluidos*, de Masahiro Takei. São Paulo: Novatec, 2016 (Coleção Guia Mangá).**

Nas páginas ilustradas desse livro, você vai aprender, de forma divertida, exemplos do dia a dia que envolvem conceitos da estática e da dinâmica dos fluidos, para aprofundar seu estudo.

Vasos comunicantes e o nivelamento de paredes

Fernando Favoretto/ID/BR

Com um pedaço de mangueira dobrado em forma de U e preenchido com água, os pedreiros costumam verificar se uma parede está nivelada, como se vê na foto. Cada um dos lados da mangueira em forma de U constitui um vaso de um sistema de vasos comunicantes. A mangueira encurvada deve ser encostada na parede, para que o pedreiro se certifique de que a água está no mesmo nível nas duas pontas da mangueira. Se estiver, a parede está corretamente nivelada em relação à horizontal.

ROTEIRO

4. Uma das muitas aplicações do conhecimento sobre o funcionamento dos vasos comunicantes diz respeito aos bicos das chaleiras usadas para aquecer líquidos. Note que o corpo da chaleira e o bico formam dois vasos comunicantes. Para evitar que o líquido transborde pelo bico, a chaleira deve ter a ponta do bico alinhada com a parte mais alta de seu corpo e, portanto, acima da linha da água. Como nos vasos comunicantes o líquido encontra-se no mesmo nível em todos os tubos, não há risco de a água derramar pelo bico com a chaleira na posição horizontal.

Miguel Garcia Saavedra/ Shutterstock.com/ID/BR

- Indique outros objetos que aplicam o princípio dos vasos comunicantes.

Resposta pessoal. Os estudantes podem citar objetos como radiadores de carros, caldeiras e torneiras que misturam água quente e água fria.

A característica de espalhamento dos líquidos possibilita que, nos sistemas de vasos comunicantes, ao se despejar líquido em um dos vasos, todos sejam preenchidos, mantendo-se sempre o mesmo nível do líquido neles.

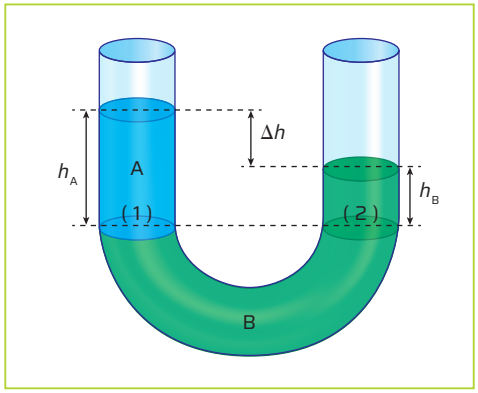
Como a variação da pressão é igual para todos os pontos do fluido que estejam em um mesmo nível, independentemente da forma dos vasos, todos os pontos localizados à mesma altura no interior do fluido estão sujeitos à mesma pressão.

A variação da pressão depende da densidade do fluido, da aceleração da gravidade e da profundidade do ponto considerado. Portanto, nos sistemas de vasos comunicantes, continua válido o teorema de Stevin: $\Delta p = d \cdot g \cdot \Delta h$

Assim, podemos enunciar o **princípio dos vasos comunicantes**:

> Um mesmo líquido colocado em um sistema de vasos comunicantes sempre atingirá o mesmo nível em todos os vasos, independentemente da forma de cada um.

Com base nesse princípio, é possível comparar líquidos de densidades diferentes, que não se misturam, isto é, que são **imiscíveis**. Para isso, as substâncias são colocadas em um tubo em forma de U. Depois de atingir o equilíbrio, as colunas do tubo apresentam alturas diferentes, como mostra o esquema a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

Devido ao princípio dos vasos comunicantes, a pressão do líquido **B** é a mesma nos pontos (**1**) e (**2**). Assim, podemos escrever a igualdade:

$$p_1 = p_2 \text{ (I)}$$

Em razão do equilíbrio dos líquidos, p_1 também é a pressão do líquido **A** no ponto (**1**), e p_2 é a pressão do líquido **B** no ponto (**2**).

Com base no mesmo teorema, temos a igualdade:

$$p_{total} = p_{atmosférica} + d \cdot g \cdot h \text{ (II)}$$

Aplicando a equação (II) na equação (I), obtemos:

$$p_{atmosférica} + d_A \cdot g \cdot h_A = p_{atmosférica} + d_B \cdot g \cdot h_B$$

Isto é: $d_A \cdot g \cdot h_A = d_B \cdot g \cdot h_B$

Portanto:

$$d_A \cdot h_A = d_B \cdot h_B$$

Assim, é possível considerar que, para dois fluidos inseridos no vaso comunicante, as alturas em relação ao nível da face de separação (**1**) são inversamente proporcionais às densidades dos líquidos de cada um dos lados.

Não escreva no livro.

1. Resposta pessoal. O objetivo da questão é levar os estudantes a refletir sobre a continuidade na produção do conhecimento científico e perceber que a ciência está em constante evolução, permitindo o desenvolvimento tecnológico, econômico e social em qualquer época e, consequentemente, a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

O princípio de Pascal

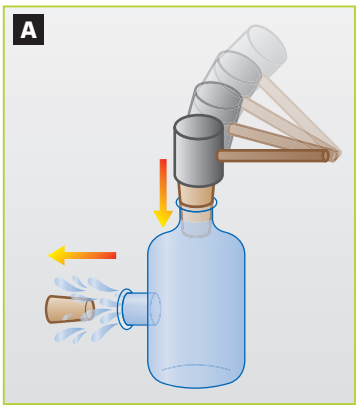
Observe o experimento representado na figura **A**, em que uma garrafa contendo um líquido, com dois orifícios tapados por rolhas, é atingida na parte superior por um martelo. No instante imediatamente posterior ao impacto, a rolha que tapa o orifício lateral é expulsa da garrafa pelo líquido.

Por que isso acontece? A rolha na parte de baixo da garrafa é expulsa porque ocorreu uma variação na pressão do líquido, a qual se propagou de maneira igual por todos os pontos do fluido.

Essa conclusão foi apresentada por Blaise Pascal (1623-1662), que aprofundou os estudos desenvolvidos por Simon Stevin.

O chamado **princípio de Pascal** pode ser assim enunciado:

> A variação da pressão em um fluido em repouso é transmitida igualmente a todos os pontos desse fluido.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Vamos tomar outro exemplo: duas seringas, de diâmetros diferentes, contêm água e estão interligadas por uma pequena mangueira, como mostra o esquema **B**. Quando se aperta o êmbolo da seringa **1**, ocorre uma variação de pressão em seu interior, que se propaga ao longo de todo o fluido, de modo que o êmbolo da seringa **2** também fica sujeito à mesma variação de pressão e se desloca para cima.

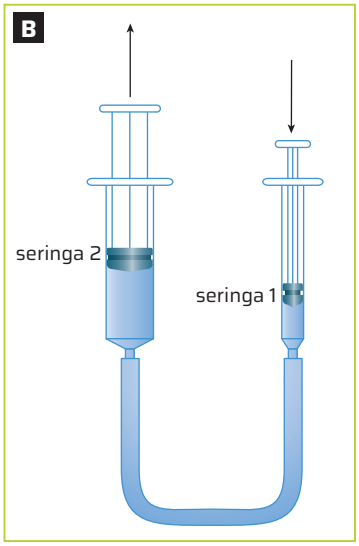
Como a pressão p é dada pela intensidade da força $\vec{F}$ dividida pela área A, temos:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

A pressão p_1 é transmitida ao longo de todo o fluido, sujeitando a área A_2 à mesma pressão exercida na área A_1 ($p_1 = p_2$). Então, se a pressão for constante, $\vec{F_2}$ terá um valor diferente de $\vec{F_1}$, pois $A_2 \neq A_1$. Matematicamente, essa relação se expressa assim:

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Conclui-se, então, que, se A_1 e A_2 forem diferentes e p_1 e p_2 forem iguais, as forças $\vec{F_1}$ e $\vec{F_2}$ serão diferentes.



Representações sem proporção de tamanho.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Os estudos de Blaise Pascal

Matemático, físico, filósofo, teólogo e escritor, o francês Blaise Pascal foi um notável cientista que formulou vários tratados, como a lei do equilíbrio dos líquidos, o triângulo aritmético e o princípio que leva seu nome.

Suas pesquisas sobre a física dos fluidos levaram-no à invenção da prensa hidráulica e da seringa, com base em indagações sobre experimentos do cientista Evangelista Torricelli com barômetros: qual força sustentava a coluna de mercúrio no tubo e o que preenchia o espaço vazio. Na época, havia uma discussão sobre a existência, ou não, do vácuo, e a maioria dos cientistas, em concordância com Aristóteles, não acreditava nessa possibilidade, mas, sim, em algum tipo de material que seria invisível.

Entretanto, Pascal realizou novos experimentos que confirmaram a existência do vácuo, acima da coluna de mercúrio dentro do barômetro, refutando ideias de que alguma matéria preencheria o espaço vazio.

Retrato de Blaise Pascal, por François Quesnel, c. 1651. Óleo sobre tela, 70 cm × 56 cm. Palácio de Versalhes e Trianon, França.

Museu Nacional Domaine de Trianon, Versalhes, França. Fotografia: Erich Lessing/Album/Easy Mediabank

Dando continuidade às suas pesquisas, seu trabalho em hidráulica o levou ao chamado princípio de Pascal, que favoreceu a invenção de instrumentos e máquinas cujo funcionamento se baseia na transmissão de pressão por meio de líquidos, como o elevador hidráulico e o freio de veículos automotores, contribuições que permitiram mudanças no panorama tecnológico de sua época e que ainda se aplicam nos dias atuais.

1. **Converse com os colegas sobre a importância da produção do conhecimento científico em diferentes épocas e sua aplicação para a melhoria da qualidade de vida das pessoas.**

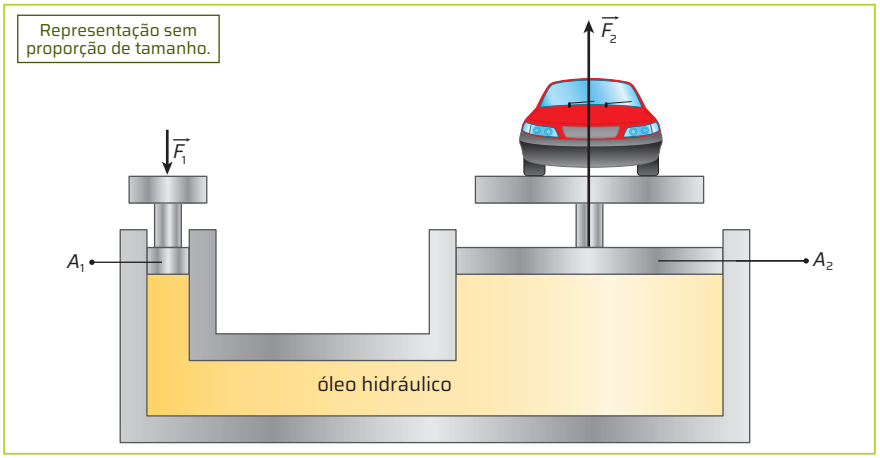
Elevadores e freios hidráulicos

Uma das aplicações mais conhecidas dos estudos de Pascal sobre o equilíbrio dos líquidos é o sistema do elevador hidráulico, máquina empregada para erguer corpos de grande massa.

Trata-se de um sistema mecânico que funciona pela transmissão da variação de pressão através de um líquido – o óleo hidráulico. Os elevadores hidráulicos permitem ampliar a força aplicada, que empurra o êmbolo sobre o qual está o corpo que se deseja erguer.

FotograFFF/Shutterstock.com/ID/BR

O princípio de Pascal explica o funcionamento do elevador hidráulico que ergue o automóvel.



Setup/Bureau/ID/BR

Esquema de um elevador hidráulico. A força $\vec{F}_1$ é exercida sobre o êmbolo de menor área (A_1). O óleo presente na base entre as áreas A_1 e A_2 é, então, pressionado. A variação da pressão é transmitida até o êmbolo maior, que sustenta o automóvel, erguendo-o. Cores-fantasia.

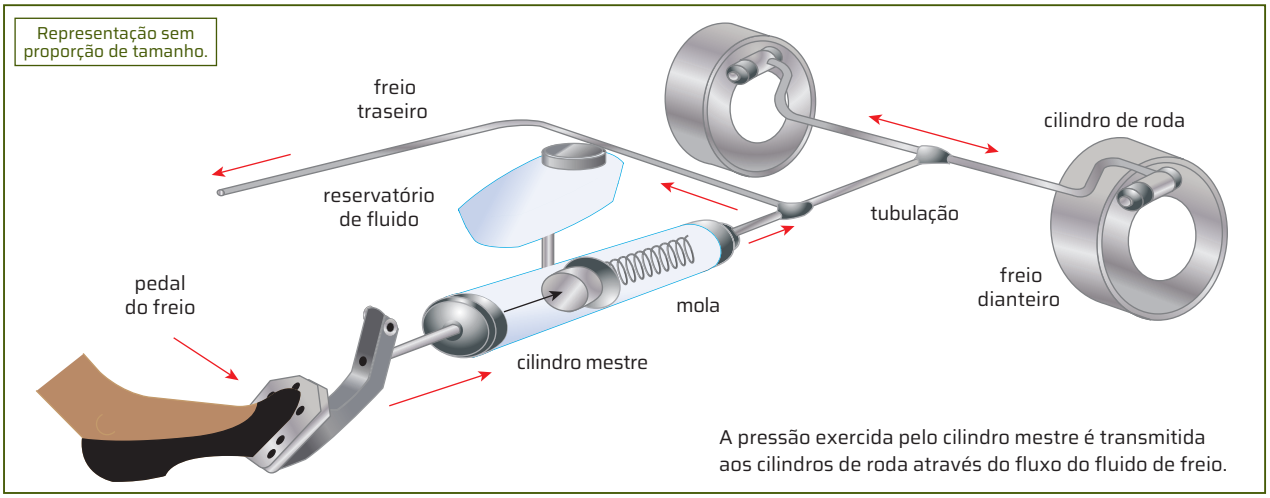
Fonte de pesquisa: Bergamim, J. P. C. *Princípio de Pascal em um experimento autoexplicativo*. 2007. Relatório final (Graduação em Física) – Instituto de Física Gleb Wataghin, Unicamp, Campinas, 2007. Disponível em: https://sites.ifi.unicamp.br/lunazzi/files/2014/04/JoaoP_LandersRF2.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

As cadeiras de dentista e de cabeleireiro também são exemplos de aparelhos que funcionam segundo o mesmo princípio. Pressionando o pedal para baixo, certa quantidade de ar entra no cilindro, preenchido parcialmente com óleo; por ser pressionado pelo ar, o óleo se eleva e empurra o assento para cima.

Outra aplicação bastante conhecida do princípio de Pascal é o freio hidráulico de veículos automotores, cujo esquema é apresentado na imagem a seguir. Quando o pedal do freio é pressionado, um pistão no interior de um cilindro cheio de óleo é empurrado. Com isso, há uma variação de pressão na região de contato entre o cilindro e o óleo, que é transmitida a todos os pontos desse fluido e chega às pastilhas instaladas nas rodas. As pastilhas "prendem" as rodas, diminuindo sua velocidade de rotação e freando o veículo.

Esquema de um freio hidráulico de automóvel. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Santos, G. C. M. *Projeto e dimensionamento de um sistema de freios aplicado a um veículo fórmula SAE*. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: https://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011351.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Não escreva no livro.

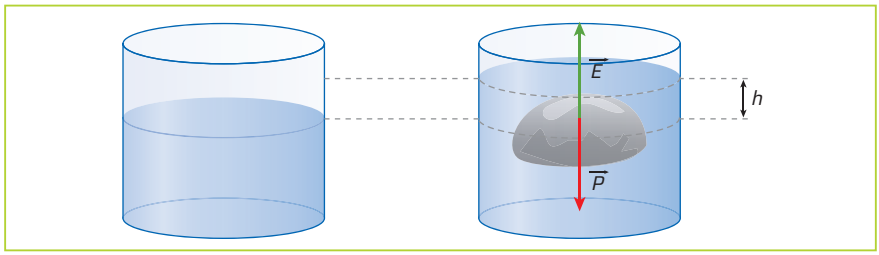
O princípio de Arquimedes

Você já deve ter se perguntado: por que os balões de ar quente sobem e os navios flutuam? E, a essa altura dos estudos, provavelmente já sabe a resposta: nesses dois casos, existe uma força vertical que atua em sentido contrário ao da força peso que sustenta esses corpos.

O matemático e inventor grego Arquimedes (c. 287 a.C.-212 a.C.) foi quem primeiro observou e apresentou essa força. Em linguagem atual, o **princípio de Arquimedes** diz:

> Todo corpo imerso, total ou parcialmente, em um fluido em equilíbrio recebe a ação de uma força vertical, dirigida de baixo para cima e com intensidade igual ao peso do volume de fluido deslocado pelo corpo.

Setup Bureau/ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

O volume de fluido (líquido) deslocado é igual ao volume da parte submersa do corpo. Cores-fantasia.

Essa força vertical para cima é chamada **empuxo**, e será aqui representada pela letra $\vec{E}$. O esquema desta página ajuda a compreender esse conceito.

Como o valor do empuxo é igual ao valor do peso do volume do fluido deslocado, a intensidade dessa força pode ser calculada pela equação:

$$P = E = m_d \cdot g$$

Nessa equação, P é a intensidade da força peso, E é a intensidade do empuxo, m_d é a massa do fluido deslocado e g é a aceleração da gravidade.

Experimentos mostram que o volume de fluido deslocado (V_d) pela imersão de um corpo tem peso equivalente à força que será aplicada ao corpo.

Como a densidade de um corpo é dada por $d = \frac{m}{V}$, em que m é a massa do corpo e V é seu volume, podemos escrever: $m = d \cdot V$. Chamando a densidade do fluido de d_f e fazendo as devidas substituições na equação do empuxo, obtemos:

$$E = d_f \cdot V_d \cdot g$$

Observe que o empuxo é proporcional à densidade do fluido e ao volume de fluido deslocado. Assim, quanto maior a densidade do fluido, maior será o empuxo por ele causado. Portanto, um mesmo objeto pode receber empuxo de diferentes intensidades, dependendo da densidade do fluido em que estiver imerso.

Por exemplo, sabendo que a densidade do gelo é 0,91 g/cm³, a da água doce é 1,0 g/cm³ e a da água do mar é 1,03 g/cm³, um cubo de gelo flutua mais facilmente na água doce ou na água do mar? Certamente na água do mar, pois nela o empuxo é maior pelo fato de a densidade da água salgada ser maior que a densidade da água doce.

Como o empuxo é uma força, sua unidade de medida, no SI, é o newton (N).

Peso aparente

O empuxo atua no sentido vertical para cima e em sentido oposto ao da força da gravidade, que atua no sentido vertical para baixo. A diferença entre a força peso e o empuxo é chamada **peso aparente** ($\vec{P}_A$) e sua intensidade pode ser calculada por meio da relação:

$$P_A = P - E$$

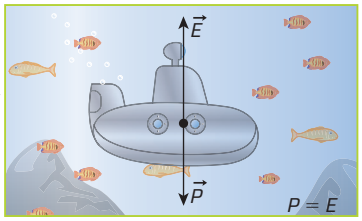
Espera-se que os estudantes respondam que não, pois o empuxo sempre é aplicado no sentido contrário ao do peso, ou seja, para que isso acontecesse, o empuxo teria de ser maior que o peso do corpo.

ROTEIRO

5. O peso aparente de um corpo pode ser maior que seu peso real? Justifique sua resposta.

Representação sem proporção de tamanho.

Setup Bureau/ID/BR



Esquema de submarino flutuando totalmente imerso na água. Se o corpo estiver em equilíbrio na direção vertical, a resultante das forças que atuam sobre ele nessa direção é nula. Cores-fantasia.

Luis Louro/Shutterstock.com/ID/BR

Representação artística de um grande *iceberg*, mostrando que a maior parte do volume desses corpos fica imersa na água.

Flutuação

A flutuação de corpos na água envolve os conceitos de peso, densidade e empuxo. Um corpo, quando imerge na água, desloca uma quantidade de líquido proporcional a seu volume; quanto maior o volume do corpo, maior é a quantidade de água deslocada e maior é o empuxo que atua sobre o corpo.

É preciso, no entanto, considerar a densidade desse corpo. Uma barra maciça composta de metais, por exemplo, afunda ao ser colocada na água, enquanto um navio, de volume muito maior, feito de chapas de metal, flutua. Isso ocorre porque, ao contrário da barra, que é feita de material maciço, o navio é projetado para ter espaços vazios e seu casco é construído apenas com chapas finas de metais. Assim, a densidade da barra é bem maior do que a do navio e, por isso, ela afunda, ao passo que, no caso do navio, o empuxo gerado é capaz de contrabalançar o peso da embarcação.

A intensidade do empuxo atuante sobre um navio que flutua é igual ao peso do navio e proporcional ao volume de água deslocado. Para saber se um corpo flutuará, ou não, é preciso comparar sua densidade com a densidade do líquido em que será colocado, como feito na tabela a seguir.

Situação	Relação entre empuxo (*E*) e peso (*P*)	Relação entre as densidades	Exemplo
corpo flutuando na superfície	empuxo = peso	$d_{corpo} < d_{água}$	frasco plástico vazio
corpo flutuando imerso	empuxo = peso	$d_{corpo} = d_{água}$	frasco plástico com certa quantidade de água
corpo afundando	empuxo < peso	$d_{corpo} > d_{água}$	frasco plástico cheio de água

Outro exemplo de corpos que flutuam são os *icebergs*. Para entender como se dá a flutuação de um *iceberg*, é preciso saber que a água, quando passa do estado líquido para o sólido, tem seu volume aumentado e, portanto, sua densidade reduzida. O aumento de volume na mudança de estado da água é facilmente observado nas fôrmas para fazer cubos de gelo: o volume dos cubos que se originam é maior que o volume inicial de água líquida.

Quando o gelo é colocado na água, parte de seu volume fica fora dela, como resultado da diferença entre a densidade da água e a densidade do gelo. Por esse motivo, a maior parte do volume dos *icebergs* permanece dentro da água.

Aproveitando esse princípio, os navios são construídos de chapas de metal unidas, com cavidades livres, para permanecerem cheias de ar. Assim, a densidade do navio é menor que a densidade da água, embora ele transporte carga e passageiros e seja de metal. Quando um navio tem o casco rompido, a água entra em seu interior de forma descontrolada e passa a ocupar compartimentos onde havia ar; em consequência disso, a densidade da embarcação aumenta, fazendo-a afundar.

Apesar de serem feitos de metal, os navios têm densidade menor que a da água, por isso flutuam. Navio de carga no porto de Hong Kong. Foto de 2024.

Vernon Yuen/NurPhoto/AFP

Não escreva no livro.

Balões

O princípio de Arquimedes foi proposto inicialmente para explicar fenômenos que acontecem com os fluidos líquidos. Com o passar do tempo, porém, tornou-se evidente que o princípio também era válido para os fluidos gasosos, incluindo os gases presentes na atmosfera. Assim, a análise sobre a densidade dos corpos feita anteriormente também é válida para os fluidos gasosos.

Entre as aplicações tecnológicas do princípio de Arquimedes em fluidos gasosos, destaca-se o voo de balões.

Balão de ar quente

Formado por um tecido apropriado, costurado em forma arredondada e chamado envelope, o balão de ar quente tem uma única entrada, na qual se coloca um maçarico para aquecer o ar. Os ocupantes do balão ficam em um cesto atado ao envelope, como se vê na imagem ao lado.

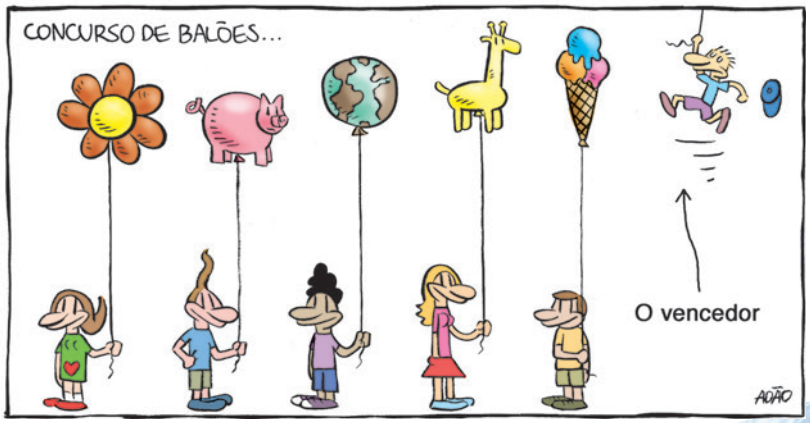
Para que um balão inflado por ar quente funcione, deve-se inicialmente encher seu envelope com ar com auxílio de um ventilador. Em seguida, acende-se o maçarico, para esquentar o ar que está no envelope. O ar aquecido tem densidade menor que a densidade do ar atmosférico (externo ao balão). Tem também o volume aumentado, o que desloca um volume maior de ar externo, provocando um empuxo resultante para cima que leva o balão a subir verticalmente. Como a densidade do ar exterior vai diminuindo com a altitude, há um momento em que ela se iguala à densidade do ar interior – nesse instante, o balão para de subir.

Balão-sonda

Os balões-sonda são usados para medições de elementos meteorológicos nas altas camadas da atmosfera e para a determinação dos ventos em diferentes altitudes. Formados por uma estrutura de látex, são inflados com um gás menos denso do que o ar atmosférico (hidrogênio ou gás hélio) e podem chegar à mesosfera (entre 50 e 80 km de altitude). Nessa altitude, ele estoura, devido à diferença entre a pressão interna e a externa, e os equipamentos transportados pelo balão-sonda retornam ao solo com o auxílio de um paraquedas.

Balão de festa

Os balões com gás vendidos em parques de diversão são inflados com gás hélio, que é menos denso que o ar atmosférico. Por essa razão, esses balões recebem do ar atmosférico um empuxo (vertical para cima), de intensidade maior do que seu peso, fazendo-os subir. No fio que prende o balão, é exercida uma força de tração que o mantém pairando no ar, como se vê no *cartum* a seguir.



Adão Iturrusgarai/Acervo do artista

Iturrusgarai, A. Balões. *Trupe de Adão. Folha de S. Paulo*, 2002.

ROTEIRO

6. **Balões de ar quente não têm motor. Então, como os balonistas fazem para navegar e aterrissar?**

Cristian Lourenço/iStock/Getty Images

Balão de ar quente em área rural de Boituva (SP). Foto de 2023.

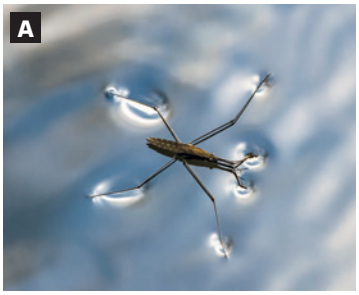
Em balões de ar quente, o piloto precisa estudar previamente as correntes de ar na região onde vai realizar o voo. Isso permite estimar o trajeto a ser percorrido e prever o local de aterrissagem. Além disso, ao controlar a temperatura do ar dentro do envelope, o piloto pode ajustar a altura do balão.

Jens Buttner/ZB/dpa Picture-Alliance/AFP

Lançamento de balão-sonda, importante instrumento de pesquisa, em Spitsbergen, Noruega. Foto de 2015.

ALGUNS FENÔMENOS QUE ENVOLVEM FLUIDOS LÍQUIDOS

Tensão superficial: força de coesão

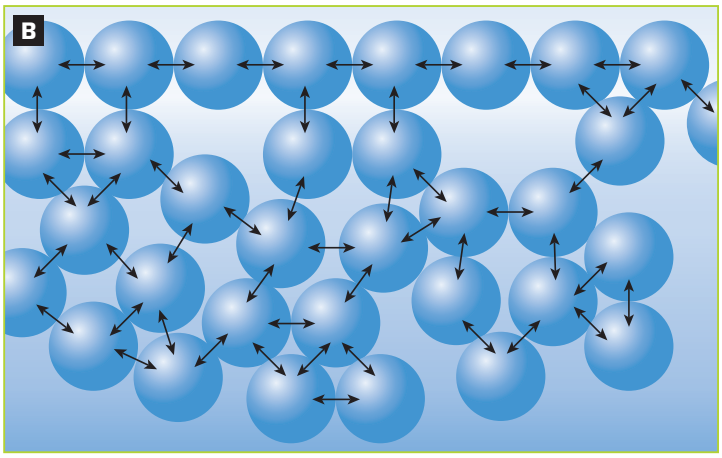


Jan Miko/Shutterstock.com/D/BR

Gerris lacustris (cerca de 2 cm de comprimento) apoiado na película formada em decorrência da tensão superficial da água.

A fina película da superfície da água parada é capaz de sustentar corpos leves, entre eles, pequenos gravetos, pólen, folhas e insetos, como o retratado na foto **A**. Essa película se forma por causa da força de coesão existente entre as moléculas da água.

A natureza dessa força não será discutida aqui. É importante, porém, saber que ela atua em todas as direções e, por isso, a força resultante no interior dos líquidos é sempre nula (esquema **B**).



Setup Bureau/D/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Esquema da tensão superficial da água. A força que surge entre as moléculas (esferas) da superfície da água é direcionada para o interior do líquido, formando uma película resistente à sustentação de corpos leves. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Gugliotti, M. A química do corpo humano: tensão superficial nos pulmões. *Química Nova na Escola*, n. 16, nov. 2002. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc16/v16_A02.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.

Na superfície da água parada, surge uma força resultante entre as moléculas de água, direcionada para o interior do líquido. Embora haja forças geradas pelos átomos e pelas moléculas de ar que atraem as moléculas de água para cima, a tensão dessas forças é muito menor do que a das forças intermoleculares da própria água. Isso provoca a concentração de moléculas na superfície da água que, juntas, formam uma película. Esse fenômeno que é denominado **tensão superficial**.

Pequenos pedaços de papel, quando colocados cuidadosamente sobre a água parada, também podem ser sustentados pela tensão superficial, assim como outros tipos de material. No entanto, a película pode se romper, ao entrar em contato com substâncias surfactantes (tensoativos), como alguns tipos de sabão, as quais diminuem a tensão superficial.

A sustentação dos corpos permitida pela tensão superficial é diferente da flutuação, na qual uma parte do líquido é deslocada e o corpo fica sujeito ao empuxo. Na tensão superficial, o objeto não chega a entrar na água, pois está apoiado sobre a fina camada superficial do líquido.

Entre os vários fenômenos explicados pela força de coesão da superfície dos líquidos, está a formação das gotas de líquidos e das bolhas de sabão.

ROTEIRO

7. Tomando como base o conceito de tensão superficial da água, explique a forma de uma gota pendurada em um fio horizontal. Considere a força da gravidade.

A tensão superficial, ou seja, a força molecular concentrada na superfície da água, faz que se crie uma película que envolve a gota d'água. Essa gota, pendurada por um fio, está sujeita à força da gravidade, que a puxa para baixo, mas não é suficiente para romper a tensão superficial, dando à gota a forma que ela tem.

Capilaridade: força de adesão

A palavra "capilaridade" deriva de "capilar", que se refere a algo tão fino quanto um fio de cabelo. A **capilaridade** – uma importante propriedade dos fluidos – consiste na subida espontânea dos fluidos por tubos finos.

Do mesmo modo que a tensão superficial, a capilaridade pode ser explicada pela natureza molecular da matéria. As forças responsáveis pela elevação do líquido em um capilar são a força de tensão superficial e a força de adesão entre o líquido e o recipiente. O equilíbrio capilar ocorre quando as forças resultantes da tensão superficial e da coesão (atração entre substâncias iguais) equilibram o peso do liquído suspenso.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

EMBOLIA GASOSA

Essa síndrome perigosa [a embolia gasosa] é conhecida por várias denominações: doença do mergulhador, mal dos caixões e aeroembolia. Ela ocorre quando um mergulhador humano retorna para a superfície, após passar um período prolongado em profundidade considerável, abaixo de 20 m mais ou menos. A síndrome agrava-se quanto maior a profundidade e o tempo de mergulho. É causada por bolhas de ar nos tecidos e na corrente sanguínea, do mesmo modo que bolhas se formam em uma garrafa de refrigerante quando a tampa é removida. Em ambos os casos, as bolhas aparecem quando a pressão é reduzida em líquido que está saturado de gás em alta pressão.

A aeroembolia também pode ocorrer durante a ascensão rápida em aeronaves (balões ou aeroplanos) com cabines não pressurizadas; nesses casos, o perigo de aeroembolia ocorre quando a pressão é reduzida para cerca de 0,5 atm (acima de 6 000 metros).

[...] O gás que causa a aeroembolia é sempre o nitrogênio (a menos que o mergulhador esteja respirando uma mistura artificial de gases que contenha outros gases inertes, como o hélio). [...] O oxigênio não causa a aeroembolia porque é rapidamente usado pelos tecidos. [...] A pressão na água aumenta em cerca de 1 atm para cada 10 metros de aumento na profundidade. [...] O sangue dissolve nitrogênio em pressão mais alta e gradualmente toda a água tecidual se equilibra com o nitrogênio nessa pressão.

Um tempo considerável transcorre antes que uma pessoa em determinada profundidade atinja a saturação total com nitrogênio. Durante os mergulhos curtos, isso é uma vantagem, mas, depois de um mergulho longo, quando os tecidos estão quase saturados com nitrogênio em alta pressão, o perigo aumenta. [...]

O perigo de formação de bolhas é maior quando o gás é dissolvido em pressão mais alta. O aumento dos movimentos, o esforço muscular e a maior circulação tendem a aumentar a formação de bolhas, análogos ao efeito de sacudir uma garrafa de cerveja ou de refrigerante antes de abri-la. As bolhas, em geral, formam-se nas articulações, o que causa dor considerável. Se as bolhas ocorrerem na corrente sanguínea, elas bloquearão os vasos mais delicados e, quando isso acontece no sistema nervoso central, é particularmente perigoso, podendo causar morte súbita.

Quanto maior for a profundidade e o tempo de mergulho, maior será o risco de embolia gasosa, síndrome geralmente causada pelo gás nitrogênio. Mergulhador em Sharm el-Sheik, Egito. Foto de 2024.

Tunatura/Stock/Getty Images

O único tratamento possível para a aeroembolia é aumentar a pressão rapidamente, de modo que as bolhas tornem a se dissolver. Isso pode ser feito retornando o mergulhador para a profundidade de onde subiu ou transferindo-o para uma câmara de pressão onde o ar possa ser recomprimido para o nível desejado.

O modo de evitar a aeroembolia é voltar lentamente para a superfície, em estágios. É razoavelmente seguro deixar um mergulhador ascender até um ponto em que a pressão é metade daquela em que ele estava trabalhando e ali mantê-lo até que uma quantidade considerável de nitrogênio tenha sido eliminada, ou seja, 20 a 30 minutos. Assim, é possível que ele ascenda novamente e continue o processo de estágio. [...]

Nossa discussão até agora tratou apenas de mergulhadores que têm suprimento de ar sob pressão. Um mergulhador sem equipamento, que desce repetidamente a uma profundidade considerável, também está sob o risco de desenvolver embolia gasosa. Toda vez que ele enche o pulmão e desce, a pressão da água sobre seu tórax comprime a caixa torácica, de modo que a pressão do ar nos pulmões aumenta. Se ele descer 20 m, a pressão do ar no pulmão será de 3 atm. Embora um ou poucos mergulhos a uma profundidade de 20 m não tenham muito significado, muitos mergulhos repetidos são arriscados. [...]

SCHMIDT-NIELSEN, K. *Fisiologia animal*: adaptação e meio ambiente. 5. ed. São Paulo: Santos, 2011. p. 179-181.

Para discutir

1. Embolia gasosa é a formação de bolhas de ar nos tecidos e na corrente sanguínea, quando a pressão é reduzida em um meio líquido que está saturado de gás em alta pressão. Ela pode ocorrer quando um mergulhador retorna para a superfície, depois de passar um período prolongado em profundidade considerável, e também durante a ascensão rápida em aeronaves, com cabines não pressurizadas.

1 **O que é embolia gasosa? Em que situações ela pode ocorrer?**

2 **De acordo com o texto, qual é o único tratamento possível para a embolia gasosa? Como ela pode ser evitada?** O único tratamento possível para a embolia gasosa é aumentar a pressão rapidamente, de modo que as bolhas tornem a se dissolver. Um modo de evitar a embolia é voltar lentamente para a superfície, em estágios.

3 **Explique o que significa dizer que um líquido está saturado de gás. Se necessário, faça uma pesquisa.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que o líquido contém a quantidade máxima do gás que ele pode dissolver naquela temperatura.

4 **No fim do primeiro parágrafo, o texto afirma que as bolhas da embolia gasosa aparecem quando a pressão sobre um líquido que está saturado de gás é reduzida. Pesquise e explique por que isso acontece.** Com a redução da pressão, ocorre a diminuição da solubilidade do gás, que é liberado em forma de bolhas.

5 **Discuta com os colegas a importância de instruções e de orientações adequadas, feitas por um profissional, antes de realizar atividades como as de mergulho, que estão sujeitas à variação nos valores referentes à pressão atmosférica sobre o organismo humano.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes percebam que é necessário o acompanhamento de um profissional especializado para realizar determinadas atividades, evitando, assim, problemas que podem afetar o funcionamento do organismo.

Não escreva no livro.

FÍSICA E EDUCAÇÃO FÍSICA

A FÍSICA DO FUTEBOL: EFEITO MAGNUS

Lances curiosos no futebol já foram tema de debate na Física, como o chamado gol olímpico. Nesse tipo de gol, o jogador chuta a bola da linha de escanteio e a bola faz uma curva para atingir o gol. Essa curva pode parecer uma trajetória inesperada, mas é um fenômeno explicado pelo efeito Magnus.

O efeito Magnus recebe esse nome em homenagem ao físico alemão Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), que estudou os efeitos da relação entre velocidade e pressão de um fluido, ao analisar os desvios das trajetórias de corpos que se encontravam em movimento e imersos nesses meios, tanto no ar como na água.

Esse efeito também é observado quando uma bola é largada com uma rotação inicial de um lugar muito alto, como penhascos ou cachoeiras. Nessa situação, a bola realiza um desvio que depende do seu sentido de rotação, como se estivesse voando, e não caindo na vertical.

O entendimento do efeito Magnus e, principalmente, a compreensão de como reproduzir lances desse tipo são de interesse da área da Educação Física e de profissionais do esporte, reforçando a ideia de que a Física está presente em situações, procedimentos e equipamentos tecnológicos que fazem parte do cotidiano esportivo.

Jacob Wackerhausen/iStock/Getty Images

Bola de futebol realizando uma trajetória com efeito Magnus.

[...]

O efeito Magnus é um fenômeno hidrodinâmico em que a trajetória de um objeto em um fluido é alterada pela sua rotação. Um exemplo desse fenômeno pode ser visto quando um jogador de futebol chuta uma bola em direção ao gol, em que a bola faz uma curva no ar. Isso acontece porque, ao ser chutada de determinada maneira, a bola desloca-se em giros em torno do seu próprio eixo.

[...]

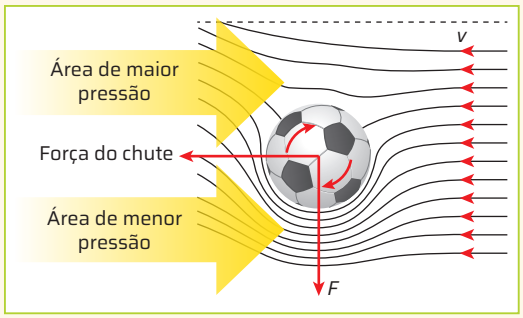
O que ocorre nessas situações pode ser explicado pela lei fundamental da hidrodinâmica ou princípio de Bernoulli, o qual afirma que, em diferentes pontos de uma corrente uniforme, se o fluido movimenta-se com velocidades diferentes, nos pontos de maior velocidade observa-se menor pressão[,] e nos pontos de menor velocidade observa-se maior pressão [...]. Portanto, o resultado é uma força de empuxo ou de arrasto que desvia o percurso da bola. [...]

[...]

Não escreva no livro.

[...]

Explicações revelam que, para se fazer uma curva da bola com o chute, basta usar o dorso interno ou externo do pé, se a curva for para a esquerda, usa-se o pé direito tocando no lado direito da bola e com a parte interna do dorso do pé; se for com o [pé] esquerdo a ação é contrária. [...]

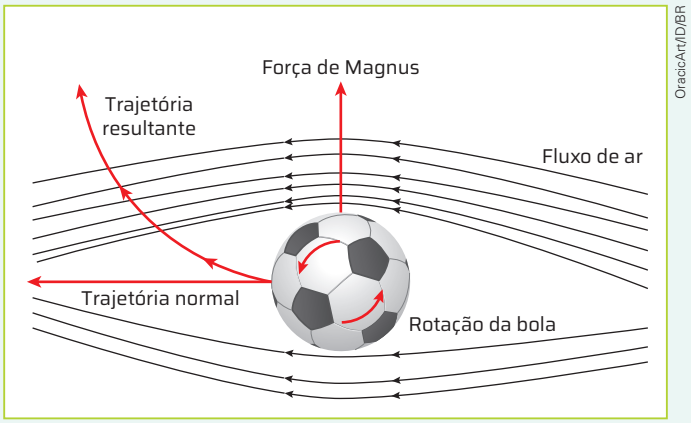


Diferença de velocidade e pressão na bola sob o efeito Magnus no sentido horário. Cores-fantasia.

Carneiro, M. da C.; Romeu, M. C.; Castro, J. B. de. O ensino da Física no contexto da prática esportiva de futebol: o efeito Magnus como um estudo de caso. *A Física na Escola*, v. 21, n. 1, p. 220102-1, 2023. Disponível em: https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/67/4. Acesso em: 19 set. 2024.

Na imagem a seguir, temos a representação do efeito Magnus em um chute que imprime uma rotação anti-horária à bola.

Na parte superior da bola, as linhas que representam o fluxo de ar estão mais próximas, o que indica maior velocidade do ar, e, pelo princípio de Bernoulli, maior velocidade do fluido implica menor pressão. Já na parte inferior, temos a situação contrária, menor velocidade do fluido, portanto, maior pressão. Como a pressão embaixo da bola é maior do que a pressão acima da bola, a bola sofre a ação de uma força para cima, chamada de força de Magnus, que causa a trajetória curvilínea observada nos lances com efeito.



Representação de uma bola chutada sob o efeito Magnus no sentido anti-horário. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Carneiro, M. da C.; Romeu, M. C.; Castro, J. B. de. O ensino da Física no contexto da prática esportiva de futebol: o efeito Magnus como um estudo de caso. *A Física na Escola*, Fortaleza, v. 21, n. 1, p. 220102-1, 2023. Disponível em: https://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/67/4. Acesso em: 19 set. 2024.

Conecte as ideias

3. O entendimento dos conceitos da Física pode contribuir para aprimorar jogadas. Por exemplo, sabendo que, para a bola realizar uma trajetória curvilínea, é necessário aplicar uma rotação, o jogador treina buscando entender de que forma ele precisa chutar para fazer a bola ter essa rotação inicial.

1 **Você já ouviu falar em efeito Magnus? Em sua opinião, ele pode estar presente em outras situações do cotidiano?** Resposta pessoal. O objetivo dessa questão é levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a aplicação de conceitos da Física em situações do dia a dia.

2 **Suponha que um astronauta no espaço possa chutar uma bola causando uma rotação inicial como a mencionada no texto. Nessa situação, a bola traçará uma trajetória curvilínea? Justifique sua resposta.** Não. No espaço, não há um fluido para causar a diferença de pressão e surgir a força de Magnus.

3 **Como o entendimento da Física pode contribuir para o melhor desempenho de jogadores e atletas? Justifique sua resposta.**

4 **Faça uma pesquisa sobre outras modalidades esportivas em que se usa uma bola e que também aproveitam o efeito Magnus. Escolha uma das modalidades para treinar e reproduzir esse efeito, observando como a rotação influencia a trajetória da bola. Depois dessa experiência, em uma roda de conversa, compartilhe com os colegas os resultados dessa atividade.**
Espera-se que os estudantes comentem a dificuldade de aplicar a rotação inicial no momento de lançar a bola.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

4. a) Decolagem: $S < P$ (a força de sustentação é menor que a força peso) e $T > R$ (a força de tração é maior que a força de arrasto; a aeronave acelera para aumentar a velocidade na decolagem).
4. b) Em pleno voo: $S = P$ (a força de sustentação é igual à força peso) e $T = R$ (a força de tração é igual à força de arrasto). Assim, a resultante das forças é nula.
4. c) Aterrissagem: $S < P$ (a força de sustentação é menor que a força peso) e $T < R$ (a força de tração é menor que a força de arrasto; a aeronave desacelera para diminuir a velocidade na aterrissagem).

A INVENÇÃO DO AVIÃO

Illustrated London News/Hulton Archive/Getty Images

Santos-Dumont realizando um voo no 14-Bis, em foto publicada em um jornal inglês em 1906.

[...]

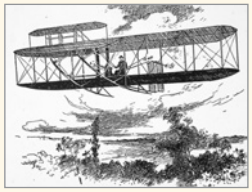
No dia 23 de outubro de 1906, Alberto Santos-Dumont, mineiro de nascimento, parisiense de adoção, decolou com um aparelho mais pesado que o ar. Seu 14-Bis, uma geringonça de 290 quilos e com um motor de 50 cavalos, subiu a uma altura de quase três metros no Campo de Bagatelle, em Paris, e voou 60 metros.

Foi o primeiro voo feito em público e num aparelho que saiu do chão e pousou por meios próprios ("pousou" em termos; na verdade, o 14-Bis desceu bruscamente e quebrou as rodas). O feito lhe valeu um prêmio de 3 000 francos, instituído por Ernest Archdeacon para quem voasse mais de 25 metros.

Longe dali, numa praia de Kitty Hawk, no estado americano da Carolina do Norte, o primeiro voo motorizado de um aparelho mais pesado que o ar era feito por dois mecânicos de bicicleta – só que três anos antes. Em 17 de dezembro de 1903, Orville e Wilbur Wright haviam voado 260 metros com seu Flyer, uma aeronave improvável de 300 quilos e com um motor de 12 cavalos, que decolara de uma colina. O feito, sem testemunhas, foi comunicado por telegrama.

Ciosos de seu invento, que pretendiam patentear, os irmãos Wright cortaram todos os contatos com o mundo exterior – mantidos até 1902. De 1905 a 1908, quando se estabeleceu a Federação Aeronáutica Internacional, pararam de voar. Sua primazia só seria comprovada inquestionavelmente em 1908, quando voaram (ainda sem decolar por meios próprios) espantosos 124 quilômetros na França.

NYC./Alamy/Fotoarena



Um dos irmãos Wright voando no Flyer. Estados Unidos. Foto de 1907.

[...]

O título de "inventor do avião" poderia ser dividido entre muita gente. Como o alemão Otto Lilienthal, morto em 1896 num voo de planador. Como Gabriel Voisin e Louis Blériot – o primeiro a voar sobre o canal da Mancha, em 1909. Os próprios Wright e Santos-Dumont já eram celebridades no meio aeronáutico no começo do século passado: os americanos criaram a configuração "canard" (ganso) para seus planadores, com o leme na frente, usada no próprio 14-Bis. E o brasileiro ficara famoso ao criar o primeiro balão dirigível, o nº 6, em 1901. Tanto que foi a Santos-Dumont que a imprensa local de Ohio (terra natal dos irmãos) comparou os irmãos ao noticiar o feito de 1903.

Se os Wright voaram antes, foi ao brasileiro que a irradiação original da aeronáutica se deveu – portanto, se a alcunha de "pai do avião" é exagero, a de "pai da aviação" é justíssima.

"Ele resolve uma das questões essenciais do voo, que é tirar o avião do chão. [...] fazer a transição entre a situação do avião pousado e do avião voando [...]", afirma [Henrique] Lins de Barros [físico pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, especialista em Santos-Dumont].

"Essa contribuição do Santos-Dumont é fundamental por duas razões: primeiro porque ele dá a chave da decolagem. Segundo porque ele executa isso publicamente, reconhecido por uma comissão internacional. [...]"

[...]

Angelo, C. Flyer *versus* 14-Bis. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 22 out. 2006. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2210200602.htm. Acesso em: 19 set. 2024.

Para discutir

2. O termo "inventor do avião" é atribuído a quem primeiro voou. Podemos citar Otto Lilienthal, Gabriel Voisin, Louis Blériot e até mesmo os irmãos Wright (apesar de terem voado sem a presença de testemunhas). Já o termo "pai da aviação" é atribuído a Santos Dumont por ele ter difundido a aeronáutica.

1 **Em que país foi realizado o primeiro voo de Santos-Dumont? E o dos irmãos Wright?**
Santos Dumont voou na França e os irmãos Wright voaram nos Estados Unidos.

2 **Diferencie os termos "inventor do avião" e "pai da aviação".**

3 **Descreva os problemas de voo que Santos-Dumont resolveu ao construir o 14-Bis.**
Ele resolveu a decolagem própria e a transição entre o avião pousado e voando.

4 **Identifique todas as forças que agem em um avião no momento: a) da decolagem; b) em que está em pleno voo horizontal; c) da aterrissagem.**

5 **O texto afirma que os irmãos Wright, ao contrário de Santos-Dumont, não tinham interesse em divulgar seus experimentos na busca pela construção de aviões.**

a) Explique as razões dessa diferença de atitude entre Dumont e os irmãos Wright.

b) Com qual das duas atitudes você concorda? Justifique. Respostas pessoais.

5. a) Os irmãos Wright tinham interesse em patentear sua invenção. Santos Dumont não tinha essa pretensão.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

2. a) Dois corpos de massas iguais e densidades iguais têm o mesmo volume.

1 Esta tabela fornece a densidade de alguns líquidos.

Substância	Densidade (g/cm³)
gasolina	0,7
álcool	0,8
água do mar	1,03
glicerina	1,3
mercúrio	13,6

Indique em qual líquido da tabela cada uma das substâncias apresentadas a seguir flutua.

a) Barra de ferro maciça (densidade do ferro: 7,8 g/cm³). No mercúrio.

b) Cilindro de ferro oco, com massa de 80 g e volume de 100 cm³. Em todos os líquidos, exceto na gasolina.

c) Bloco de gelo (densidade do gelo: 0,9 g/cm³). Na água do mar, na glicerina e no mercúrio.

d) Chumbinho de pesca (densidade do chumbo: 11,34 g/cm³). No mercúrio.

e) Barra de alumínio maciça (densidade do alumínio: 11,4 g/cm³). No mercúrio.

2 Reescreva no caderno apenas a(s) alternativa(s) falsa(s) e corrija-a(s).

a) Dois corpos de massas iguais têm igual volume.

b) Dois corpos de volumes iguais têm a mesma densidade. Dois corpos de volumes iguais e massas iguais têm a mesma densidade.

c) A densidade é a razão da massa pelo volume.

d) A densidade é uma grandeza adimensional (que é expressa apenas por um número, sem a unidade de medida). A densidade tem a dimensão de unidade de massa por unidade de volume, ou seja, kg/m³, g/cm³, etc.

3 A densitometria óssea é um exame que avalia a quantidade de cálcio presente nos ossos. A diminuição da taxa de cálcio deixa os ossos sujeitos a lesões e fraturas. As imagens a seguir são de duas densitometrias de uma vértebra da coluna: na figura **1**, a vértebra está normal; na figura **2**, há perda de cálcio.

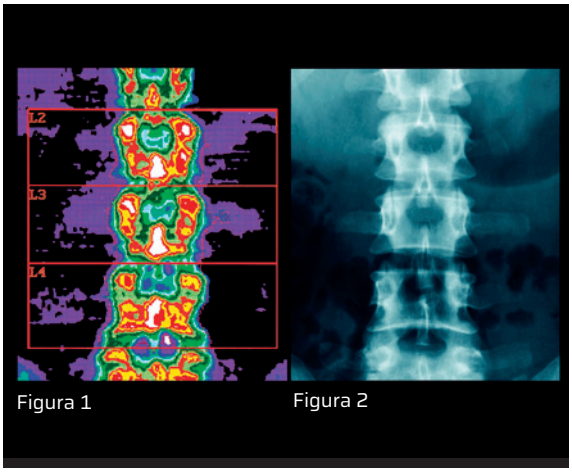


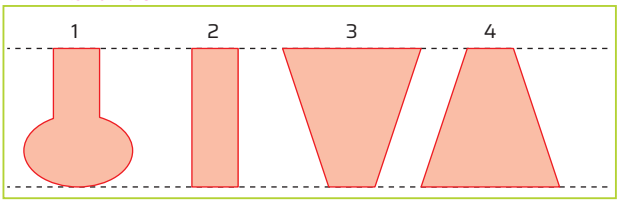
Figura 1 Figura 2

Zephyr/SPL/Fotoarena

Extraia do enunciado argumentos que justifiquem o nome desse exame.

3. A densitometria mede a quantidade de cálcio (nesse caso, a quantidade de cálcio por vértebra), o que não deixa de ser uma medida da densidade do osso.

4 Indique a afirmativa correta sobre os recipientes cheios de fluido da figura. Justifique sua escolha. Alternativa **c.**



Setup Bureau/ID/BR

a) A força que cada recipiente aplica sobre a superfície de apoio é igual.

b) A área de contato dos recipientes com a superfície de apoio é igual.

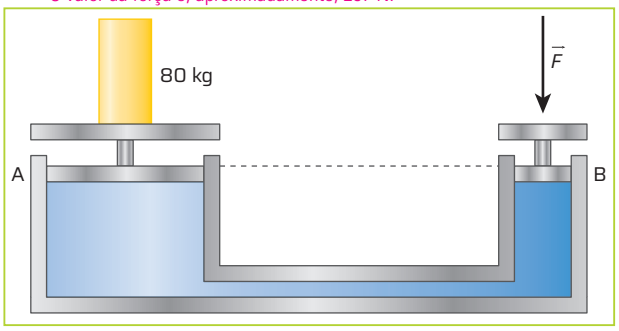
c) A variação de pressão, da superfície dos recipientes até metade de sua altura, é igual.

d) O recipiente 1 tem maior variação de pressão, da superfície até o fundo, que os recipientes 2, 3 e 4.

e) O recipiente 2 tem a menor variação de pressão, da superfície até o fundo, em relação aos recipientes 1, 3 e 4.

6. O nível da coluna de mercúrio que for colocada no vácuo vai descer, pois, no vácuo, a pressão é zero, ou seja, a pressão interna será maior que a externa e o mercúrio escapará.

5 Uma massa de 80 kg é equilibrada em um elevador hidráulico, como mostra o esquema a seguir (em cores-fantasia). O êmbolo **A**, que sustenta a carga, tem área igual a 60 cm². A área do êmbolo onde a força é aplicada é igual a 20 cm². Calcule o valor dessa força considerando $g = 10$ m/s². O valor da força é, aproximadamente, 267 N.



Setup Bureau/ID/BR

7. a), **b)** e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 Imagine duas colunas de mercúrio idênticas, ambas emborcadas e ao nível do mar. Se uma delas for colocada em uma câmara de vácuo, sua altura será maior, menor ou igual em relação à coluna que permaneceu fora? Justifique.

7 Zepelim é um balão dirigível rígido utilizado para transporte. Faça uma pesquisa sobre esse dirigível e responda às questões a seguir.

a) Qual é o principal fenômeno físico que possibilita o voo do zepelim?

b) Em que época histórica esse tipo de veículo foi amplamente utilizado? Em que países era mais comum?

c) Ainda há zepelins em funcionamento em nossos dias? Em caso positivo, sua utilização ainda é ampla? Explique.

PENSANDO CIÊNCIAS

COMO PREVENIR UMA ENCHENTE?

A degradação dos hábitats naturais, associada a diferentes efeitos das atividades humanas, como o aumento da temperatura média da Terra, tem alterado o regime e a distribuição das chuvas. Um dos resultados que podem ser observados é a maior frequência de fenômenos atmosféricos extremos, como grandes volumes de chuva em curtos períodos, ciclones extratropicais e longos períodos de estiagem.

Esses fenômenos, combinados com problemas urbanos, como elevada densidade demográfica, ocupação de áreas de risco para enchentes, geralmente localizadas próximo a rios e a outros corpos d'água ou, ainda, alta impermeabilização do solo, têm se tornado um desafio para a sociedade.

Para enfrentar esse desafio, é preciso pensar em algumas estratégias. Mas, antes, vamos refletir sobre esta questão: "Como podemos contribuir para tentar prevenir ou reduzir danos causados por inundações ou enchentes?".

Cid Guedes/Shutterstock.com/ID/BR

Região inundada nas cidades gaúchas de Novo Hamburgo e São Leopoldo. Foto de 2024.

Decompondo o problema

A pergunta "Como prevenir uma enchente?" está relacionada a um problema de resolução complexa e que envolve diversos fatores. Nesse momento, vocês podem se organizar em grupos e dividir esse problema em partes mais simples, que abordem, por exemplo, estratégias que ajudem a prevenir enchentes ou a reduzir os danos causados por inundações. Assim, poderão analisar cada parte separadamente, para depois resolver o problema como um todo.

Em grupo, pensem em perguntas que possam contribuir para a solução desse problema. Pesquisem e discutam questões como:

- Quais são os elementos mais comuns em casos de enchentes que podem representar riscos imediatos e futuros para as pessoas que vivem na área afetada ou próximo a ela?
- Quais medidas de prevenção ou de mitigação podem ser adotadas para lidar com esses elementos?
- De que forma as mudanças climáticas podem influenciar a ocorrência de alagamentos, inundações e enchentes? Eventos climáticos extremos podem agravar essas situações?
- É possível encontrar exemplos de estratégias recomendadas para lidar com grandes inundações e enchentes?

Reconhecendo padrões

Nesta etapa, vocês vão procurar soluções que sejam eficientes para solucionar esse problema, mas para isso são necessárias algumas escolhas.

Tomem como exemplo a questão: "É possível encontrar exemplos de estratégias recomendadas para lidar com grandes inundações e enchentes?". Primeiro, definam qual região será estudada.

Não escreva no livro.

Em seguida, pesquisem soluções aplicadas em regiões que tiveram uma melhoria no escoamento da água, políticas de implantação de áreas verdes, uso de materiais não impermeabilizantes em áreas urbanas, entre outras medidas.

Verifiquem se alguma das soluções é aplicável na região em que vocês pensaram. Por exemplo, a incorporação de áreas verdes na região é viável? Isso reduziria os casos de enchentes na região? Qual manutenção seria necessária? Além disso, vocês podem verificar os materiais necessários para realizar essa mudança, bem como o tempo estimado para a execução das obras para essa implementação.

Abstraindo o problema

Agora, vocês devem identificar quais pontos e questionamentos levantados na etapa anterior são relevantes ou não para chegar à solução do problema. Aqueles considerados irrelevantes devem ser descartados. Alguns exemplos:

- É importante a presença de plantas? Sim. De quais espécies? Das espécies A e B.
- As dimensões são consideradas relevantes, quando relacionadas às implementações necessárias? Sim.
- O investimento econômico é relevante? Sim.
- Serão necessários muito trabalho e profissionais qualificados para a execução dos serviços? Sim.

Para facilitar a análise dos pontos e questionamentos levantados, vocês podem elaborar uma tabela semelhante à apresentada a seguir.

Tipo de solução	Investimento	Fornecedor	Trabalho especializado	Especificações técnicas
Região de área verde	A	B	Sim	De acordo com a legislação

Buscando soluções

Em grupo, discutam uma possível solução para o problema "Como prevenir uma enchente?". Compartilhem as ideias com o(a) professor(a), a fim de que possam avaliar a pertinência do método e também sua operacionalidade.

Depois, pensem no material necessário para futuras campanhas de conscientização de toda a comunidade escolar e em como poderiam colocar em prática a solução apresentada.

Elaborando o algoritmo

Vamos agora elaborar o algoritmo para a solução do problema, isto é, o passo a passo do que deve ser feito, indicando a sequência das etapas a serem realizadas.

Assim, com base nas informações e nos dados pesquisados e discutidos, criem um algoritmo com o objetivo de tornar a região menos suscetível a enchentes.

Para discutir **1.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reconheçam que diversas áreas, como as de Ciências da Natureza (incluindo a Física), as da Saúde e as que estudam eventos climáticos, como a Meteorologia, são essenciais para buscar soluções para problemas relacionados a eventos climáticos extremos.

1 **Quais áreas do conhecimento científico foram necessárias para buscar a solução do problema apresentado? Seria preciso aprofundar o conhecimento nessas áreas, em busca de uma solução mais eficiente?**

2 **Quais foram as maiores dificuldades para a execução da atividade? De que forma elas foram superadas?** Respostas variáveis. Verifique, por exemplo, se os estudantes tiveram dificuldade em encontrar informações e dados confiáveis sobre enchentes e se precisaram fazer uma pesquisa para buscar essas informações.

3 **Convide outro grupo para apresentar a solução que encontraram. Esse grupo deve analisar a solução e opinar se ela é viável, relevante e eficiente.** Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes troquem informações de forma a colaborar para elaboração do algoritmo de ambos os grupos.

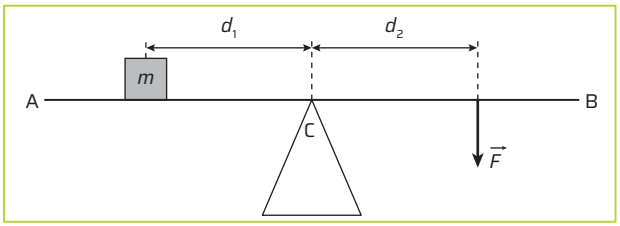
4 **Ao analisar todo o processo de construção de solução, é necessário realizar algum ajuste? Se sim, como fazê-lo?** Respostas variáveis. Ainda assim, espera-se que os estudantes encontrem pontos de ajuste.

QUESTÕES GLOBAIS

1 (**Uece**) Para pintar um prédio, o pintor utiliza uma escada homogênea, de comprimento L e massa m, com uma das extremidades apoiada a uma parede vertical. Preocupado com sua segurança, o pintor verificou que essa parede vertical é praticamente lisa, e que a outra extremidade da escada fica apoiada sobre um piso horizontal rugoso. De fato, esse piso é feito de material com coeficiente de atrito estático de valor 0,5. Nessas condições, para apoiar a escada, de forma segura, evitando que ela escorregue durante sua ausência, o pintor deverá posicioná-la de modo que o ângulo mínimo entre a escada e o piso horizontal seja de Alternativa **b**.

a) 60°. b) 45°. c) 75°. d) 30°.

2 (**UFPR**) A figura a seguir mostra uma prancha retilínea AB que deve ser mantida na horizontal, em equilíbrio estático.

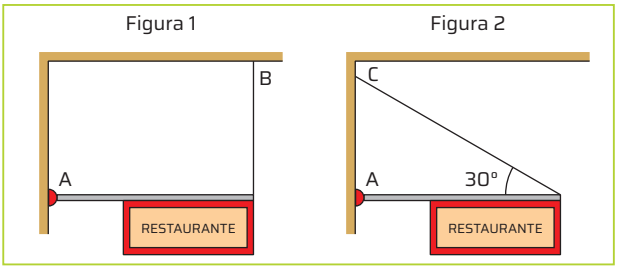


UFPR. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

O peso da prancha pode ser desprezado em comparação com as outras forças envolvidas. A prancha está apoiada num suporte triangular no ponto C, e sobre ela está colocado um objeto (que pode ser considerado pontual) de massa $m = 2$ kg a uma distância $d_1 = 3$ m do suporte em C. Do outro lado do suporte, há uma força vertical $\vec{F}$ orientada para baixo, de módulo $F = 15$ N, que está aplicada na prancha num ponto que está a uma distância d_2 do suporte em C. Considerando as informações apresentadas, assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor da distância d_2 para que a prancha seja mantida em equilíbrio estático. Alternativa **e**.

a) $d_2 = 0{,}4$ m.
b) $d_2 = 0{,}8$ m.
c) $d_2 = 2{,}0$ m.
d) $d_2 = 2{,}4$ m.
e) $d_2 = 4{,}0$ m.

3 (**Unesp**) Para montar a fachada de seu restaurante, o proprietário considera duas maneiras diferentes de prender uma placa na entrada, conforme as figuras 1 e 2. Nas duas maneiras, uma mesma placa de 4 m de comprimento e massa de 30 kg será presa a uma haste rígida de massa desprezível e de 6 m de comprimento, que será mantida em equilíbrio, na posição horizontal. Na situação da figura 1, a haste é presa a uma parede vertical por uma articulação A, de dimensões desprezíveis, e por um fio ideal vertical, fixo em uma marquise horizontal, no ponto B. Na situação da figura 2, a haste é presa à parede vertical pela mesma articulação A e por um fio ideal, preso no ponto C dessa parede.



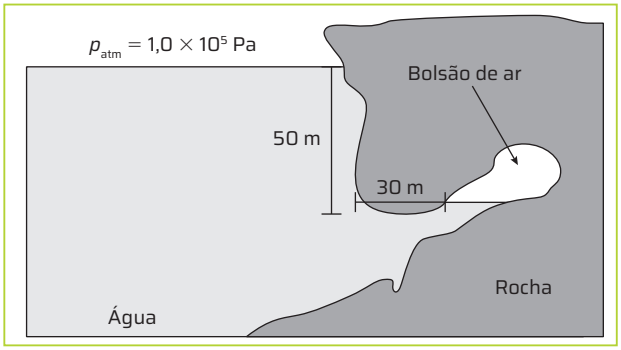
Unesp. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Considerando $g = 10$ m/s²,

a) represente as forças que atuam na haste e calcule a intensidade, em N, da força de tração no fio que prende a haste à marquise, na situação da figura 1. 200 N. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

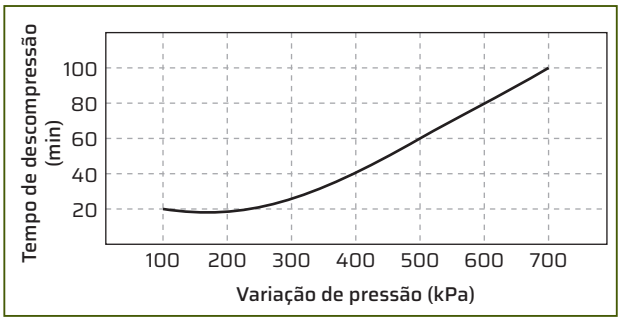
b) calcule a intensidade, em N, da força aplicada pela articulação sobre a haste, na situação da figura 2. $100\sqrt{13}$ N

4 (**Enem**) Um mergulhador fica preso ao explorar uma caverna no oceano. Dentro da caverna formou-se um bolsão de ar, como mostrado na figura, onde o mergulhador se abrigou.



Enem. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Durante o resgate, para evitar danos a seu organismo, foi necessário que o mergulhador passasse por um processo de descompressão antes de retornar à superfície para que seu corpo ficasse novamente sob pressão atmosférica. O gráfico mostra a relação entre os tempos de descompressão recomendados para indivíduos nessa situação e a variação de pressão.



Enem. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Não escreva no livro.

Considere que a aceleração da gravidade seja igual a 10 m · s^{-2} e que a densidade da água seja de $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$. Alternativa **c**.

Em minutos, qual é o tempo de descompressão a que o mergulhador deverá ser submetido?

a) 100 b) 80 c) 60 d) 40 e) 20

5 (**Enem**)

Texto I

No cordel intitulado "Senhor dos Anéis", de autoria de Gonçalo Ferreira da Silva, lê-se a sextilha:

Ao nosso planeta amado
Pouco menos que a do Sol
Ele está distanciado
E menos denso que a água
Quando no normal estado

Medeiros, A.; Agra, J. T. M. A astronomia na literatura de cordel. *Física na Escola*, n. 1, abr. 2010 (fragmento).

7. Alternativa **a**. No caso de o material ser menos denso, quando despejado na superfície, ele flutuaria, pois o empuxo e o peso se equilibrariam. Na situação em que esse material é lançado de um oleoduto submarino, o empuxo seria maior que o peso, fazendo com que subisse à superfície e nela permanecesse flutuando.

Texto II

Distâncias médias dos planetas ao Sol e suas densidades médias

Planetas	Distância média ao Sol (u.a.)	Densidade relativa média
*Mercúrio	0,39	5,6
*Vênus	0,72	5,2
*Terra	1,0	5,5
*Marte	1,5	4,0
**Ceres	2,8	2,1
*Júpiter	5,2	1,3
*Saturno	9,6	0,7
*Urano	19	1,2
*Netuno	30	1,7
**Plutão	40	2,0
**Éris	68	2,5

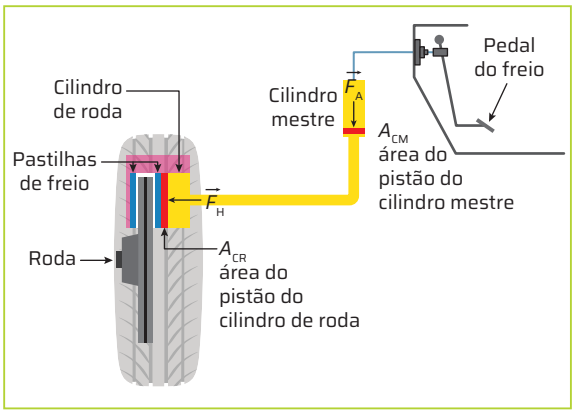
u.a. = 149 600 000 km, é a unidade astronômica. *Planeta clássico, **Planeta-anão

Características dos planetas. Disponível em: www.astronoo.com. Acesso em: 8 nov. 2019 (adaptado).

Considerando os versos da sextilha e as informações da tabela, a qual planeta o cordel faz referência?

a) Mercúrio.
b) Júpiter.
c) Urano.
d) Saturno.
e) Netuno.

6 (**Uerj**) Em um sistema hidráulico de freios automotivos, ao pisar no pedal de freio, uma força de intensidade F_A é aplicada sobre a área do pistão do cilindro mestre e uma força hidráulica de intensidade F_H é aplicada sobre a área do pistão do cilindro de roda, conforme ilustra a imagem. 1 200 N



Uerj. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Considere os seguintes valores para esse sistema:

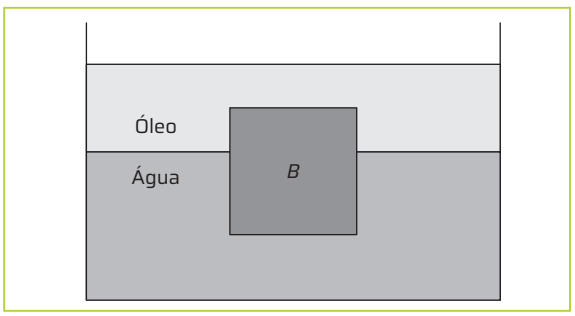
- intensidade da força F_A = 200 N;
- área do pistão do cilindro mestre A_{CM} = 2 cm^2;
- área do pistão do cilindro de roda A_{CR} = 12 cm^2.

Admitindo que o sistema se encontra em equilíbrio, calcule, em newtons, a intensidade de F_H.

7 (**Uece**) O litoral nordeste do Brasil foi recentemente poluído por petróleo. Atente para as seguintes hipóteses sobre a origem do poluente: (i) derramamento de petróleo na superfície da água, oriundo de vazamento em navio petroleiro; (ii) o material ter-se originado de vazamento em oleoduto submarino. Considerando essas hipóteses, é correto afirmar que:

a) independentemente das duas hipóteses, o poluente flutuaria se sua densidade fosse menor que a da água do mar.
b) independentemente da densidade do poluente, haveria flutuação desse petróleo na água.
c) independentemente de sua densidade, somente na hipótese (i) haveria flutuação do petróleo.
d) independentemente de sua densidade, somente na hipótese (ii) haveria flutuação do petróleo.

8 (**UFRGS-RS**) A figura abaixo representa um bloco B de densidade 900 kg/m³, flutuando na interface entre dois líquidos: água e óleo. Alternativa **c**.



UFRGS-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Considerando que $\frac{4}{5}$ do volume do bloco estão submersos na água, cuja densidade é de 1000 kg/m³, a densidade do óleo é, em kg/m³, de

a) 200.
b) 400.
c) 500.
d) 800.
e) 1900.

5. Alternativa **d**. O cordel "Senhor dos Anéis" trata de um planeta com densidade relativa menor que a da água. Sabendo que a densidade relativa é a densidade do corpo em relação à água e considerando as informações da tabela, concluímos que o cordel faz referência a Saturno.

Não escreva no livro.

FÍSICA TÉRMICA

A palavra "energia" vem do termo grego *enérgeia*, que significa "ação ou estar em atividade". De fato, nenhuma ação ocorre sem que haja transformação de energia. Seja para impulsionar uma espaçonave para fora da Terra, seja aproveitando um dia de sol na praia, alguma forma de energia sempre está envolvida em uma ação.

Nesta unidade, você vai estudar a energia térmica, o que é calor e o que é temperatura. Verá também como ocorre a troca de calor entre os corpos e, por fim, as leis da Termodinâmica e suas relações com os combustíveis e as máquinas térmicas.

OBJETIVOS

- Aprender a diferenciar os conceitos de temperatura e calor.
- Associar energia térmica, calor e temperatura.
- Caracterizar as escalas de temperatura mais utilizadas.
- Analisar sistemas termodinâmicos e suas características.
- Compreender as leis da Termodinâmica e suas aplicações.
- Observar a interação do sistema termodinâmico com o meio externo.
- Verificar fatores que influenciam o comportamento do sistema termodinâmico em relação ao seu tipo de classificação.
- Compreender o funcionamento de máquinas térmicas e os combustíveis utilizados nelas.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Aponte semelhanças e diferenças entre os seguintes conceitos: temperatura alta e temperatura baixa; quente e frio. Quais desses conceitos dependem exclusivamente das características do objeto considerado? E quais desses conceitos dependem dos sentidos e do contexto?**
2. **Em dias como o mostrado na foto, a radiação solar costuma ser bem intensa. Quais são os cuidados que devem ser tomados ao se expor ao Sol? E quais podem ser os prejuízos para a saúde humana, caso nenhum desses cuidados citados seja tomado?**

1. Respostas variáveis. Temperatura é uma grandeza física associada ao estado de um corpo. Quente ou frio é um conceito relacionado a uma sensação. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes citem a importância do uso de filtro solar. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Vista aérea da praia do Campeche, em Florianópolis (SC), em um dia ensolarado. Foto de 2023. ▸

Stocklapse/iStock/Getty Images

UNIDADE 4

1 Temperatura e calor

2 Consequências do calor

3 Leis da Termodinâmica

TEMPERATURA E CALOR

PARA COMEÇAR

1. O que você entende por calor?
2. Como podemos medir a variação de temperatura?
3. Você lê a seguinte frase: "Um corpo possui energia interna." O que lhe parece ser essa energia interna?

1. Resposta pessoal. O calor é energia térmica trocada entre dois ou mais corpos com temperaturas diferentes.
2. Espera-se que os estudantes citem o termômetro como instrumento de medição de temperatura.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes relacionem a energia interna com a energia das moléculas que constituem o corpo e com a temperatura. Veja complemento das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

CALORIMETRIA

O organismo humano transforma a energia armazenada nos alimentos em outros tipos de energia, como a energia térmica. A energia térmica permite que o organismo regule sua temperatura, mantendo-a aproximadamente constante entre 36 e 36,5 graus Celsius. Manter a temperatura corporal quase constante é uma das funções fisiológicas primárias do corpo humano. Essa estreita faixa de temperatura é importante para o funcionamento adequado dos músculos e para o controle da velocidade das reações bioquímicas do organismo.

Aproximadamente 40% da energia obtida dos alimentos é utilizada pelo corpo; o restante é eliminado na forma de calor. Quando o organismo humano produz calor em excesso, como durante um esforço físico intenso, ele o dissipa para o ambiente.

Na linguagem comum, a palavra "calor" é frequentemente associada à temperatura elevada dos corpos. De maneira informal, quando a temperatura ambiente está elevada, dizemos, por exemplo, "Hoje, está fazendo muito calor!". No entanto, alguns termos comuns na linguagem cotidiana têm um significado específico na linguagem científica, como veremos a seguir.

A **Calorimetria** é a área da Física que estuda o calor, sua medida e seus processos de transferência.

Durante uma atividade física intensa, como o ciclismo, o corpo perde água, na forma de suor, para regular a temperatura do organismo.

Brothers Art/ Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

TEMPERATURA

Para compreender o conceito de temperatura, precisamos entender o comportamento submicroscópico dos corpos. De acordo com a teoria cinético-molecular da matéria, todos os corpos são formados por partículas submicroscópicas (moléculas e átomos, principalmente) que se movem de modo constante. Essas partículas têm, portanto, energia cinética. A soma da energia cinética média (veja o boxe *De olho no conceito*) de todas as partículas de um corpo é denominada **energia térmica**. Macroscopicamente, essa energia está relacionada diretamente com a temperatura. Quanto maior a energia cinética média das partículas de um corpo, maior será a temperatura dele.

Essa associação entre a temperatura de um corpo e o movimento das partículas que o compõem evidencia as seguintes relações: maior temperatura indica movimento microscópico mais intenso; menor temperatura indica movimento microscópico menos intenso. Dessa forma, podemos definir:

Temperatura é a medida da energia cinética média das partículas que constituem um corpo ou um sistema. Quanto maior for o grau de agitação de suas partículas, maior será sua temperatura, e vice-versa.

DE OLHO NO CONCEITO

Energia cinética média

A energia cinética E_c de translação de cada átomo ou de cada molécula é dada por metade do produto de sua massa m pelo quadrado da velocidade v:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Como a quantidade de partículas (átomos, moléculas, íons) que constituem os corpos é muito grande e elas se movem com velocidades diferentes, trabalha-se com um tipo de valor médio de velocidade e, portanto, de energia cinética.

CALOR

Considere este exemplo: quando se coloca uma lata de refrigerante à temperatura ambiente em contato com gelo no interior de um recipiente térmico, a intenção é resfriar a bebida. Ao colocar os dois corpos em contato, o gelo começa a aquecer e pode derreter.

Isso ocorre porque há transferência espontânea de energia térmica entre corpos que se encontram a diferentes temperaturas.

O corpo mais quente perde energia, e o corpo mais frio recebe energia, variando as temperaturas iniciais desses corpos. Essa transferência ocorre até que a temperatura de ambos seja a mesma – ocorre, então, o **equilíbrio térmico**.

Assim, podemos definir a grandeza física calor da seguinte forma:

A transferência espontânea de energia térmica entre os corpos é provocada pela diferença entre as suas temperaturas, e essa energia em trânsito é denominada **calor**.

PARA EXPLORAR

Leia

***Arco-íris, flocos de neve,* quarks*: a Física e o mundo que nos rodeia*, de Hans Christian von Baeyer. Rio de Janeiro: Campus, 1994.**

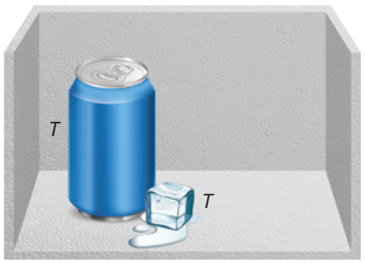
Nesse livro, o autor trata de assuntos ligados a temas centrais da Física, como movimento, luz, ondas, eletricidade e magnetismo, calor e átomos. No capítulo "Calor", ele discute esse conceito e sua evolução ao longo da história, sua presença no cotidiano e sua relação com outros campos do conhecimento humano.

O sentido natural da transferência de calor é sempre do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, até que ambos atinjam o equilíbrio térmico, conforme ilustrado a seguir.

Representações sem proporção de tamanho.

Inicialmente, a lata está à temperatura T_1, maior que a temperatura da porção de gelo, T_2. Cores-fantasia.

Durante o contato, o corpo mais quente transfere energia para o corpo mais frio. Cores-fantasia.



Quando os corpos atingem a mesma temperatura T, o sistema se encontra em equilíbrio térmico. Cores-fantasia.

Ilustrações: OracicArt/ID/BR

O metal é melhor condutor de calor do que a madeira. Quando tocamos um objeto de metal em um dia frio, o calor de nossa mão é rapidamente transferido para o metal, fazendo com que a pele perca calor mais rapidamente e, consequentemente, tenhamos uma sensação de frio.

ROTEIRO

1. Por que, em um dia frio, ao tocar um objeto de metal, ele parece mais frio do que um objeto de madeira, mesmo que ambos estejam à mesma temperatura ambiente? Explique isso com base na transferência de calor por condução.

Processos de transferência de calor

Como vimos, corpos que se encontram em temperaturas diferentes possuem energias cinéticas médias diferentes para suas partículas e, se for estabelecida a transferência de calor entre esses corpos, eles tendem ao equilíbrio térmico.

O corpo de maior temperatura transfere espontaneamente parte de sua energia térmica para o corpo de menor temperatura, e essa transferência ocorre por meio dos processos de condução, de convecção e de irradiação. Veja os exemplos a seguir.

Americ181/Shutterstock.com/ID/BR

Carne e vegetais assando por condução.

Exemplo 1

Ao assar um alimento em uma grelha (imagem **A**), a energia liberada pela queima do carvão, contida na chama, é distribuída por toda a extensão do metal, e parte dessa energia é transferida para o alimento por meio do contato entre ele e a grelha.

Nesse exemplo, a transferência de calor ocorre principalmente pelo contato direto entre a chama (fonte quente), o metal da grelha (fonte intermediária) e o alimento (fonte fria). Portanto, nessa situação, a transferência de calor para o alimento depende de um meio material (a grelha). O processo de transferência de calor com essas características é chamado de condução.

Condução, então, é o processo de transferência de calor por contato direto entre os corpos, em que a energia é transferida de partícula a partícula, desde o corpo que está em contato com a fonte quente (de maior temperatura) até o corpo que está na região mais fria (de menor temperatura). Portanto, a transferência de calor por condução depende de um meio material sólido.

MarySan/Shutterstock.com/ID/BR

O aparelho de ar condicionado funciona por convecção.

Exemplo 2

O ar frio liberado por um aparelho de ar condicionado tende a descer, pois o ar frio é mais denso que o ar quente. Por isso, esses aparelhos são instalados sempre na parte mais alta dos ambientes (imagem **B**).

Nesse exemplo, a transferência de calor ocorre pela circulação do ar no ambiente, sendo necessário um meio material (o próprio ar) para que ela aconteça. O processo de transferência de calor com essas características é chamado de convecção.

Convecção é o processo de transferência de calor em que a energia é transferida pelo movimento de um fluido (líquido ou gás) provocado pela diferença de temperatura. O fluxo formado é denominado corrente de convecção.

Antonio Salaverry/Shutterstock.com/ID/BR

A radiação proveniente do Sol atinge a Terra por irradiação.

Exemplo 3

Entre o Sol e a atmosfera terrestre, há basicamente vácuo. Assim, a energia proveniente do Sol, que atinge continuamente a Terra, não depende de um meio material para ser transferida, e não há contato direto entre a fonte quente (no caso, o Sol) e a fonte fria (a Terra), como mostra a imagem **C**.

Irradiação é o processo de transferência de calor em que a energia é transferida por radiação eletromagnética. A irradiação ocorre mesmo na ausência de um meio material, ou seja, no vácuo.

Assim, é possível perceber que, entre outros fatores, interferem na troca de calor entre os corpos a existência, ou não, do contato entre eles, a necessidade, ou não, de um meio material e também a posição relativa em que os corpos se encontram.

Não escreva no livro.

Energia interna

Além da energia cinética de translação, as partículas de um corpo apresentam energia cinética de vibração e de rotação e, devido às suas interações, também possuem energia potencial química. A soma das energias cinética e potencial de todas as partículas que constituem um corpo é chamada de energia interna, assim definida:

Energia interna é a soma da energia decorrente dos movimentos das partículas de um corpo (energia cinética) com a energia de ligação (energia potencial química) entre seus átomos e suas moléculas.

Essa definição de energia interna decorre da teoria cinético-molecular. Nessa teoria, a matéria é entendida como constituída de minúsculas partículas, as quais, dependendo do estado físico do corpo, podem interagir entre si ou movimentar-se com maior ou com menor liberdade. O quadro a seguir ilustra essa análise para três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso.

Representações sem proporção de tamanho.

Estado sólido	Estado líquido	Estado gasoso
Nostagrams/Shutterstock.com/ID/BR	Nostagrams/Shutterstock.com/ID/BR	Nostagrams/Shutterstock.com/ID/BR
No estado sólido, as partículas encontram-se próximas e têm mínima mobilidade, apenas vibrando em torno de uma posição média, mantendo-se unidas. Certa quantidade de matéria de uma mesma substância tem menor energia interna no estado sólido do que no estado líquido. Cores-fantasia.	No estado líquido, o grau de mobilidade das partículas é maior que no estado sólido, pois as forças de coesão entre elas são menores. Além do movimento vibracional, as partículas têm movimento de translação, o que confere aos líquidos a capacidade de escoar, de fluir. Considerando-se massas iguais, um corpo no estado líquido apresenta mais energia interna que no estado sólido. Cores-fantasia.	No estado gasoso, as partículas apresentam força de coesão quase nula, pois não há contato entre elas, a não ser quando colidem umas com as outras – as moléculas e os átomos apresentam maior liberdade para se mover. Porções iguais de determinada matéria têm maior energia interna no estado gasoso que nos estados sólido ou líquido. Cores-fantasia.

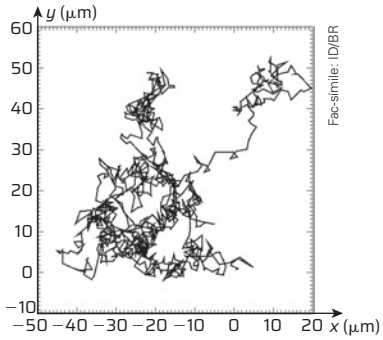
Dessa maneira, quanto mais intenso for o grau de agitação das partículas de um corpo, maior será a energia interna desse corpo e, consequentemente, maior será sua temperatura.

Movimento browniano

No início do século XIX, o físico inglês Robert Brown (1773-1858) observou que grãos de pólen se moviam caoticamente dentro da água e imaginou que isso acontecia porque o pólen é um organismo vivo. No entanto, o mesmo movimento ocorria com pó de granito.

Esse movimento caótico, que desde então passou a ser conhecido como **movimento browniano**, ficou sem explicação até que, em 1905, o então jovem cientista alemão Albert Einstein (1879-1955) concluiu, por meio de cálculos, que a causa desse movimento aleatório eram as colisões entre um número enorme de moléculas de água e os grãos em suspensão no líquido.

O trabalho de Einstein permitiu determinar quantidades microscópicas, estabelecendo um elo com o trabalho de Avogadro. Por exemplo, em 1 grama de gás hidrogênio, existem $6{,}0 \cdot 10^{23}$ átomos de hidrogênio. Esse número é denominado constante de Avogadro.



O gráfico ilustra o movimento browniano de uma partícula em suspensão na água.

Fonte de pesquisa: Valente, S. C. Q. *O movimento browniano*: aspectos teóricos e abordagem computacional. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) – Instituto de Matemática e Estatística, Uerj, Rio de Janeiro, 2019.

MEDIDAS DE TEMPERATURA

O desenvolvimento do primeiro instrumento que possibilitava comparar temperaturas, chamado **termoscópio**, foi atribuído ao físico, matemático e astrônomo italiano Galileu Galilei (1564-1642). O fundamento desse equipamento estava na observação da expansão das substâncias quando aquecidas e na consequente variação na altura da coluna do líquido que era colocado no termoscópio. No termoscópio de Galileu, em geral se usava água, e o instrumento não apresentava escala graduada para fornecer valores quantitativos de temperatura.

Termoscópio

Ilustração de um tipo de termoscópio. Cores-fantasia.

O termoscópio é um instrumento que utiliza uma porção de líquido, geralmente água, para comparar temperaturas de forma qualitativa.

À temperatura ambiente, a pressão atmosférica atua sobre a superfície da água que está no recipiente e empurra parte dela para dentro do tubo, formando uma coluna. Quando se aquece o bulbo com as mãos, o ar em seu interior sofre expansão e empurra a coluna de água para baixo.

As escalas termométricas

Nos anos seguintes, o princípio físico usado no termoscópio de Galileu evoluiu para aparelhos com escalas graduadas, até o surgimento do instrumento conhecido como **termômetro**, e desenvolveram-se modelos com bulbo de mercúrio ou de álcool, os mais comuns nos dias atuais.

Várias escalas de medida de temperatura foram sendo criadas – cada uma adotando diferentes valores de comparação – e diversas alterações foram feitas no instrumento, como o fechamento da outra extremidade do bulbo, para evitar a evaporação do conteúdo, e a substituição do líquido usado a fim de encontrar aquele que indicasse com mais precisão as variações de temperatura.

O líquido que se mostrou mais adequado para preencher o bulbo do termômetro foi o mercúrio, pois correspondia a uma substância bastante sensível às variações térmicas, já que pequenas elevações ou quedas de temperatura causavam o aumento ou a redução de seu volume, perceptíveis a olho nu, além de o volume dessa substância variar de forma linear com a temperatura. Entretanto, o uso de termômetros com mercúrio, nos dias atuais, está restrito ou proibido em razão das propriedades tóxicas do material.

As escalas Celsius e Fahrenheit

O físico e engenheiro alemão Daniel Fahrenheit (1686-1736) propôs uma escala em que adotou como referência temperaturas que já haviam sido utilizadas pelo astrônomo dinamarquês Oleaf Roemer (1644-1710) como parâmetros: as temperaturas do corpo humano, da ebulição da água e da fusão do gelo. Ao criar sua escala, Roemer queria abranger, usando somente valores positivos, a menor temperatura que pudesse ser medida; além disso, constituiu um sistema sexagesimal, com o valor de 60 graus para a temperatura de ebulição da água. As modificações introduzidas por Fahrenheit limitaram-se a alterar o intervalo adotado por Roemer e também a temperatura mais baixa do termômetro.

Na **escala Fahrenheit** (°F), o ponto de fusão do gelo ocorre a 32 graus Fahrenheit (32 °F), e o ponto de ebulição da água, a 212 °F. Essa escala termométrica foi a primeira largamente empregada por médicos e cientistas. Fahrenheit também realizou trabalhos mostrando a influência da pressão atmosférica na temperatura. Sua escala ainda é utilizada em alguns países de língua inglesa, como os Estados Unidos.

Em 1742, o físico e astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744) propôs uma escala em que o ponto zero correspondia à temperatura de ebulição da água, e o ponto 100, à temperatura de fusão do gelo (ambos à pressão atmosférica de 1 atm ao nível do mar), dividindo o intervalo em 100 partes iguais. Em 1743, esses números foram invertidos, e a **escala Celsius** (°C) passou a ser amplamente adotada.

A escala kelvin

À época da criação das escalas Fahrenheit e Celsius, a teoria cinético-molecular ainda não tinha sido desenvolvida. Por isso, essas escalas se baseavam em comparações, como o ponto de fusão do gelo ou a temperatura corpórea humana. Foi só no século XIX que se alterou esse sistema meramente comparativo, quando o físico e matemático escocês William Thomson (1824-1907) – mais conhecido como lorde Kelvin – criou uma escala com base nessa teoria, a **escala kelvin**.

ROTEIRO

2. **Explique por que soprar uma xícara de café quente ajuda a esfriá-lo. Pense na quantidade de moléculas do líquido cujas ligações são rompidas, fazendo que sejam liberadas para o ambiente, e na energia necessária para evaporá-las.**

3. **A amplitude térmica de um local é a diferença entre a temperatura máxima e a mínima, ambas registradas ao longo de um dia ou ano. O clima semiárido que predomina na Região Nordeste do Brasil apresenta amplitudes térmicas anuais em torno de 5 °C. Indique que resultado seria obtido se essa amplitude fosse medida em graus Fahrenheit e, depois, em kelvin.** 9 °F e 5 K.

2. Quando sopramos próximo à superfície, levamos as moléculas mais energéticas que estão na superfície a se desprender mais rapidamente, fazendo, consequentemente, que o líquido também se resfrie mais rapidamente.

Não escreva no livro.

No início do século XIX, vários cientistas, entre eles Kelvin, realizaram experimentos com amostras de gases variados para medir a variação da pressão com a mudança de temperatura.

Ao colocar os dados obtidos de ensaios com gases diferentes em um gráfico $p \times T$ (pressão *versus* temperatura, na escala Celsius), Kelvin verificou que a variação da pressão era diretamente proporcional à variação da temperatura.

ID/BR

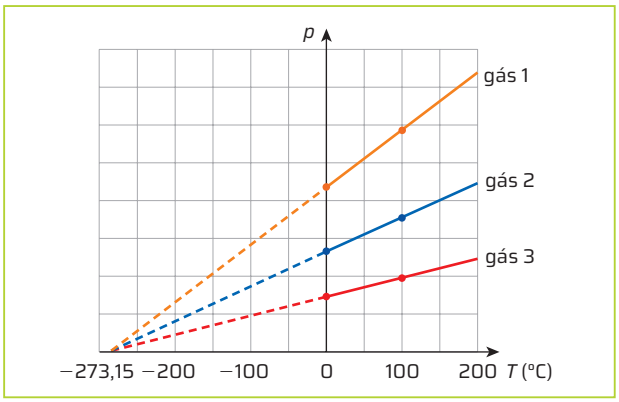


Gráfico $p \times T$ de três gases estudados por Kelvin e o encontro das três retas em −273,15 °C.

Fonte de pesquisa: Lisbôa, R. As escalas de temperatura. *In*: *Introdução à Física Clássica 2*: aula 18. Natal: UFRN, 2016. Disponível em: https://pessoal.ect.ufrn.br/~ronai/IFC2-2016-1/A19/A03.html. Acesso em: 16 out. 2024.

Prolongando-se as retas obtidas para cada gás, todas eram concorrentes no ponto correspondente à pressão zero e à temperatura −273,15 °C.

Segundo essa observação, Kelvin propôs uma escala que associava a temperatura à energia cinética média das partículas constituintes do corpo. Com isso, adequou a medição de temperatura à teoria cinético-molecular da matéria. Na escala kelvin (K), o valor zero foi atribuído ao ponto em que não há agitação das moléculas (ao menos teoricamente) – situação em que as partículas estão em repouso. Isso ocorre à temperatura de −273,15 °C, medida que passou a ser denominada **zero kelvin** ou **zero absoluto** (para essa escala, aboliu-se o uso do termo "grau").

A escala kelvin manteve a graduação da escala Celsius, ou seja, a variação de 1 grau na escala Celsius corresponde à variação de uma unidade kelvin. Portanto, as temperaturas de 0 °C e 100 °C correspondem, respectivamente, a 273,15 K e a 373,15 K.

O zero absoluto não é observado na natureza. Temperaturas próximas disso são observadas no espaço sideral ou produzidas em laboratório.

Conversão entre escalas termométricas

Para converter os valores de uma escala termométrica para outra, é preciso conhecer os valores de ao menos duas temperaturas, indicados em cada escala, denominados **valores de referência**.

A relação entre os intervalos menores e maiores das escalas Celsius e kelvin é a mesma. Considerando T_C a temperatura lida na escala Celsius e T_K a temperatura correspondente na escala kelvin, podemos construir a seguinte relação para comparar as amplitudes dessas escalas:

$$\frac{x}{y} = \frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_K - 273}{373 - 273} \Rightarrow \frac{T_C}{100} = \frac{T_K - 273}{100} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_C = T_K - 273 \text{ ou } T_K = T_C + 273$$

Para mostrar a conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit, serão adotados os mesmos valores de referência usados para as escalas Celsius e kelvin. Porém, na escala Celsius, o intervalo entre as temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água é de 100 graus, enquanto na escala Fahrenheit é entre 32 °F e 212 °F, ou seja, o que corresponde a 180 graus. Isso significa que a conversão não ocorre como na comparação entre Celsius e kelvin, em que as variações são de 1 para 1 (1 °C para 1 K).

Chamando de T_C a temperatura lida na escala Celsius e de T_F a temperatura correspondente na escala Fahrenheit, podemos estabelecer a seguinte expressão matemática para a conversão entre as duas escalas:

$$\frac{x}{y} = \frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180}$$

Para simplificar os denominadores, dividimos as duas frações pelo máximo divisor comum, que é o número 20. Obtemos, então, a seguinte expressão:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

Outra informação importante que podemos obter com a análise das duas escalas é a equivalência entre a variação de grau em uma escala e a variação na outra escala.

Vimos que, enquanto a escala Celsius tem 100 divisões, a Fahrenheit tem 180. Assim, podemos expressar essa equivalência da seguinte maneira:

$$\frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = \frac{180}{100} \Rightarrow \frac{\Delta T_F}{\Delta T_C} = 1{,}8 \Rightarrow \Delta T_F = 1{,}8 \cdot \Delta T_C$$

A expressão acima evidencia que uma variação de temperatura de 1 °C equivale a uma variação de 1,8 °F.

Kelvin: a unidade de temperatura do Sistema Internacional de Unidades (SI)

A unidade kelvin foi introduzida em 1954, na 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, e era chamada de grau kelvin (°K).

Em 1967, o Sistema Internacional de Unidades (SI) adotou a unidade kelvin como uma das sete unidades que compõem sua base. O uso da palavra "grau" foi abolido, bem como seu símbolo (°), já que não se trata de uma escala termométrica (como Celsius e Fahrenheit), mas de uma unidade de medida ligada diretamente à energia interna de um corpo.

Estimando o zero absoluto

A temperatura é uma grandeza física muito importante para a manutenção da vida, além de ter inúmeros usos e aplicações. Mas será que existe um valor limite para essa grandeza? Nesta atividade, por meio de um gráfico e equações, você e os colegas vão relacionar temperatura e pressão, discutindo valores e suas consequências.

Material

- dispositivo com acesso à internet
- folha de papel quadriculado
- lápis
- régua
- simulador Gases: Introdução, disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/gases-intro/latest/gases-intro_all.html?locale=pt_BR (acesso em: 16 out. 2024)

Como fazer

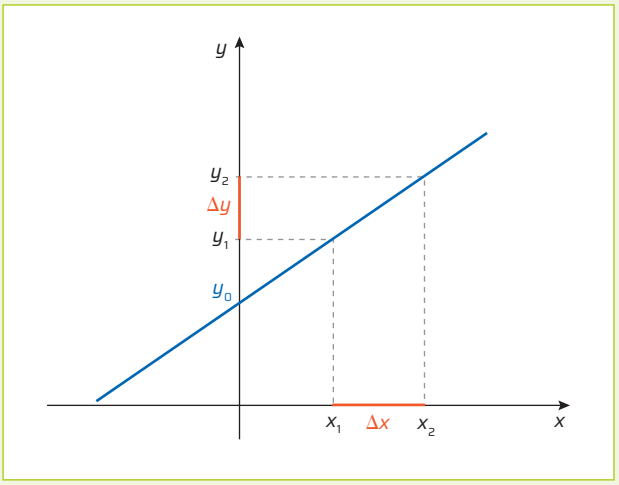
1. Reúna-se em dupla com um colega. Acessem o simulador e selecionem a opção "Leis" e, em seguida, a opção "Manter constante/Volume (V)". Depois, troquem a unidade de temperatura para °C e, no menu "Partículas", adicionem a quantidade de partículas ao experimento. Movam a barra do balde para cima ou para baixo para aquecer ou esfriar o sistema, respectivamente. **2.** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
2. Reproduzam as tabelas a seguir no caderno e obtenham os valores de pressão para os valores de temperatura e quantidade de gás indicados.

Pesadas (50 unid.)	
T (°C)	pressão (atm)
−100	//////////////////
−75	//////////////////
−50	//////////////////
−25	//////////////////
0	//////////////////
25	//////////////////
50	//////////////////
75	//////////////////
100	//////////////////

Leves (100 unid.)	
T (°C)	pressão (atm)
−100	//////////////////
−75	//////////////////
−50	//////////////////
−25	//////////////////
0	//////////////////
25	//////////////////
50	//////////////////
75	//////////////////
100	//////////////////

3. Utilizem a folha de papel quadriculado, a régua e o lápis para fazer os eixos de um gráfico $p \times T$.
   - Para o eixo das abscissas (horizontal), elejam a grandeza de temperatura, com valores extremos de −300 °C até 150 °C e escala de 50 °C ou 25 °C.
   - Para o eixo das ordenadas (vertical), elejam a grandeza de pressão, com valores máximos de 0 atm a 20 atm e escala de 1 atm ou 2 atm.
4. Insiram no gráfico os valores da tabela utilizando escalas e aproximações. Escolham um formato de marcador para cada série de dados.
5. Tracem a linha de tendência para cada uma das séries de dados.
6. Determinem as equações de cada série, de acordo com a fórmula: $y = \frac{\Delta y}{\Delta x}x + y_0$. O valor para y_0 pode ser obtido conforme mostra o gráfico a seguir.

6. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.



ID/BR

Para concluir

1 Encontrem o valor da temperatura T para $p = 0$. Discutam com os colegas o que significa esse valor.

2 Se possível, em um computador com *software* de dados e gráficos, construam o gráfico e encontrem as retas de tendências e as equações dessas retas. Utilizem esses dados para obter a temperatura T para $p = 0$. Comparem os dois gráficos e explique eventuais diferenças entre os seus dados e os dados do computador.

3 As altas temperaturas são mais "fáceis" de serem alcançadas que as temperaturas mais baixas. O limite mínimo da temperatura é o zero absoluto. Na prática, contudo, essa temperatura nunca foi atingida. Discutam com os colegas quais são as diferenças para se alcançar temperaturas muito altas e temperaturas muito baixas, próximas do zero absoluto.

1. O valor previsto é −273 °C. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
2. Esperam-se possíveis valores diferentes devido às aproximações no processo de estimar o zero absoluto com base nas projeções gráficas.
3. Pode-se considerar a transferência de energia como um obstáculo, assim como as baixas e as altas energias envolvidas.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

AS PRIMEIRAS MEDIÇÕES DE CALOR

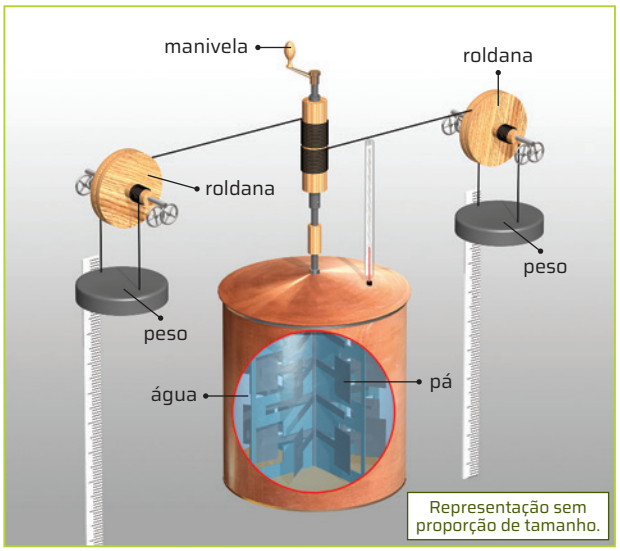
As primeiras explicações sobre o calor surgiram da tentativa de compreender o fogo. No século XVII, o químico e médico alemão Georg Ernst Stahl (1659-1734) propôs uma teoria sobre a existência de uma substância que chamou de flogístico, retomando as ideias do cientista alemão Johann Joachim Becher (1635-1682). Materiais combustíveis continham bastante flogístico: à medida que queimavam, essa substância era consumida. A ideia do flogístico não foi a única; o filósofo britânico Francis Bacon (1561-1626) pensou na hipótese de que o calor seria composto de partículas em movimento.

As ideias de Bacon e de Stahl foram rejeitadas pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) no século XVIII, quando esse cientista descobriu que a combustão é uma reação com o oxigênio presente no ar. Para Lavoisier, o calor era gerado devido a um fluido imponderável, ou seja, sem massa, que, mais tarde, foi denominado por ele calórico. Essa substância, segundo Lavoisier, seria transferida de um corpo para outro, mas a quantidade total de calórico se conservaria, ou seja, haveria uma lei da conservação do calórico. Até então, existiam duas linhas de pensamento entre os cientistas: uma que considerava o calor como substância e outra que o associava ao movimento das partículas do corpo.

A proposta da existência do calórico foi superada no século XIX, quando o filósofo anglo-estadunidense Benjamin Thompson, o conde de Rumford (1753-1814), então ministro da Guerra da Grã-Bretanha, ao inspecionar uma fábrica de canhões, observou que o atrito da broca com o metal esquentava-o mesmo quando este era resfriado continuamente com água. O atrito entre a broca e o canhão sugeria que o calórico poderia ser criado sempre, de maneira ilimitada – e isso violava o princípio da conservação do calórico proposto por Lavoisier.

Após o surgimento das primeiras máquinas a vapor, que funcionavam pela transferência de calor de uma fonte quente para outra fria, a ideia de calor como substância ganhou força com o físico e engenheiro mecânico francês Sadi Carnot (1796-1832), que fez a seguinte analogia: a realização de trabalho de uma queda-d'água ao empurrar uma roda-d'água é semelhante à transferência de calórico da fonte quente para a fonte fria.

O físico inglês James Prescott Joule (1818-1889), no século XIX, criou a teoria do princípio da conservação da energia mecânica – era o fim da teoria do calor como substância. Além disso, coube a ele a elaboração de um experimento para calcular o valor do equivalente mecânico do calor. O mecanismo (veja esquema a seguir) consistia em um reservatório de água dentro do qual foram introduzidas pás que giravam quando impulsionadas pela queda de dois corpos de massas conhecidas. A rotação das pás aumentava a agitação das moléculas de água, acarretando um aumento de temperatura. O famoso mecanismo permitiu definir 1 caloria como a energia necessária para elevar a temperatura de 1 grama de água de 14,5 °C para 15,5 °C, sendo equivalente a um trabalho de 4,186 newton-metro (unidade que, após a morte do cientista, recebeu o nome de joule).



Yuri Korchmar/Shutterstock.com/ID/BR

Representação do experimento de Joule para a determinação do equivalente mecânico do calor, em 1845. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa da imagem: Ferreira, L. M.; Oliveira, H. B. Equivalente mecânico do calor. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do ABC, 2017. Disponível em: http://www.astro.iag.usp.br/~barai/TEACHING/2021-LFI/Experimento3_Equivalente_Mecanico_do_Calor.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

Para discutir

1 **Descreva a diferença entre a definição de calor dada por Lavoisier e a adotada pela ciência atualmente.** Para Lavoisier, o calor era gerado devido a um fluido imponderável (sem massa) denominado calórico. Atualmente, sabemos que calor é a energia em trânsito entre corpos com diferentes temperaturas.

2 **Explique o que levou a teoria do calórico ao declínio.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 **Ao confrontar as teorias atuais às primeiras tentativas de explicar algum fenômeno, muitas vezes se pensa que a aceitação das ideias iniciais é absurda. Reflita e explique se a ideia da existência do calórico, para a época, era algo fora de propósito.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes associem essa questão ao caráter transitório das ciências.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Leia o trecho de texto a seguir.**

Onda de calor: qual é a temperatura máxima que uma pessoa pode suportar?

[...]

Períodos excepcionalmente quentes, conhecidos como ondas de calor, podem desencadear várias consequências para a saúde das pessoas. Quando a temperatura passa dos 40 °C, os indivíduos podem se ver seriamente afetados.

[...]

ONDA de calor: qual é a temperatura máxima que uma pessoa pode suportar? *National Geographic Brasil*, [*s. l.*], 21 jul. 2023. Disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2023/07/onda-de-calor-qual-e-a-temperatura-maxima-que-uma-pessoa-pode-suportar. Acesso em: 16 out. 2024.

Estudos mostram que, quando a temperatura ambiente passa dos 40 °C, é preciso atenção a sintomas como fadiga, tontura repentina, exaustão, entre outros, já que podem ser condições de hipertermia.

a) Pesquise quais medidas são necessárias para preservar a saúde e o bem-estar das pessoas em períodos que registram altos valores de temperatura ambiente, conhecidos como ondas de calor.

b) Em países que usam a escala Fahrenheit para registros de temperatura, qual seria o valor correspondente ao valor de temperatura de 40 °C, citado no texto?

Resolução

a) Resposta pessoal. Os estudantes podem citar, por exemplo, evitar exposição à radiação solar entre as 10 horas e as 16 horas, manter-se hidratado de forma adequada, dar preferência a uma alimentação leve, manter ambientes ventilados e climatizados, fazer uso de protetor solar, entre outras medidas.

b) Considerando o valor de temperatura $T_C = 40$ °C, basta aplicar a equação de conversão entre as escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit. Assim, temos:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \leftrightarrow \frac{40}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \leftrightarrow$$

$$5T_F - 160 = 360 \leftrightarrow 5T_F = 360 + 160$$

$$T_F = \frac{520}{5} \leftrightarrow T_F = 104 \text{ °F}.$$

2 **Uma pessoa diz: "A maior temperatura que suportei foi um valor que, medido na escala Fahrenheit, é 2,6 vezes o valor obtido na escala Celsius". Calcule o valor dessa temperatura.** 40 °C

3 **Temperaturas entre 35 °C e 42 °C podem ser medidas com um termômetro clínico, enquanto alguns termômetros usados em laboratório apresentam graduação que vai de −10 °C a 110 °C. Explique por que existe essa diferença entre as amplitudes desses dois tipos de termômetro.** A graduação do termômetro depende muito do uso. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

4 **Cotidianamente, é comum que as palavras "temperatura" e "calor" sejam utilizadas como se tivessem o mesmo significado. Na linguagem cientificamente correta, qual é a diferença entre elas?**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **Descreva, do ponto de vista microscópico, a relação entre energia cinética e temperatura.**
A temperatura está relacionada à energia cinética média das moléculas, de modo que, quanto maior essa energia, maior a temperatura.

6 **A frase "Temperatura é a energia cinética média das partículas de um corpo" é correta? Justifique.** Não.
Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 **A maioria dos termômetros de bulbo contém mercúrio ou álcool.**

a) Explique por que essas duas substâncias são as mais usadas. Mercúrio e álcool são substâncias que se dilatam e se contraem com pouca variação de temperatura.

b) Pesquise as principais razões por que não se utilizam termômetros de bulbo contendo água.
A dilatação da água é pequena, não é linear, e seu ponto de fusão é alto.

8 **A temperatura no interior da Terra aumenta aproximadamente 1 °C a cada 30 m de profundidade. Suponha que essa variação seja constante.**

a) Construa uma escala termométrica que relacione a temperatura do interior da Terra, medida na escala Celsius, com a profundidade, medida em metro. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Utilizando a escala construída no item anterior, calcule a profundidade em que se pode encontrar ferro fundido, sabendo que a temperatura de fundição do ferro é aproximadamente 1500 °C.
44 250 m

9 **Justifique por que as escalas termométricas Celsius e Fahrenheit não são consideradas escalas absolutas.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

10 **A temperatura ambiente é influenciada, entre outros fatores, pela pressão atmosférica: quanto menor a pressão atmosférica local, menores são os valores de temperatura medidos. A pressão atmosférica diminui com a altitude. Por exemplo, um avião comercial voa a uma altitude de 11 000 m. Nessa altitude, a pressão atmosférica é um quarto da pressão ao nível do mar e a temperatura é da ordem de −55°C.**

a) Estime a temperatura de uma cidade litorânea e crie uma escala termométrica que relacione a temperatura ambiente (em °C) com a altitude (em km), considerando que a variação de temperatura seja constante em função da altitude.

b) Construa uma tabela apresentando lugares famosos, situados em diferentes altitudes, com as respectivas temperatura e pressão atmosférica locais. (Inclua o monte Everest em sua tabela.)

10. a) Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
b) Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

3. Resposta pessoal. Os estudantes podem mencionar o uso do *freezer*, por exemplo, que propicia o congelamento dos alimentos, quando estes atingem equilíbrio térmico com o ambiente em seu interior.

CONSEQUÊNCIAS DO CALOR

2. Resposta pessoal. Os estados físicos da matéria ou fases são as diferentes formas como uma substância pode se apresentar, o que tem relação com as ligações entre suas moléculas. Os estados físicos mais facilmente identificáveis no cotidiano são: sólido, líquido e gasoso. Há, ainda, o quarto estado da matéria, denominado plasma, que, embora não esteja presente na vida cotidiana, é o estado da matéria que predomina no Universo, uma vez que a massa das estrelas se encontra na forma de plasma.

O CALOR E A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

Quando ocorre transferência de calor entre corpos, uma das possíveis consequências é a variação da temperatura. Por exemplo, uma panela que é colocada sobre a chama de um fogão tem sua temperatura aumentada, pois a chama fornece calor a ela. Contudo, o tempo necessário para a panela atingir determinada temperatura depende de fatores como a intensidade da chama, a massa da panela e o material de que ela é feita.

Em certas situações, é preciso que o sistema atinja uma temperatura predeterminada, em um intervalo de tempo também preestipulado. É o caso da **pasteurização do leite**, necessária para esterilizar esse alimento, eliminando certos microrganismos nocivos. Esse processo consiste em aquecer o leite a temperaturas entre 71 °C e 75 °C durante 15 segundos e, em seguida, resfriá-lo rapidamente com água gelada, a temperaturas entre 2 °C e 3 °C. A quantidade de calor fornecida e posteriormente retirada depende da quantidade de leite que será pasteurizado. Esse exemplo evidencia por que é importante conhecer as propriedades que descrevem quanto cada substância se aquece ao receber determinada quantidade de calor e também quanto precisa ser resfriada para perder essa quantidade de energia.

PARA COMEÇAR

1. Por que são necessárias altas temperaturas para extrair os metais de seus minérios?
2. O que você entende por estado físico da matéria?
3. Cite situações do seu dia a dia em que o calor é usado para alterar o estado físico de uma substância.

1. Os metais são encontrados em minerais e minérios presentes na crosta terrestre. O mais antigo método de obtenção é o da fundição, em que o minério é submetido a elevadas temperaturas. Como os pontos de fusão dos metais são diferentes, o de menor valor fundirá antes dos demais. O metal em estado líquido pode, assim, ser mais facilmente separado dos outros minerais que ainda se encontram no estado sólido.

A pasteurização é fundamental para tornar os alimentos seguros para consumo e garantir sua qualidade. O leite é um dos principais produtos em que se aplica a pasteurização, mas outros alimentos também são submetidos a esse processo, como embutidos ou sorvetes.

Denis Babushkin/Shutterstock.com/ID/BR

CAPACIDADE TÉRMICA

Para um corpo no estado sólido ou no estado líquido e para uma porção de gás com volume constante, a variação de temperatura ΔT relaciona-se diretamente com a quantidade de calor Q recebida ou perdida por ele. Experimentalmente, observa-se que a variação de temperatura é proporcional à quantidade de calor recebida ou perdida. Assim, podemos definir uma grandeza térmica característica do corpo denominada capacidade térmica:

Capacidade térmica (C) de um corpo é a razão entre a quantidade de calor transferida Q e sua respectiva variação de temperatura ΔT.

Podemos, então, escrever a seguinte expressão matemática:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Nessa expressão, Q é uma forma de energia, sendo medida em joule (J) ou caloria (cal), e ΔT é a variação de temperatura, sendo medida em grau Celsius (°C) ou em kelvin (K). A capacidade térmica, portanto, pode ser medida em J/K ou cal/°C. A relação entre joule e caloria é 1,0 cal $\simeq$ 4,186 J.

Desse modo, se um corpo tem capacidade térmica igual a 500 cal/°C, entende-se que, a cada 500 cal fornecidas a ele, sua temperatura se eleva em 1 °C ou, no caso inverso, a cada 500 cal cedidas pelo corpo, sua temperatura diminui em 1 °C.

Para calcular a quantidade de calor Q necessária para aquecer ou resfriar um corpo com base em sua capacidade térmica C, podemos isolar Q na relação anterior, o que resulta na seguinte relação:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

A quantidade de calor Q envolvida no aquecimento ou no resfriamento de uma substância é denominada **calor sensível**.

CALOR ESPECÍFICO

De nossa experiência cotidiana, pode-se identificar que a quantidade de calor necessária para aumentar em 1 °C a temperatura de um copo com água é diferente para variar a mesma temperatura de um balde com água. Desse modo, pode-se concluir que corpos feitos de um mesmo material, porém com massas diferentes, têm capacidades térmicas distintas. Ou seja, nesse caso, o corpo de maior massa tem maior capacidade térmica.

Para saber a variação de temperatura de determinada substância, independentemente de sua massa, aplicamos a propriedade denominada calor específico, assim definida:

Calor específico (c) é a quantidade de calor que deve ser fornecida ou retirada para que a massa unitária de uma substância sofra uma variação unitária de temperatura.

Para calcular o valor do calor específico de dada substância, dividimos o calor fornecido à substância pela respectiva variação de temperatura e pela massa da substância:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Cada material tem um valor de calor específico diferente, o que significa que diferentes substâncias requerem diferentes quantidades de calor para alterar sua temperatura.

Acompanhe os exemplos que se referem a três corpos, todos de 500 g de massa, mas constituídos de substâncias diferentes, os quais recebem, individualmente, 1 mil calorias de uma fonte de calor. Em seguida, são medidas as respectivas variações de temperatura e, com os dados obtidos, calcula-se o valor do calor específico de cada substância.

Não escreva no livro.

Mercúrio (Imagem **A**)

$Q = 1\,000$ cal e $\Delta T = 60$ °C

$$c_{\text{mercúrio}} = \frac{1\,000 \text{ cal}}{500 \text{ g} \cdot 60 \text{ °C}} = 0{,}03 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}}$$

Para que 1 g de mercúrio tenha a temperatura elevada em 1 °C, é preciso fornecer 0,03 cal a esse corpo.

Alumínio (Imagem **B**)

$Q = 1\,000$ cal e $\Delta T = 9$ °C

$$c_{\text{alumínio}} = \frac{1\,000 \text{ cal}}{500 \text{ g} \cdot 9 \text{ °C}} = 0{,}22 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}}$$

Para que 1 g de alumínio tenha a temperatura elevada em 1 °C, é preciso fornecer 0,22 cal a esse corpo.

Cobre (Imagem **C**)

$Q = 1\,000$ cal e $\Delta T = 22$ °C

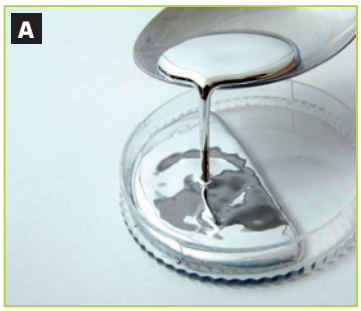
$$c_{\text{cobre}} = \frac{1\,000 \text{ cal}}{500 \text{ g} \cdot 22 \text{ °C}} = 0{,}09 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{°C}}$$

Para que 1 g de cobre tenha a temperatura elevada em 1°C, é preciso fornecer 0,09 cal a esse corpo.

Portanto, se o **calor específico** de uma substância é 0,8 cal/g · °C, por exemplo, significa que é necessário fornecer 0,8 caloria para elevar a temperatura de 1 g dessa substância em 1 °C.

Uma **caloria** é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C para 15,5 °C, sob condição normal de pressão (1 atm).

Por outro lado, se a **capacidade térmica** de um corpo é 100 cal/°C, isso significa que, para elevar a temperatura desse corpo em 1 °C, é preciso fornecer a ele 100 cal.



Videophoto/iStock/Getty Images

Evgeny Karandaev/Shutterstock.com/ID/BR

FabrikaSimf/Shutterstock.com/ID/BR

Os metais, como o mercúrio (**A**), o alumínio (**B**) e o cobre (**C**), têm calores específicos baixos quando comparados à água, por exemplo.

O calor específico da água

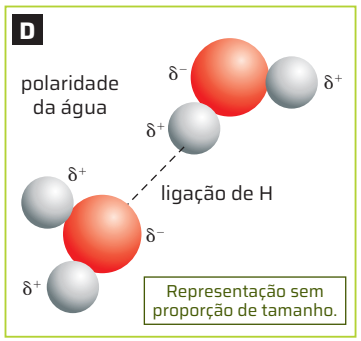
Em áreas próximas a grandes corpos d'água, como lagos, represas, rios ou o mar, a variação de temperatura do ambiente não é tão ampla quanto em regiões áridas e semiáridas. Esse fato pode ser explicado pelas propriedades que as substâncias apresentam em relação à transferência de calor.

A areia das regiões áridas tem calor específico relativamente baixo, isto é, uma pequena quantidade de calor já é suficiente para fazer variar significativamente sua temperatura. Assim, nessas regiões, durante o dia, o calor fornecido pelo Sol provoca grande aquecimento do solo desértico, elevando sua temperatura a valores em torno de 50 °C. À noite, o fenômeno se inverte: a areia se resfria rapidamente, provocando uma queda brusca da temperatura ambiente, que pode chegar a valores abaixo de 0 °C. A ampla variação de temperatura é um dos fatores para os desertos serem tão inóspitos à vida humana.

Assim, a presença de água em uma região é de grande importância porque, além de ser uma substância fundamental para a vida – já que participa da maior parte dos processos fisiológicos dos seres vivos –, a água é um regulador térmico, ou seja, impede grandes variações de temperatura ao longo do dia.

A capacidade de regulação térmica da água se deve ao fato de que seu calor específico é um dos mais altos de todas as substâncias conhecidas. Esse valor tão elevado se explica pelo arranjo molecular da água (imagem **D**), organizado por forte polaridade e, consequentemente, pouca mobilidade. Por isso, de acordo com o modelo cinético-molecular, não há aumento significativo na energia cinética da água quando essa substância recebe pequena quantidade de energia, ou seja, sua temperatura não se eleva em demasia.

Portanto, grandes corpos d'água podem absorver quantidades significativas de energia sem sofrer aumentos consideráveis de temperatura. Onde há grandes reservatórios, a água absorve calor lentamente durante o dia e perde esse calor à noite também de forma lenta.



ID/BR

Devido à polarização da ligação oxigênio-hidrogênio, nas moléculas de água, há a formação de intensos polos positivos e negativos. Essa polarização e a disposição espacial dos átomos na molécula possibilitam a interação de átomos de hidrogênio (em cinza no esquema) de uma molécula com átomos de oxigênio (em vermelho) de moléculas vizinhas, resultando em uma força relativamente intensa entre as moléculas de água – a ligação de hidrogênio. Cores-fantasia.

Equação fundamental da calorimetria

A relação entre capacidade térmica e calor específico é definida pela seguinte expressão:

$$C = m \cdot c \Rightarrow c = \frac{C}{m}$$

Kuzmik_A/Stock/Getty Images

Para sofrer um aumento de temperatura ($\Delta T > 0$), o corpo (no caso, uma chaleira com água) deve receber calor ($Q > 0$).

Considerando a definição de calor específico e a definição de capacidade térmica (ambas já apresentadas), a expressão matemática para o cálculo do calor específico de uma substância é:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Pelo calor específico c, determinamos a equação fundamental da calorimetria, isto é, a quantidade de calor sensível Q que deve ser fornecida a um sistema de massa m para se obter uma variação de temperatura ΔT:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Assim, a quantidade de calor envolvida no aquecimento ou no resfriamento de um corpo depende da sua massa, da substância da qual o corpo é constituído (propriedade fornecida pelo calor específico) e da variação de temperatura.

Por convenção, atribui-se sinal positivo para o valor da quantidade de calor recebida por um corpo e sinal negativo para o valor da quantidade de calor cedida por um corpo.

A tabela a seguir indica valores de calor específico para algumas substâncias conhecidas.

Substância	água líquida	vapor de água	gelo	vidro	ferro	prata	madeira	alumínio
Calor específico (cal/g · °C)	1,0	0,48	0,5	0,2	0,11	0,056	0,42	0,22

Fonte de pesquisa: Lide, D. R. (ed.). *Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC-Press, 2007.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Coloca-se 1 litro de água (ou seja, 1000 g de água) com temperatura inicial de 25 °C em uma jarra de vidro refratário. A jarra é posta dentro de um forno elétrico que fornece calor a uma taxa de 150 calorias por segundo. Determine o intervalo de tempo, em minutos, necessário para a água entrar em ebulição.

Para os cálculos, adote $c_{água}$ = 1,0 cal/g · °C e temperatura de ebulição da água = 100 °C. Despreze o calor necessário para aquecer a jarra.

Resolução

Primeiro, é preciso calcular a variação de temperatura (ΔT) necessária para a ebulição:

$\Delta T = T_{água\ final} - T_{água\ inicial} = 100\ °C - 25\ °C \Rightarrow \Delta T = 75\ °C$

Para o cálculo da quantidade de calor (Q) necessária para aquecer a água, substituímos os valores fornecidos na equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m_{água} \cdot c_{água} \cdot \Delta T = 1000 \cdot 1 \cdot 75 \Rightarrow Q = 75\,000 \Rightarrow Q = 75\,000\ cal$$

De acordo com o enunciado, são fornecidas 150 cal/s de calor. Logo, o intervalo de tempo (Δt) necessário para a água receber as 75 000 cal pode ser determinado pela razão entre o calor recebido e sua taxa de transferência:

$$\Delta t = \frac{75\,000}{150} \Rightarrow \Delta t = 500 \Rightarrow \Delta t = 500\ s$$

Logo, nessas condições, o intervalo de tempo para a água entrar em ebulição é 8 minutos e 20 segundos.

ROTEIRO

1. Uma pessoa retira de um congelador doméstico 12 cubos de gelo, todos com massa de 50 g, à temperatura inicial de −5 °C. Calcule a quantidade de calor que o gelo recebe do ambiente antes de iniciar sua fusão (que ocorre a 0 °C). Considere c_{gelo} = 0,5 cal/g · °C.

1. Nesse caso, temos 12 cubos de gelo, cada um com 50 g de massa. Assim, a massa total de gelo é 600 g. O gelo está inicialmente a −5 °C e vai a 0 °C. Então:
$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 600 \cdot 0{,}5 \cdot [0 - (-5)]$
$Q = 1\,500$ cal.
Portanto, o gelo deverá receber 1 500 calorias para ir de −5 °C a 0 °C.

Não escreva no livro.

Calorímetros e seus usos

Para medir a capacidade térmica de um corpo ou o calor específico da substância de que ele é feito, pode-se utilizar um instrumento denominado **calorímetro**, que é um recipiente feito com material isolante térmico. Dentro do calorímetro, ocorrem transferências de calor, sem haver perdas significativas para o meio externo.

As paredes externas geralmente são feitas de material térmico para reduzir a transferência de calor por condução. Internamente, um recipiente metálico espelhado impede a transmissão de calor por irradiação. Para que o calor se propague igualmente entre os corpos colocados dentro do calorímetro e a temperatura no interior do instrumento seja uniforme, usa-se um agitador. Veja na imagem um exemplo de calorímetro.

Sérgio Dotta Jr./ID/BR

A superfície externa de um calorímetro é adiabática (do grego *adiábatos*, "impenetrável, que não se pode passar"), visto que ela dificulta transferências de calor para o meio externo.

1. Espera-se que os estudantes respondam, por exemplo: no transporte de produtos perecíveis; no armazenamento e transporte de determinados produtos químicos e de amostras laboratoriais, entre outros.
2. Resposta pessoal. O objetivo da questão é promover a conscientização da importância da doação de órgãos.

O funcionamento de um calorímetro ideal baseia-se na transferência de calor que ocorre quando se colocam em contato corpos em temperaturas diferentes. Conhecidas as propriedades de um dos corpos, consegue-se determinar a capacidade térmica ou o calor específico do outro corpo com a verificação das temperaturas inicial e final no interior do calorímetro.

Uma vez que o calorímetro ideal é termicamente isolado, a soma das quantidades de calor transferidas é nula, isto é, a quantidade de calor que um corpo ou uma substância ganha é igual à quantidade que o outro corpo ou substância perde. Isso se justifica pelo princípio da conservação da energia:

> Em um sistema ideal termicamente isolado, não há perda de calor para o ambiente externo, de modo que a soma do calor recebido com o calor fornecido em seu interior é nula.

Considere uma caixa térmica e isolada idealmente, por exemplo. Os produtos colocados em seu interior estão inicialmente em temperaturas diferentes. Os corpos com maior temperatura cederão calor aos corpos com menor temperatura, até que, após algum tempo, todos atinjam o equilíbrio térmico. A soma das quantidades de calor trocadas no interior da caixa é nula, já que não há perda de calor para o meio externo.

Entretanto, a maioria dos calorímetros é real, ou seja, o isolamento não é total, sendo necessário considerar a capacidade térmica do calorímetro nas trocas de calor. As garrafas térmicas, por exemplo, são calorímetros reais, já que após certo intervalo de tempo, é possível verificar que a temperatura do líquido contido em seu interior sofreu alterações.

AÇÃO E CIDADANIA

O transporte de órgãos para transplante

O uso de recipientes como os calorímetros, que evitam as trocas de calor com o ambiente externo, são essenciais na área da saúde. Eles são de grande importância, por exemplo, no transporte de vacinas e medicamentos, e também promovem condições adequadas para o transporte de órgãos para transplante. Tais recipientes mantêm estável a temperatura necessária a cada situação.

Quando se trata de órgãos para transplante, entre outros cuidados, após serem retirados do doador, os órgãos devem ser devidamente acondicionados, armazenados e levados o mais rápido possível ao local onde está o paciente que será transplantado. Assim, além do tempo de transporte ser fundamental, o acondicionamento adequado se mostra essencial para o sucesso desse processo.

1. **Em quais outras situações é necessário o uso de caixa térmica ou de outros tipos de recipiente que conservam a temperatura de produtos e de substâncias?**
2. **Em sua opinião, qual é a importância da doação de órgãos? Converse com seus colegas e familiares sobre esse assunto.**

ROTEIRO

2. Um copo descartável de plástico vazio queima-se rapidamente quando colocado em contato com o fogo. Porém, se o copo estiver cheio de água, o líquido é aquecido sobre a chama por um intervalo de tempo considerável, sem que o copo queime. Sem realizar esse experimento, explique como isso é possível.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

PARA EXPLORAR

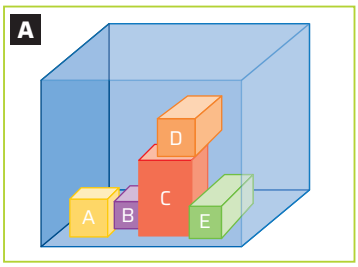
Leia

***Física sem mistério*, de Stan Gibilisco. Rio de Janeiro: Alta Books, 2013.**

Esse livro trabalha conceitos essenciais da Física, como temperatura e estado físico da matéria, com exemplos e ilustrações. Uma obra para aprender mais facilmente as bases da Física.

Representação sem proporção de tamanho.

ID/BR



O esquema representa o contato entre cinco corpos no interior de um calorímetro. As transferências de calor correspondentes a cada corpo são representadas matematicamente por Q_A, Q_B, Q_C, Q_D e Q_E. O somatório das transferências de calor é nulo, pois o calorímetro é um sistema isolado. Cores-fantasia.

Ilhas urbanas de calor

ROTEIRO

3. Um pão de batata recheado com requeijão acaba de sair do forno. Após alguns instantes, sua parte externa esfria, mas o recheio ainda poderá queimar a boca de quem o morder. Explique esse fato com conceitos da calorimetria.

4. Dois corpos, *A* e *B*, de massas diferentes ($m_A > m_B$), inicialmente à mesma temperatura, recebem a mesma quantidade de calor; no entanto, a temperatura final do corpo *A* é maior que a do *B*. Explique por que isso ocorre.

3. A parte externa do pão de batata perde calor mais rapidamente, pois está em contato com o ar, e oferece, assim, um isolamento térmico parcial ao recheio, que se encontra no interior do pão. Desse modo, gradativamente, mediante trocas de calor por condução, o pão de batata vai se esfriando de fora para dentro, até que entre em equilíbrio térmico; com isso, a troca de calor do recheio com o meio ambiente é mais lenta que aquela que ocorre com a parte externa do pão.

Equilíbrio térmico e a variação de temperatura

Dois ou mais corpos colocados em contato e isolados do ambiente externo estão em **equilíbrio térmico** quando as temperaturas medidas em quaisquer partes desses corpos são as mesmas. Como consequência do equilíbrio térmico, cessam as trocas de calor já que não há diferença de temperatura.

Em um ambiente termicamente isolado, como um calorímetro ideal, não há perda de calor para o meio externo, mas, nos calorímetros reais, sempre ocorre alguma perda. Considerando um calorímetro ideal, temos:

$$\Sigma Q_{recebido} + \Sigma Q_{cedido} = 0$$

Observe o calorímetro representado na imagem **A**, contendo cinco corpos diferentes em contato entre si.

Para esse sistema, podemos reescrever a equação anterior como:

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E = 0$$

Nessa expressão, Q_A é a quantidade de calor perdida ou recebida pelo corpo **A**; Q_B, a quantidade de calor perdida ou recebida pelo corpo **B**, e assim por diante.

Como vimos anteriormente, em alguns casos, o calor transferido ao calorímetro ou transferido por ele não pode ser desprezado; então, a equação fica acrescida da parcela correspondente à quantidade de calor referente ao calorímetro, Q_{cal}, cuja capacidade térmica é, em geral, conhecida. Assim:

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + Q_E + Q_{cal} = 0$$

A rigor, essa expressão só pode ser aplicada em condições ideais (sistemas perfeitamente isolados termicamente). Em situações cotidianas, porém, ela permite obter um resultado bem próximo do real. Nas situações em que não há mudança de estado físico, é possível calcular a quantidade de calor (Q) por meio da expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

4. Isso ocorre devido ao calor específico do corpo *B* ser significativamente maior que o do corpo *A*. Assim, apesar de o corpo *A* ter uma massa maior que a de *B*, o calor específico de *B* é maior o suficiente que o de *A* para compensar a maior massa de *A*, fazendo com que uma mesma quantidade de calor produza uma maior variação de temperatura do corpo *A* do que a do corpo *B*. Do ponto de vista matemático, essa compensação se dá no limite em que o produto da massa de *B* pelo calor específico de *B* é maior do que o produto da massa de *A* pelo calor específico de *A*. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Exemplo

Vamos calcular o calor específico de uma substância *x* pela equação do calor específico. Considere que 1 000 g dessa substância, inicialmente a 80 °C, foram misturados a 1 000 g de água (cujo calor específico vale 1 cal/g · °C) a 20 °C dentro de um calorímetro ideal. Ao final do processo, a temperatura final da mistura é 30 °C. Para calcular o calor específico c_x dessa substância, aplicamos a equação do equilíbrio térmico:

$$\Sigma Q_{recebido} + \Sigma Q_{cedido} = 0 \Rightarrow Q_{água} + Q_x = 0$$

Sejam: m_x a massa de *x*; T_f a temperatura final da mistura; $T_{água\ i}$ a temperatura inicial da água; T_{xi} a temperatura inicial de *x*; c_x o calor específico de *x*; e $c_{água}$ o calor específico da água. Substituindo os dados na equação anterior, temos:

$$Q_{água} + Q_x = 0 \Rightarrow m_{água} \cdot c_{água} \cdot (T_f - T_{água\ i}) + m_x \cdot cx \cdot (T_f - T_{x\,i}) = 0$$

$$1\,000 \cdot 1 \cdot (30 - 20) + 1\,000 \cdot c_x \cdot (30 - 80) = 0$$

$$10\,000 + (-50\,000) \cdot c_x = 0 \Rightarrow c_x \Rightarrow 0{,}2 \Rightarrow c_x = 0{,}2 \text{ cal/g} \cdot °\text{C}$$

Então, o calor específico da substância *x* é 0,2 cal/g · °C. Por possibilitar a determinação do calor específico, esse procedimento é muito usado na identificação de substâncias.

Não escreva no livro.

CALOR LATENTE

As transições entre os estados sólido, líquido e gasoso requerem energia para a reorganização de átomos ou de moléculas. A quantidade de calor necessária para que um corpo sofra mudança de estado depende de sua massa e da substância da qual ele é composto. Para cada substância, é constante o valor da razão entre a quantidade de energia cedida pelo corpo, ou dele retirada para que ele sofra mudança de estado, e sua massa. Esse valor é denominado calor latente (L):

Calor latente L é a quantidade de calor Q necessária por unidade de massa m para fazer determinada substância mudar de estado físico.

Podemos, então, escrever a seguinte expressão matemática:

$$L = \frac{Q}{m}$$

No SI, a unidade de medida de calor latente é o joule por quilograma (J/kg), mas a unidade de medida usada com mais frequência é a caloria por grama (cal/g).

Dizer que o calor latente de fusão (L_F) de certa substância é 50 cal/g significa que, para fundir 1 grama dessa substância, é necessário fornecer-lhe 50 cal. Se um corpo composto dessa substância tem 500 g de massa, a quantidade de calor necessária para fundi-lo é $Q = 500\ g \cdot 50\ cal/g = 25\,000\ cal$. Esse valor, porém, equivale apenas à mudança de estado, pois a energia para a substância chegar à temperatura de fusão deve ser calculada pela equação fundamental da calorimetria, usando o calor sensível.

Pelo princípio da conservação da energia, a energia para fundir cada unidade de massa de uma substância é exatamente a mesma que se deve retirar dela para provocar sua solidificação. Logo, o calor latente de fusão (L_F) é igual, em módulo, ao calor latente de solidificação (L_S). Por convenção, Q é positivo na fusão (o calor é fornecido ao corpo) e negativo na solidificação (o calor é retirado do corpo).

Veja o valor do calor latente de algumas substâncias ao nível do mar:

SUBSTÂNCIA	CALOR LATENTE DE FUSÃO (cal/g)	CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO (cal/g)	CALOR LATENTE DE SOLIDIFICAÇÃO (cal/g)	CALOR LATENTE DE LIQUEFAÇÃO (cal/g)
	Calor fornecido à substância		Calor retirado da substância	
Água	$L_F = 79{,}6$	$L_V = 539{,}2$	$L_S = -79{,}6$	$L_L = -539{,}2$
Hélio	$L_F = 1{,}2$	$L_V = 5{,}0$	$L_S = -1{,}2$	$L_L = -5{,}0$
Nitrogênio	$L_F = 6{,}1$	$L_V = 48{,}0$	$L_S = -6{,}1$	$L_L = -48{,}0$

Fonte de pesquisa: Lide, D. R. (ed.). *Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC-Press, 2007.

No caso da água, o calor latente de fusão vale 79,6 cal/g, isto é, a cada 79,6 calorias recebidas, 1 grama de gelo é derretido. Quando se retira da água líquida a mesma quantidade de calor (79,6 calorias), 1 grama de água se solidifica.

ROTEIRO

5. A tabela a seguir apresenta as temperaturas de fusão e de vaporização de algumas substâncias à pressão de 1 atm (pressão ao nível do mar).

Substância	T_f(°C)	T_{vap}(°C)
Hélio	−269,6	−268,9
Etanol	−114	78
Mercúrio	−39	357
Enxofre	119	444,6
Chumbo	327,3	1750
Ferro	1535	2800

No caderno, relacione em que estado físico cada substância se encontra à temperatura ambiente de 25 °C.

5. Hélio: gasoso; etanol: líquido; mercúrio: líquido; enxofre: sólido; chumbo: sólido; ferro: sólido. Aproveite a oportunidade para apresentar o diagrama de fases da água e comente seu curioso ponto triplo, que se trata de temperatura e pressão específicas em que os três estados (sólido, líquido e gasoso) coexistem.

Interpretação submicroscópica do calor latente dos sólidos

Nos sólidos, as partículas estão ordenadas em uma rede cristalina, formando uma estrutura rígida. A essa ordenação das partículas está associada uma energia potencial. Para fundir o sólido, essa configuração precisa ser alterada, ou seja, deve-se desfazer seu ordenamento rígido (rede cristalina) fornecendo energia às partículas, pois isso faz aumentar o espaço entre elas. Enquanto a configuração da ligação entre as partículas não for alterada, a temperatura não aumentará. Quando todas as partículas puderem se mover ligeiramente umas em relação às outras, estará estabelecido o estado líquido.

A energia se conserva na transição de fase de uma substância, pois o calor fornecido (ou cedido) é convertido em energia cinética (grau de agitação das moléculas) e/ou em energia potencial (distribuição espacial das moléculas).

Sérgio Dotta Jr./ID/BR

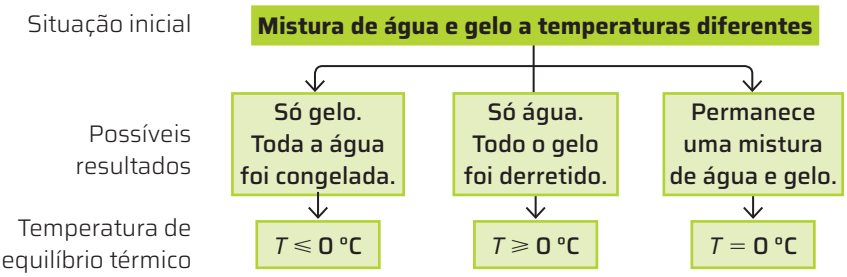
Quando misturados, a água e o gelo, originalmente em temperaturas diferentes, atingem uma temperatura de equilíbrio e podem mudar de estado durante as transferências de calor.

EQUILÍBRIO TÉRMICO E MUDANÇAS DE ESTADO

Quando os corpos estão em equilíbrio térmico, as energias cinéticas médias de translação de suas moléculas são iguais. Porém, durante a transferência de calor entre corpos, podem ocorrer mudanças de estado.

Na situação mostrada na fotografia ao lado, uma quantidade de massa de água, à temperatura inicial $T_{água}$, entra em contato com uma quantidade de gelo de massa m_{gelo}, à temperatura inicial negativa T_{gelo}.

Devido às trocas de calor e considerando um sistema isolado termicamente, como a água apresenta maior temperatura, ela perderá calor para o gelo. Como consequência, a temperatura da água vai diminuir, e a do gelo, aumentar. Nesse caso, a situação de equilíbrio térmico (T_{eq}) pode apresentar as três possibilidades mostradas a seguir.

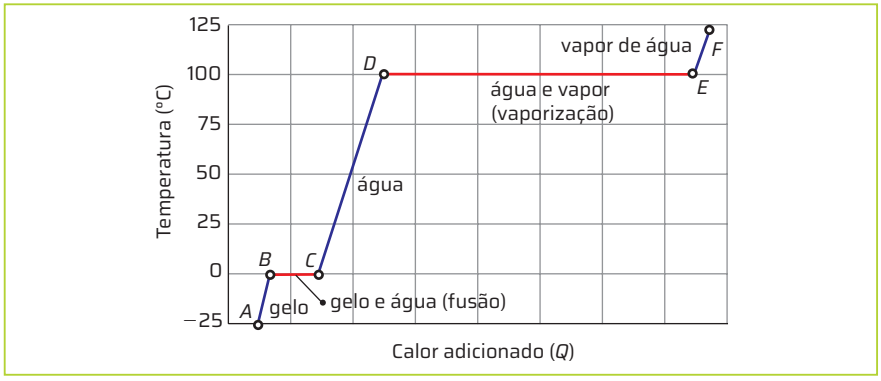


Curvas de aquecimento e resfriamento

Os fenômenos de transferência de calor podem ser representados na forma gráfica por curvas de aquecimento ou por curvas de resfriamento.

Essas curvas são determinadas pelas medidas de temperatura T em função da quantidade de calor Q ou em função do intervalo de tempo Δt. Elas permitem estimar mais facilmente as temperaturas de fusão e de vaporização e os calores específico e latente de uma substância.

Um exemplo é a curva de aquecimento da água, inicialmente a −25 °C, à pressão ao nível do mar, dada neste gráfico:



ID/BR

Gráfico elaborado para fins didáticos.

As diferentes etapas pelas quais a água passa, identificadas por letras no gráfico, são explicitadas na tabela a seguir.

Etapa	Estado	Temperatura
A–B	Sólido (gelo)	Aumentando de −25 °C até 0 °C.
B–C	Transição do estado sólido (gelo) para o estado líquido (água)	0 °C
C–D	Líquido (água)	Aumentando de 0 °C até 100 °C.
D–E	Transição do estado líquido (água) para o estado gasoso (vapor de água)	100 °C
E–F	Gasoso (vapor de água)	Aumentando para mais de 100 °C.

Não escreva no livro.

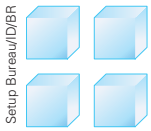
1. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes reflitam sobre o que significa a ciência e reconheçam que ela faz parte do nosso cotidiano e que o conhecimento é fruto da nossa curiosidade; e que possam perceber o impacto do desenvolvimento científico e tecnológico na qualidade de vida das pessoas.

Uma curva de resfriamento mostra a transição a partir do estado gasoso, passando pelo estado líquido até chegar ao estado sólido. Assim como na curva de aquecimento, observam-se dois patamares de mudança de estado físico, que agora representam a condensação e a solidificação.

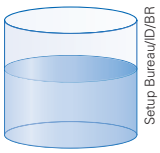
Temperatura final de um sistema que passa por mudança de estado

Vejamos o cálculo da temperatura de equilíbrio T_{eq} para um caso em que a quantidade de calor cedida pela água é suficiente para derreter todo o gelo.

Situação inicial



- massa de gelo = m_{gelo}
- temperatura inicial do gelo = T_{gelo_i}
- calor específico do gelo = c_{gelo}

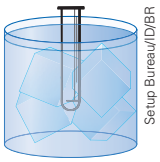


Representações sem proporção de tamanho.

- massa de água = $m_{água}$
- temperatura inicial da água = $T_{água_i}$
- calor específico da água = $c_{água}$

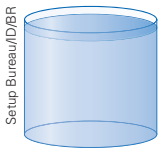
Situação intermediária

Mistura de gelo e água, ainda em temperaturas e estados diferentes.



Situação final

- massa total do sistema $M = m_{gelo} + m_{água}$
- temperatura final do sistema = T_{eq}



Cores-fantasia.

Se o sistema for termicamente isolado, consideramos que todo o calor recebido pelo gelo foi cedido pela água. Calculamos, então, toda a quantidade de calor fornecida ao gelo para que ele seja:

I. aquecido até a temperatura de fusão (Q_1);
II. fundido (Q_2);
III. aquecido até atingir a mesma temperatura da água (Q_3).

A quantidade de calor recebida pelo gelo é igual à quantidade de calor cedida pela água, de modo que a soma da quantidade de calor de todo o sistema é nula. Assim:

$$Q_{água} + Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

Fazendo as correspondentes substituições, temos:

$$m_{água} \cdot c_{água} (T_{eq} - T_{água_i}) + m_{gelo} \cdot c_{gelo} (T_{fusão} - T_{gelo_i}) + m_{gelo} \cdot L_{fusão} + m_{gelo} \cdot c_{água} (T_{eq} - T_{fusão}) = 0$$

Para obter a temperatura de equilíbrio, isolamos T_{eq} nessa expressão.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Efeito Mpemba ou paradoxo Mpemba

Qual porção de água congela mais rápido, a quente ou a fria? Mesmo parecendo uma grande contradição, a água quente congela mais rapidamente que a fria em algumas condições.

Esse fenômeno é verificado desde a Grécia Antiga, mas foi reconhecido apenas em 1969 na Tanzânia, África, quando Erasto Mpemba, um estudante de 13 anos, e seu colega fabricavam sorvetes para um projeto da escola.

Mesmo sem ter as explicações necessárias na época e as respostas de que tal relato era impossível, esse comportamento da água revelado pelo estudante gerou discussões e controvérsias que até hoje despertam curiosidade entre os cientistas.

Ainda assim, o estudante não desistiu de buscar a explicação para sua descoberta e, da parceria com seu professor, surgiu o primeiro artigo que deu nome a esse fenômeno, e impulsionou a realização de diversos outros experimentos e simulações e elaboração de teorias. Hoje já se sabe que o congelamento da água depende também de processos de convecção e de evaporação superficial regidos pelas ligações de hidrogênio, gerando caminhos de congelamento diversos.

1. Discuta com os colegas sobre a importância de desenvolver a curiosidade científica fazendo questionamentos, elaborando hipóteses e testando experimentos.

ROTEIRO

6. Calcule a temperatura de equilíbrio de uma mistura de 50 g de gelo a 0 °C e 300 g de água líquida a 30 °C.
Dados: $L_{fusão}$ = 80 cal/g; $c_{água}$ = = 1 cal/g °C.

6. A temperatura final (temperatura de equilíbrio da mistura) é aproximadamente igual a 14,3 °C. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

FÍSICA E GEOGRAFIA

DERRETIMENTO DA GELEIRA THWAITES E OS EVENTOS CLIMÁTICOS

Dados do censo de 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostraram que aproximadamente 55% da população brasileira mora próximo ao litoral. Portanto, mais da metade da população, o que corresponde a cerca de 111 milhões de habitantes, mora a até 150 quilômetros da costa. Esse valor está relacionado com a formação do país, com fatores econômicos e sociais e com a preferência da população em morar perto das praias.

Essa realidade, de maior densidade populacional na costa, deve ser mais uma das preocupações em relação às mudanças climáticas mundiais, especialmente para o derretimento de geleiras como a geleira Thwaites, que pode aumentar significativamente o nível dos oceanos.

O entendimento sobre as consequências do calor estudadas em Física e sobre as distribuições geográficas populacionais é importante para compreender os efeitos das mudanças climáticas para a sociedade.

JPL/NASA

Geleira Thwaites, principal geleira da Antártica Ocidental. Foto de 2014.

[...] Dentre as geleiras que são vítimas do aquecimento global, uma recebe atenção especial dos cientistas: a geleira Thwaites, apelidada de Geleira do Fim do Mundo.

A Thwaites, localizada no mar de Amundsen, é a principal geleira da Antártica Ocidental. Ela tem o tamanho do estado do Paraná, e seu colapso completo poderia causar um aumento de 70 cm no nível do mar. Se outras geleiras próximas seguirem o mesmo caminho após o derretimento da mãezona, o aumento chegaria a três metros.

Não sabemos exatamente quanto tempo ela demoraria para derreter inteira, nem se ainda poderíamos impedir o colapso – ou se o processo já é irreversível. Só temos certeza de que o gelo está recuando. E rápido: [a] Thwaites já é responsável por 4% do aumento anual no nível do mar. [...]

Desde 1992, a linha de flutuação [da] Thwaites já recuou 14 km – e, em algumas regiões, a taxa de recuo chega a 1,2 km por ano.

Não escreva no livro.

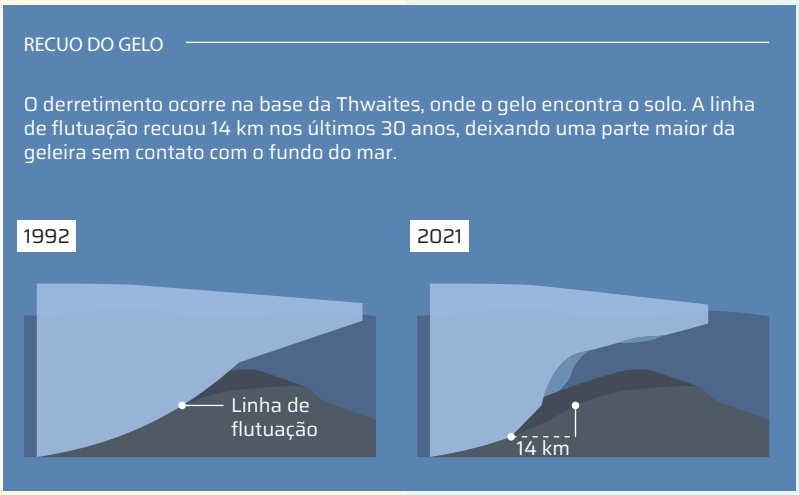
Esse é o primeiro problema. Com uma maior porção de gelo flutuando, ele fica mais suscetível a se quebrar em *icebergs*. E esses afundadores de Titanic derretem muito mais rápido, aumentando ainda mais o nível do mar.

O que mais preocupa os cientistas, no entanto, é o cenário em que há um deslizamento acelerado da geleira inteira. Ela está cada vez menos aderida ao solo antártico. [...]

O colapso total da geleira Thwaites resultaria em um aumento de 70 cm no nível do mar. Parece pouco, mas temos que considerar que o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU (IPCC) já prevê um aumento de 60 cm até o final do século devido a outros derretimentos, independentemente [da] Thwaites. E esse é o cenário hipotético em que a humanidade cumpre o Acordo de Paris, mantendo o aumento da temperatura média do planeta em 2 °C até 2100. Em cenários piores, e infelizmente prováveis, o aumento chega a 90 cm.

Caso [a] Thwaites entre em colapso até o fim do século, o aumento total seria de 1,3 a 1,6 [metro], o suficiente para inundar dezenas de grandes cidades litorâneas. Como tudo depende do quanto iremos reduzir as emissões de carbono da humanidade daqui em diante, não há como cravar um número preciso. A mensagem aqui é que esse único glaciar carrega, sozinho, uma tragédia equivalente a 100 anos de aquecimento global. [...]

Rossini, M. C. Thwaites: "geleira do fim do mundo" pode elevar nível do mar em 70 cm. *Superinteressante*, São Paulo, 12 abr. 2024. Disponível em: https://super.abril.com.br/ciencia/thwaites-geleira-do-fim-do-mundo-pode-elevar-nivel-do-mar-em-70-cm. Acesso em: 16 out. 2024.



OracicArt/ID/BR

Representação do recuo do gelo na geleira Thwaites.

Conecte as ideias

1 No texto, umas das preocupações apontadas pelos pesquisadores é a chamada mudança da linha de flutuação. Por que essa mudança pode acelerar o processo de derretimento da geleira?

2 O aumento no nível do mar pode afetar cidades de diversas regiões costeiras em todo o mundo. Pesquise quais cidades das regiões litorâneas do Brasil estão mais vulneráveis às consequências do derretimento das geleiras.

3 Estime a quantidade de calor que seria necessária para derreter toda a geleira Thwaites. Para efeito de cálculo, considere que a geleira tem formato de um bloco retangular e uniforme com uma área equivalente ao tamanho do estado do Paraná e espessura de 2 000 m e que todo o gelo está a 0 °C. Adote a densidade do gelo de 920 kg/m³ e o calor específico latente de fusão do gelo de 334 000 J/kg. Considere que a área aproximada do Paraná mede 199 000 km².

4 Compare o valor estimado no item anterior com a quantidade de energia consumida no mundo em um ano, que é cerca de $6 \cdot 10^{20}$ J.

5 No Brasil, estamos observando mudanças no clima que causam enchentes, ondas de calor, entre outros eventos extremos. Na região em que você vive, ocorreu recentemente algum evento climático desse tipo? Se sim, escreva um parágrafo citando esse evento e descrevendo suas principais características, como altas temperaturas ou massas de ar frio, além de abordar as consequências socioeconômicas disso para a região. Caso não tenham ocorrido eventos desse tipo na região em que você vive, realize essa atividade considerando um evento de outra localidade brasileira.

1. À medida que a linha de flutuação recua, aumenta a porção de gelo em contato com a água que a está aquecendo. Como a água está mais quente que a superfície na qual a geleira se apoia, o processo de derretimento se torna mais rápido.
2. Resposta pessoal. Entre as cidades das regiões litorâneas brasileiras mais vulneráveis às consequências do derretimento das geleiras, estão Rio de Janeiro, Belém e Recife.
3. Essa quantidade de calor seria cerca de $1{,}2 \cdot 10^{23}$ J (aproximadamente $2{,}9 \cdot 10^{22}$ cal). Para chegar a esse resultado, é necessário considerar as dimensões aproximadas do estado do Paraná: cerca de 199 000 km². Calculando o volume, temos:
$V = 199 \cdot 10^9 \cdot 2\,000 = 3{,}98 \cdot 10^{14}$ m³
Agora, sabendo o volume e a densidade do gelo (d) podemos calcular a massa de gelo estimada de toda a geleira:
$m = d \cdot V \Rightarrow m = 920 \cdot 3{,}98 \cdot 10^{14} =$
$= 3{,}66 \cdot 10^{17}$ kg
Aplicando a expressão da quantidade de calor latente, obtemos:
$Q = m \cdot L \Rightarrow Q = 3{,}66 \cdot 10^{17} \cdot 334\,000 \Rightarrow$
$\Rightarrow Q \cong 1{,}22 \cdot 10^{23}$ J
4. O valor estimado é muito grande, equivale a pouco mais de 200 anos de energia consumida por todo o mundo.
5. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é levar os estudantes a refletir sobre importantes eventos climáticos recentes ou em curso no Brasil e suas consequências.

DILATAÇÃO E CONTRAÇÃO TÉRMICA

Em algumas situações do dia a dia, como quando colocamos água fervente em um copo de vidro que esteja à temperatura ambiente, ele pode trincar ou até mesmo quebrar.

Isso ocorre porque a transferência de calor da água fervente causa um rápido aumento de temperatura na superfície interna do copo, o que provoca uma expansão brusca e irregular de suas dimensões, ocasionando eventualmente fissuras e, em alguns casos, a quebra do copo.

De maneira geral, quando ocorre transferência de calor entre corpos de modo que suas temperaturas variem, há também alteração em suas dimensões. Dependendo da variação na temperatura, pode ocorrer uma **dilatação** ou uma **contração**.

Dilatação é o aumento das dimensões dos corpos geralmente associado ao aumento de sua temperatura.

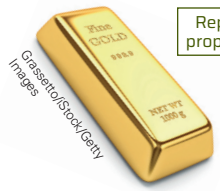
Contração é a diminuição das dimensões dos corpos geralmente associada à diminuição de sua temperatura.

Embora dilatação e contração sejam efeitos distintos, é comum usar o termo "dilatação" para todos os fenômenos que envolvem variação de tamanho dos corpos em função da variação de temperatura.

Tipos de dilatação

A dilatação térmica dos sólidos ocorre em todas as suas dimensões (comprimento, largura, altura ou profundidade, e espessura). Há situações, entretanto, nas quais não é necessário analisar a dilatação ocorrida em cada uma das três dimensões separadamente. Em alguns casos, pode ser interessante considerar a dilatação de apenas uma das dimensões – por exemplo, o comprimento. Em outras situações, pode ser conveniente considerar apenas duas dimensões – como a largura e a espessura.

Veja alguns exemplos de situações em que a dilatação de um corpo pode ser estudada em uma, duas ou três dimensões:



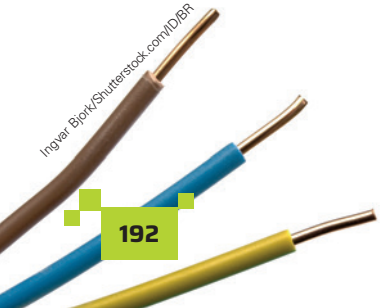
Grassetto/iStock/Getty Images

Representações sem proporção de tamanho.

Redmal/iStock/Getty Images

Em uma barra de ouro que sofra variação de temperatura, é possível analisar as variações de três dimensões, ou seja, a **dilatação volumétrica**.

Em uma lâmina de aço que sofra variação de temperatura, é possível analisar as variações de duas dimensões, ou seja, a **dilatação superficial**.

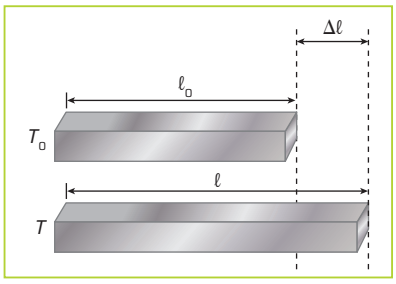


Ingvar Bjork/Shutterstock.com/ID/BR

Em um pedaço de fio elétrico que sofra variação de temperatura, é possível analisar a variação de apenas uma dimensão, ou seja, a **dilatação linear**.

Dilatação linear

Para determinar a expressão matemática da dilatação linear, vamos tomar como exemplo uma barra de comprimento ℓ_0, à temperatura inicial T_0. Veja a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

Cores-fantasia.

Quando a barra é aquecida, sua temperatura passa a ser T, sendo $T > T_0$. Em consequência da dilatação, a barra passa a ter o comprimento final ℓ.

Verificamos experimentalmente que a **dilatação linear** ($\Delta\ell$) de um corpo depende dos seguintes fatores:

- **Variação da temperatura do corpo ($\Delta T = T - T_0$)**

Quanto maior for a variação da temperatura do corpo, maior será sua dilatação linear (maior variação em seu comprimento).

- **Comprimento inicial do corpo (ℓ_0)**

Quando submetidos à mesma variação de temperatura, um corpo de maior comprimento inicial sofre dilatação linear maior que outro corpo feito do mesmo material, mas com menor comprimento inicial.

- **Material que constitui o corpo**

Corpos de materiais diferentes dilatam linearmente de maneiras também diferentes. Um recurso para distinguir a dilatação linear que sofrem é considerar o **coeficiente de dilatação linear** (α) de cada material, grandeza obtida experimentalmente e que varia conforme o material.

Embora esse coeficiente costume variar com a temperatura do material, na prática podemos desprezar essa variação e considerá-lo constante (a variação somente não é desprezível se o sólido estiver prestes a fundir).

A unidade de medida do coeficiente de dilatação linear é o inverso da unidade de temperatura usada, ou seja, $[\alpha] = [T]^{-1}$.

A análise de medidas realizadas em laboratório permite chegar à expressão que fornece o cálculo da dilatação linear:

$$\Delta\ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

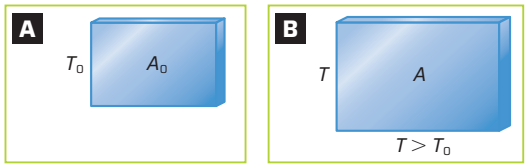
De modo geral, em casos de redução de temperatura ($\Delta T < 0$), ocorre **contração térmica** do corpo, e o valor de $\Delta\ell$ nessa expressão é negativo.

Dilatação superficial

Considere uma chapa de área A_0 à temperatura inicial T_0. Após aquecimento até a temperatura T, sendo $T > T_0$, a chapa sofrerá dilatação, tendo sua área aumentada para o valor A.

Não escreva no livro.

Veja as figuras a seguir:



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

A figura **A** representa a chapa antes da dilatação, com temperatura T_0 e área A_0. Na figura **B**, a chapa depois da dilatação, com temperatura T, sendo $T > T_0$, e área A. A variação da área da chapa (mostrada em ampliação sem proporção) é dada por $\Delta A = A - A_0$. Cores-fantasia.

Analogamente à expressão matemática da dilatação linear, a expressão da dilatação superficial de um corpo depende dos seguintes fatores:

- variação da temperatura do corpo ($\Delta T = T - T_0$);
- área inicial do corpo (A_0);
- material de que o corpo é feito.

Da mesma forma que utilizamos o coeficiente de dilatação linear para diferenciar as dilatações lineares dos diferentes materiais, utilizaremos aqui o **coeficiente de dilatação superficial**. O coeficiente de dilatação superficial é o dobro do coeficiente de dilatação linear:

$$\beta = 2 \cdot \alpha$$

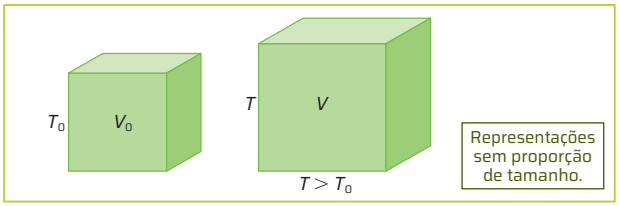
A equação da dilatação superficial, também obtida experimentalmente, é:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Dilatação volumétrica

Considere um cubo de volume inicial V_0 à temperatura inicial T_0.

Se aquecermos esse cubo, ele sofrerá uma variação de volume ΔV e apresentará um volume final V à temperatura final T. Observe as figuras.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

A variação do volume do cubo (mostrada em ampliação sem proporção) é dada por $\Delta V = V - V_0$. Cores-fantasia.

Analogamente às expressões matemáticas das dilatações vistas anteriormente, a expressão da dilatação volumétrica de um corpo depende dos seguintes fatores:

- variação da temperatura do corpo ($\Delta T = T - T_0$);
- volume inicial do corpo (V_0);
- material de que o corpo é feito.

Da mesma forma que utilizamos os coeficientes de dilatação linear e superficial para diferenciar as dilatações lineares e superficiais dos diferentes materiais, utilizaremos aqui o **coeficiente de dilatação volumétrica**.

Os três coeficientes de dilatação (linear, superficial e volumétrica) relacionam-se pelas expressões:

$$\gamma = 3 \cdot \alpha \quad \text{e} \quad \gamma = \frac{3}{2} \cdot \beta$$

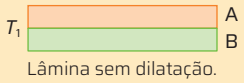
A variação de volume é dada por:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

DE OLHO NO CONCEITO

Lâminas bimetálicas

Situação 1



Lâmina sem dilatação.

Situação 2

Lâmina com dilatação.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

As figuras mostram duas situações distintas envolvendo uma lâmina bimetálica, composta das lâminas *A* e *B*, cada qual com um coeficiente de dilatação superficial β, sendo $\beta_A < \beta_B$.

Como $T_1 < T_2$, na situação **2** ocorreu dilatação, que causou encurvamento da lâmina pelo fato de o comprimento final de *B* ser maior que o de *A*.

Pela diferença entre os coeficientes de dilatação de cada lâmina, uma delas, ao ser aquecida, dilata-se mais que a outra, provocando deformações no conjunto.

Lâminas bimetálicas são usadas como chaveamento em circuitos elétricos. Quando uma corrente elétrica passa pela lâmina, sua temperatura aumenta e ocorre a dilatação, ocasionando o encurvamento da lâmina, podendo assim desligar o circuito e interromper a passagem da corrente elétrica. É comum encontrar lâminas bimetálicas em dispositivos elétricos utilizados para aquecer e que mantenham sua temperatura constante, como o forno e o ferro elétricos.

Dilatação e manutenção da saúde bucal

Em processos de recuperação de dentes, é usada, em muitos casos, alguma forma de obturação, em que ocorre a retirada e a limpeza da região que foi afetada (por uma cárie, por exemplo) e a cavidade é então preenchida usando-se amálgama ou resina.

Ambos os materiais empregados nas obturações dentárias apresentam coeficiente de dilatação muito próximo ao do dente, pois, se ele fosse muito maior ou muito menor, quando houvesse uma variação na temperatura, os dentes obturados poderiam sofrer lesões. Assim, os materiais devem se dilatar na mesma proporção que o dente.

Szasz-Fabian Jozsef/ Shutterstock.com/ID/BR

O amálgama é uma liga metálica muito usada em obturações dentárias. Apesar do inconveniente estético de seu aspecto metálico ser muito diferente da aparência dos dentes, o baixo custo e a resistência ao desgaste desse material justificam seu largo emprego na odontologia.

2. Espera-se que os estudantes observem que a temperatura permanece constante nas mudanças de fase, pois, nessas situações, todo calor trocado com o meio externo produz, como único efeito, a mudança de estado, sem exercer nenhuma interferência na temperatura.

Medindo as curvas de fusão e de solidificação do gelo

Em temperaturas específicas, determinadas substâncias podem sofrer mudança de fase mantendo sua temperatura constante. Mas para onde vai o calor absorvido pelo corpo? Neste experimento, você e os colegas vão determinar a curva de fusão do gelo, isto é, registrar a temperatura em função do tempo.

Material

- água da torneira
- 1 xícara de gelo picado
- 6 colheres de sopa de sal
- recipiente com capacidade de meio litro, que será chamado recipiente maior
- tubo de ensaio (ou um recipiente menor e estreito que caiba no recipiente maior)
- termômetro de laboratório
- cronômetro
- folha de papel quadriculado

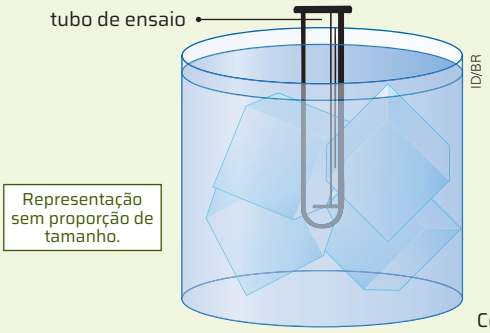
Como fazer

Parte 1 – Curva de resfriamento

1 Coloque 3 mL (1 colher de chá) de água no tubo de ensaio e insira nele o termômetro. Após o equilíbrio térmico ser atingido, anote a temperatura da água.

2 Coloque meia xícara de água no recipiente maior e adicione 6 colheres de sopa de sal ao mesmo recipiente. Misture bem até dissolver todo o sal. Então acrescente o gelo picado (1 xícara).

3 Introduza o tubo de ensaio no recipiente com água e gelo. Certifique-se de que a parte com água do tubo de ensaio esteja completamente imersa na mistura água-gelo do recipiente.



Cores-fantasia.

4 Meça e anote a temperatura da água dentro do tubo de ensaio a cada 1 minuto. Perceba que a água dentro do tubo de ensaio vai congelar. No entanto, continue anotando o valor da temperatura durante um intervalo de tempo entre 15 e 20 minutos.

5 Conforme o gelo for derretendo, caso seja necessário, acrescente mais gelo ao recipiente maior para garantir que, durante toda a duração do experimento, não falte gelo picado.

6 Com base nos dados, ou seja, nas temperaturas anotadas, construa um gráfico da temperatura em função do tempo para a água que estava no interior do tubo de ensaio.

6. Resposta pessoal. Se julgar necessário, auxilie os estudantes na interpretação dos dados do gráfico.

Parte 2 – Curva de aquecimento

1 Retire o tubo de ensaio com água congelada de dentro do recipiente maior.

2 Caso não seja possível reutilizar a água e o gelo do recipiente, jogue-os fora, se ainda houver, e substitua por água da torneira.

3 Recoloque o tubo de ensaio com gelo dentro do recipiente com água.

4 Meça e anote a temperatura da água dentro do tubo de ensaio a cada 1 minuto em um intervalo de tempo de, aproximadamente, 15 minutos.

5 Com base nos dados, construa o gráfico da temperatura em função do tempo.

Para concluir

4. Resposta variável. Cada estudante deverá analisar as fontes de eventuais erros ou de simples discrepâncias que possam ter causado uma medida diferente de 0 °C.

1 Descreva como se comporta a temperatura da água no tubo de ensaio durante o processo de formação do gelo e durante seu derretimento.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 Identifique os intervalos de tempo em que a temperatura permanece constante. Explique por que isso ocorre.

3 Identifique a temperatura de fusão do gelo e a temperatura de solidificação da água.

4 Determine a precisão da medida de temperatura que você efetuou e indicou na atividade **3**. Caso o valor da temperatura não tenha sido exatamente 0 °C, analise o papel da pressão atmosférica nessa discrepância. (Considere a altitude em que foi realizado o experimento.)

5 Explique o motivo de se acrescentar sal ao recipiente com água e gelo.

Utiliza-se o sal para baixar o ponto de fusão do gelo.

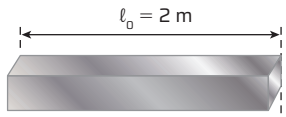
6 Você considera que a representação gráfica descreveu adequadamente o experimento? Procure observar quais fatores do experimento não foram suficientemente descritos pela linguagem gráfica.

3. Em ambos os casos, a temperatura é 0 °C. Pode haver pequenas discrepâncias desse valor associadas a erros experimentais, como a calibragem e a precisão dos instrumentos utilizados, a composição química da água, que pode não ser pura, a pressão local, que pode ser diferente da atmosférica, entre outros.

Não escreva no livro.

5. Na cidade litorânea, pois, para atingir o ponto de ebulição, é necessário ampliar a variação de temperatura, o que demanda maior quantidade de calor, consumindo mais gás.

1 Uma barra de alumínio apresenta comprimento de 2 m à temperatura de 15 °C. Essa barra é aquecida até a temperatura de 40 °C. Considere o coeficiente de dilatação linear do alumínio $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}.



Setup Bureau/ID/BR

Cores-fantasia.

Calcule:

a) a variação do comprimento da barra após o aquecimento; $\Delta\ell = 1{,}15$ mm

b) o comprimento final da barra. $\ell_f = 2{,}00115$ m

2 A parede de uma cozinha é coberta por azulejos quadrados de dimensões 15 cm × 15 cm. Considere que, em um dia de inverno, a temperatura média seja 10 °C e que, no verão, pode chegar a 35 °C. Considere também que o coeficiente de dilatação superficial do material que constitui o azulejo é $\beta = 4 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}. Calcule:

a) a área de um azulejo em um dia de inverno; $A_0 = 225$ cm²

b) a variação sofrida pela área de um azulejo ao se comparar um dia de inverno com um dia de verão; $\Delta A = 2{,}25 \cdot 10^{-2}$ cm²

c) a área de um azulejo em um dia de verão. $A_f = 225{,}0225$ cm²

3 O amálgama é muito usado em obturações odontológicas, e seu coeficiente de dilatação volumétrica é $\gamma = 27 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}. O volume de uma cavidade dentária a ser preenchida com amálgama é igual a 1 mm³.

- Na situação do enunciado, se houver uma variação de temperatura de 20 °C, qual será a variação de volume da obturação? $\Delta V = 5{,}4 \cdot 10^{-4}$ mm³

4 Em um laboratório, um estudante resolve analisar as propriedades térmicas de um bloco metálico. Para tanto, um bloco metálico de massa 200 g, feito de um material desconhecido, recebeu 1 000 cal e teve uma elevação de temperatura de 20 °C para 40 °C. Considerando essas condições, faça o que se pede.

a) Determine a capacidade térmica do bloco. $C = 50$ cal/°C

b) Calcule o calor específico do material de que o bloco é feito. $c = 0{,}25$ cal/g · °C

c) Calcule a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura desse bloco de 20 °C para 350 °C. $Q = 16\,500$ cal

d) Construa um gráfico $T \times Q$ (temperatura *versus* quantidade de calor) para o aquecimento desse bloco de 20 °C até 200 °C.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

e) Construa um gráfico $T \times Q$ (temperatura *versus* quantidade de calor) para o resfriamento desse bloco de 20 °C até −200 °C.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 Em uma cidade localizada no litoral, onde a pressão atmosférica é 1 atm, a água ferve a uma temperatura de 100 °C. Devido à baixa pressão atmosférica, em cidades localizadas a grandes altitudes, a temperatura de ebulição da água é menor. A capital da Bolívia, La Paz, por exemplo, está 3 800 m acima do nível do mar, e lá a água ferve a 88 °C. Com base nessas informações, comparando La Paz com uma cidade litorânea, identifique em qual delas consome-se mais gás para que a água atinja a temperatura de ebulição. Justifique sua resposta.

6 Em um calorímetro de capacidade térmica de 200 cal/°C, colocam-se 100 mL de água (100 g) a 20 °C e uma barra de um metal de massa 100 g inicialmente a 100 °C. Aguardam-se uns instantes até que ocorra o equilíbrio térmico, quando o termômetro indica 25 °C. Nessas condições, calcule o calor específico do metal.
Dado: calor específico da água = 1 cal/(g · °C). $c_{metal} = 0{,}2$ cal/g · °C

7 Encha duas garrafas iguais com 1 L de água em cada uma (com água retirada da mesma torneira). Usando um termômetro, meça a temperatura da água nas duas garrafas. Em seguida, coloque uma garrafa no refrigerador e a outra, no congelador. Aguarde uma hora e refaça a medida da temperatura de cada uma.

Dica: Aplique a equação da calorimetria e consulte a tabela com o calor específico da substância.

a) De acordo com o conceito de calor específico, calcule a quantidade de calor trocada pela água por unidade de tempo em cada caso (refrigerador e congelador). **7. a)**, **b)**, **c)** e **d)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Determine a razão entre o calor cedido no congelador e o calor cedido no refrigerador.

c) Compare seus dados com os valores obtidos pelos colegas. Justifique as diferenças encontradas.

d) A preservação do meio ambiente é um tema presente na vida de todo cidadão, e um dos problemas constantemente levantados é o uso racional da energia elétrica. Formule hipóteses sobre a relação entre os valores encontrados nos itens anteriores e o consumo de energia elétrica.

8 Uma pessoa prepara o banho de seu bebê misturando na banheira 4 litros de água (4 000 g) fervente (100 °C) com 20 litros de água (20 000 g) a 25 °C. Despreze as perdas de calor para o meio e calcule a temperatura final da água para o banho do bebê. $T_f = 37{,}5$ °C

9 Suponha dois recipientes, um com água fervente (100 °C) e outro com água fria a 20 °C. Determine quantos litros de água de cada recipiente devemos misturar para obter 10 litros de água a 80 °C. Despreze as perdas de calor para o ambiente.
Teremos de misturar 7,5 litros de água fervente com 2,5 litros de água fria.

10 Dois líquidos de massas idênticas encontram-se inicialmente em temperaturas de 80 °C e 20 °C e são colocados em um calorímetro ideal. O conjunto atinge equilíbrio térmico a 50 °C. Em seguida, acrescenta-se um terceiro líquido de massa igual à dos dois primeiros e à temperatura de 40 °C. Sabendo que o calor específico desse terceiro líquido é igual à metade do calor específico dos dois primeiros, calcule qual será a nova temperatura de equilíbrio térmico. $T = 48$ °C

LEIS DA TERMODINÂMICA

1. Resposta pessoal. Exemplos de máquinas térmicas: motores a combustão, locomotivas a vapor, gerador termoelétrico, reator termonuclear.
2. Espera-se que os estudantes respondam que são substâncias que liberam grandes quantidades de energia ao reagir com o gás oxigênio, como a gasolina.

PARA COMEÇAR

1. O que você entende por máquina térmica? Cite alguns exemplos de máquinas térmicas que são utilizadas no cotidiano.
2. Explique, com suas palavras, o que são combustíveis. Dê exemplos.

UM POUCO SOBRE A TERMODINÂMICA

Responsáveis pela tração de veículos sobre trilhos, como vagões de carga ou de passageiros, as locomotivas a vapor são máquinas térmicas que tiveram grande importância na Revolução Industrial e que constituem um exemplo de aplicação prática do conhecimento que será abordado neste capítulo, pois associam conceitos que envolvem o estudo dos gases e as leis da Termodinâmica.

Termodinâmica é a área da Física que estuda os processos de trocas de calor e o aproveitamento dessas trocas na obtenção de trabalho e energia mecânica. Seu foco é a relação entre as energias térmica e mecânica e os processos de transferência da energia, que fica disponibilizada para a realização de trabalho, assim como o fluxo de calor.

Nas locomotivas a vapor, esses conhecimentos são empregados no funcionamento da caldeira – local onde se produz o vapor – e de seu conjunto de elementos mecânicos, que transforma parte da energia térmica proveniente do vapor em energia mecânica, movimentando a locomotiva, que, por sua vez, traciona toda a composição.

Uma locomotiva a vapor, como a desta foto, é um veículo ferroviário que usa a energia térmica para realizar trabalho e gerar movimento. Foto de 2020, tirada nas proximidades da estação ferroviária Anhumas, trecho de Campinas a Jaguariúna.

João Prudente/ Pulsar Imagens

Não escreva no livro.

A TERMODINÂMICA E A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A **Revolução Industrial** constituiu um período de profundas alterações sociais, econômicas e até mesmo políticas, que se iniciou no século XVIII, na Inglaterra, e causou grandes mudanças nos modos de produção e nas relações de trabalho. A introdução das máquinas térmicas nos processos de produção inaugurou a faceta tecnológica que catalisou boa parte das transformações nesse período.

O estudo do comportamento dos gases é bastante anterior ao surgimento das primeiras máquinas térmicas. No entanto, a utilização crescente desse tipo de máquina nas realizações de tarefas em larga escala, e em diferentes âmbitos, impulsionou o surgimento de novas teorias que pudessem explicar a obtenção de trabalho mecânico com base na utilização de calor.

Esse desenvolvimento teórico-prático possibilitou também a invenção de máquinas mais sofisticadas e de melhor rendimento e eficiência para essa tarefa, estabelecendo um círculo virtuoso entre ciência e tecnologia que colaboraria para o desenvolvimento da Termodinâmica.

Neste capítulo, você vai compreender melhor as leis da Termodinâmica e as máquinas térmicas, incluindo o estudo do comportamento dos gases ideais.

Universal History Archive/Universal Images Group/Getty Images

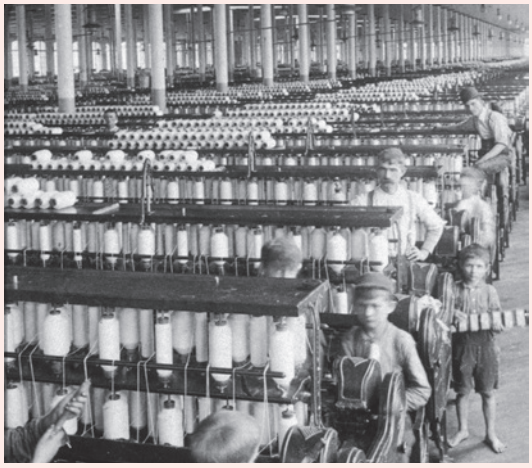
Trabalhadoras manejam máquinas térmicas em uma fábrica na Inglaterra, no final do século XIX.

O surgimento do motor a vapor

AÇÃO E CIDADANIA

Crianças e trabalho

O trabalho infantil em indústrias era muito comum no período da Segunda Revolução Industrial, que durou do fim do século XIX até meados do século XX e foi liderada, principalmente, pelos Estados Unidos, pelo Japão e por alguns países europeus, como França e Alemanha.



Hulton Archive/Getty Images

Adultos supervisionam crianças trabalhando em uma fábrica na Inglaterra. Foto de 1905.

Em vigor desde o fim da década de 1950, a Declaração Universal dos Direitos da Criança é o documento que explicita o direito de crianças e adolescentes serem protegidos contra toda forma de exploração, incluindo o trabalho antes de uma idade mínima. No Brasil, esse direito é reforçado pelo Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), de 1990, que proíbe menores de 14 anos de exercer qualquer tipo de trabalho, exceto na condição de aprendiz.

1. **Nos dias atuais, a situação do trabalho infantil é diferente da que acontecia nos séculos XVIII, XIX e início do século XX? Justifique sua resposta e dê exemplos. Se possível, consulte, na Declaração Universal dos Direitos da Criança, o princípio sobre o trabalho infantil.**

2. **Realize uma pesquisa sobre a Terceira Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XX, e responda: Com ela, é possível afirmar que o trabalho infantil não existe mais?**

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes considerem, por exemplo, a situação de crianças que trabalham em regiões rurais e urbanas no Brasil. Embora o Brasil tenha leis contra o trabalho infantil, ele persiste de maneira mais frequente no meio rural do que no urbano, sendo muitas vezes invisível e subnotificado.
2. Resposta pessoal. Os estudantes devem observar as condições criadas pelo processo de globalização econômica e suas influências sociais e reconhecer que, infelizmente, ainda existem muitas crianças trabalhando ilegalmente no Brasil e no mundo.

PARA EXPLORAR

Leia

Declaração dos Direitos da Criança

Aprovada pela Assembleia das Nações Unidas, em 20 de novembro de 1959, o texto prevê proteção e cuidados especiais às crianças e aos adolescentes menores de 18 anos.

Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/media/22026/file/declaracao-dos-direitos-da-crianca-1959.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Até aqui, foram estudados isoladamente alguns conceitos relacionados à Termodinâmica. O princípio da conservação da energia permite relacionar esses conceitos com a aplicação de algumas leis, como a **primeira lei da Termodinâmica**, a qual estabelece:

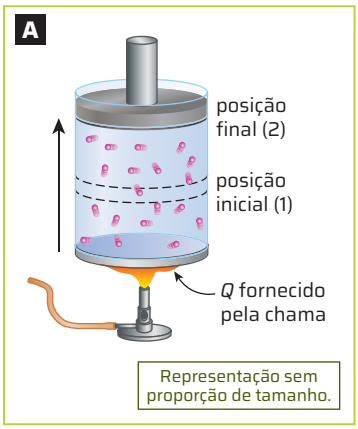
> A variação da energia interna ΔU de um gás ideal é obtida pela diferença entre a quantidade de calor Q recebida do ambiente externo ou fornecida para ele e o trabalho W envolvido nesse processo.

Esse enunciado pode ser representado pela seguinte expressão matemática:

$$\Delta U = Q - W$$

Nessa expressão, Q é balanço das trocas de calor para dentro e para fora do gás. Assim, a primeira lei da Termodinâmica determina, portanto, que a variação da energia de um sistema é igual à diferença entre a energia que nele entra e a energia que dele sai, tanto na forma de calor quanto na forma de trabalho.

Um exemplo de aplicação da primeira lei da Termodinâmica pode ser observado na figura **A**, que representa um gás em um recipiente isolado sendo aquecido por uma fonte externa com um êmbolo que pode se deslocar livremente.



Setup Bureau/ID/BR

Representação de um gás em expansão: o balanço energético do gás é dado pela primeira lei da Termodinâmica. Cores-fantasia.

Ao se considerar uma transformação gasosa específica, de acordo com o modelo cinético-molecular, a chama fornece certa quantidade de calor Q, que é transferida para as moléculas do gás, o que faz aumentar a velocidade delas para que, assim, haja um acréscimo da energia cinética. Com isso, macroscopicamente, pode-se observar um aumento da temperatura da massa gasosa.

O aumento dessa energia cinética faz que as forças aplicadas pelo gás no êmbolo sejam mais intensas. Desse modo, o gás transfere energia ao êmbolo por meio da realização do trabalho mecânico, provocando seu deslocamento da posição **1** para a posição **2**. Assim, uma parcela da energia fornecida pela chama em forma de calor é convertida em aumento da energia interna e a outra parte, em trabalho para deslocar o êmbolo. Esse aumento da energia interna será exatamente igual à diferença entre a energia fornecida na forma de calor pela chama e a energia transformada na forma de trabalho para deslocar o êmbolo.

No que se refere à conservação da energia, verifica-se, na situação ilustrada, que tanto a variação positiva da energia interna – observada macroscopicamente pelo aumento da temperatura – quanto a realização do trabalho sobre o êmbolo somente ocorreram porque foi fornecida uma quantidade de calor pela chama. Essa quantidade de calor pode ser calculada por:

$$Q = \Delta U + W$$

Essa é outra maneira de escrever a primeira lei da Termodinâmica. Caso o êmbolo não possa ser deslocado, permanecendo na mesma posição, como consequência dessa lei, não haverá realização de trabalho e, portanto, temos: $Q = \Delta U$.

Transformações termodinâmicas em gases e a primeira lei da Termodinâmica

Embora a primeira lei da Termodinâmica se aplique a todos os processos da natureza, vamos estudar apenas casos que envolvem gases ideais em um sistema formado por um recipiente cilíndrico com êmbolo, como o apresentado. Por se tratar de sistemas fechados, a quantidade de matéria do gás é constante.

ROTEIRO

1. Para encher o pneu de uma bicicleta, uma pessoa comprime o ar aplicando uma força que realiza trabalho sobre uma bomba. Considerando a primeira lei da Termodinâmica, responda: (Desconsidere as trocas de calor com o meio.)

a) O que acontece com a quantidade de energia interna do pneu: aumenta, diminui ou permanece constante?

b) O que acontece com a temperatura do pneu: aumenta, diminui ou permanece constante?

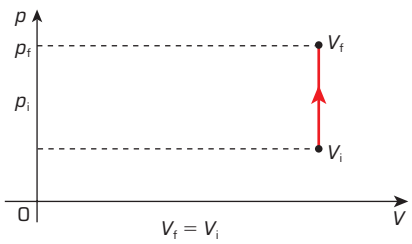
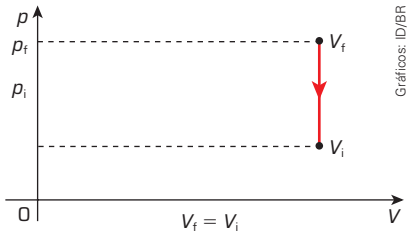
c) Se a pessoa deixar de aplicar força sobre a bomba e o ar se expandir, de modo que o êmbolo seja empurrado para cima, o que acontecerá com a energia interna e com a temperatura do pneu?

1. a) A energia interna do gás no pneu aumenta. **b)** A temperatura aumenta. **c)** A energia interna diminuirá, reduzindo a temperatura.
Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

Transformação isovolumétrica

Como vimos, o sistema cilindro-êmbolo pode receber energia térmica sem o deslocamento do êmbolo, como em uma panela de pressão. Nessa situação, o volume do gás permanece constante. Essa transformação termodinâmica é chamada **isovolumétrica** (isométrica ou isocórica). Observe, neste quadro, duas situações em que ocorre essa transformação.

Gás recebendo calor sem variação de volume	Gás cedendo calor sem variação de volume
• Como não há variação de volume, também não há realização de trabalho ($W = 0$). Assim, todo o calor fornecido será convertido em variação positiva da energia interna, ou seja: $\Delta U = Q$.	• Como não há variação de volume, também não há realização de trabalho ($W = 0$). Assim, todo o calor cedido será convertido em variação negativa da energia interna, ou seja: $\Delta U = Q$.
	

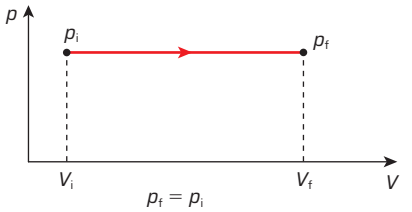
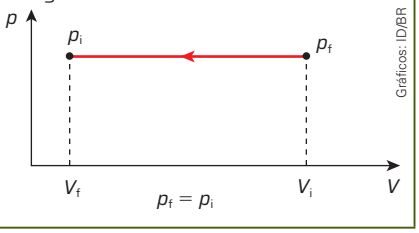
Gráficos: ID/BR

Note que os gráficos pressão × volume mostram uma semirreta vertical; portanto, não há área sob a curva. Essa é outra forma de sinalizar a não existência de trabalho (que pode ser calculado pela área do gráfico $p \times V$).

Transformação isobárica

A transformação **isobárica** é a transformação que ocorre à pressão constante.

Considere novamente a situação de um gás colocado em um recipiente isolado, no qual há um êmbolo que pode se mover livremente, por exemplo, em uma seringa tampada e comprimida.

Gás sendo aquecido	Gás sendo resfriado
• O gás realiza trabalho ($W > 0$), pois há aumento de volume. • Parte do calor fornecido pela fonte é perdido na forma de trabalho; o restante do calor fornecido pela fonte se transforma em aumento da energia interna. Assim, $\Delta U = Q - W$.	• O trabalho realizado é negativo ($W < 0$), uma vez que há diminuição de volume. • Parte do calor cedido pelo gás corresponde à diminuição de sua energia interna, e o restante corresponde ao trabalho. Assim, temos: $\Delta U = Q - W$, e as três quantidades (Q, W e ΔU) são negativas.
	

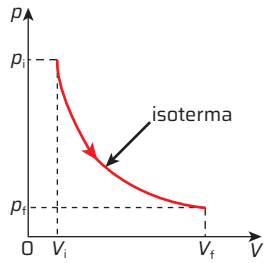
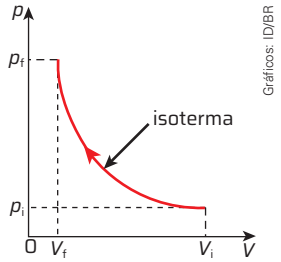
Gráficos: ID/BR

Observe que os gráficos pressão × volume mostram segmentos horizontais. A pressão é dada por $p = \frac{F}{A}$, em que A é a área da superfície circular do êmbolo. Escrevendo a expressão $F = p \cdot A$ e substituindo-a na definição de trabalho, temos $W = p \cdot A \cdot d$. Como $A \cdot d = V_f - V_i = \Delta V$, então, o trabalho em uma transformação isobárica é dado por: $W = p \cdot \Delta V$.

Transformação isotérmica

Um sistema termodinâmico pode realizar trabalho sem sofrer mudança de temperatura e, consequentemente, sem variação da energia interna.

Uma forma de observar fisicamente essa situação é deixar um sistema êmbolo-cilindro ceder calor a uma fonte externa ou recebê-lo de uma fonte externa, para que o êmbolo se desloque livremente.

Gás recebendo calor e realizando trabalho à temperatura constante	Gás cedendo calor e recebendo trabalho à temperatura constante
• Há realização de trabalho positivo ($W > 0$), pois há aumento de volume ($\Delta V > 0$). • Como se fornece calor ao sistema sem que a temperatura varie, todo o calor fornecido converte-se em trabalho ($Q = W$).  	• Há realização de trabalho negativo ($W < 0$), pois há diminuição de volume ($\Delta V < 0$). • Como a temperatura não varia, o trabalho fornecido converte-se em calor. Assim, $Q = W$, em que tanto Q como W são negativos. 

Observe que os gráficos pressão × volume mostram curvas chamadas isotermas.

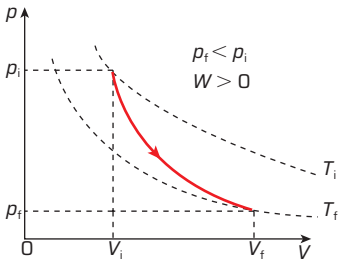
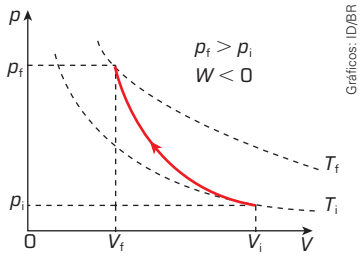
Transformação adiabática

Transformação **adiabática** é aquela que ocorre sem que haja transferência de calor entre o gás e o ambiente externo.

Existem duas maneiras de realizar uma transformação adiabática:

- em um sistema termicamente isolado e/ou sem nenhuma fonte de energia térmica;
- em transformações rápidas: por exemplo, ao se acionar manualmente um desodorante aerossol.

Na transformação adiabática, há variação simultânea de temperatura, de pressão e de volume.

Expansão adiabática	Compressão adiabática
• Há realização de trabalho positivo, pois há aumento de volume ($\Delta V > 0$). • Como não é fornecido calor ao sistema, todo o trabalho realizado ocasiona uma diminuição da energia interna e, portanto, uma redução da temperatura ($\Delta U = -W$).  	• Há realização de trabalho negativo, pois há diminuição do volume ($\Delta V < 0$). • Como não é fornecido calor ao sistema, todo o trabalho realizado ocasiona um aumento da energia interna e, portanto, uma elevação da temperatura ($\Delta U = -W$). • Como W é negativo, ΔU é positivo, indicando que a temperatura aumentou. 

Os gráficos pressão × volume mostram curvas chamadas adiabáticas.

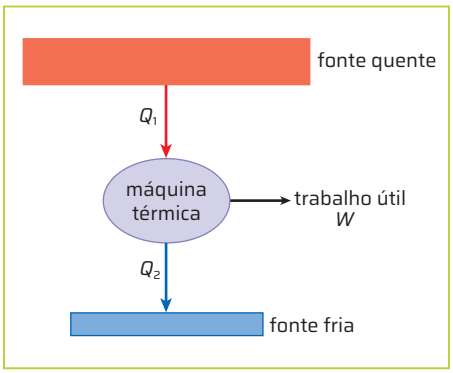
Não escreva no livro.

A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Máquinas térmicas são equipamentos que realizam a transformação de calor em trabalho, operando em ciclos. Ao analisar seu funcionamento durante um ciclo, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Essa máquina recebe uma quantidade de calor (Q_1) de uma fonte à temperatura mais alta denominada fonte quente.
- Essa máquina transforma parte dessa quantidade de calor em trabalho (W).
- Simultaneamente à realização de trabalho, há perda de calor (Q_2) para uma fonte a uma temperatura menor que a temperatura da máquina, denominada fonte fria.

Pelo princípio de conservação de energia, após um ciclo completo da maquina térmica, o trabalho realizado é igual à quantidade de calor fornecida pela fonte quente menos a quantidade de calor transmitida à fonte fria. Matematicamente, podemos escrever:



ID/BR

Esquema do funcionamento de uma máquina térmica. O calor (Q_1) é fornecido pela fonte quente. Parte dele é convertida em trabalho (W) e outra parte (Q_2) é dissipada para a fonte fria.

$$Q_1 = W + Q_2 \Rightarrow W = Q_1 - Q_2$$

- A pior situação para um projeto de máquina térmica é aquela em que podem ocorrer transformações nas quais todo o trabalho seja nulo ($W = 0$), de maneira que toda a energia recebida pela fonte quente seja transmitida inteiramente para a fonte fria. Nesse caso, a máquina não realiza trabalho, portanto, não teria utilidade prática
- A princípio, pode-se pensar que é possível que todo o calor que entra no sistema seja convertido em trabalho ($Q_1 = W$) sem ceder nenhuma quantidade de calor ($Q_2 = 0$), situação que equivaleria a ter uma máquina com 100% de rendimento, ou seja, que não dissipasse nenhuma energia. Porém, veremos que fisicamente isso é impossível.

Formulando a segunda lei da Termodinâmica

Como visto inicialmente, o surgimento da Termodinâmica permitiu maior compreensão das relações entre o calor fornecido a uma máquina térmica e o trabalho mecânico obtido dela. Máquinas mais sofisticadas e com maior rendimento puderam ser construídas em um desenvolvimento tecnológico vertiginoso sem precedente. No entanto, cientistas e construtores acabaram se deparando com uma pergunta crucial:

"Seria possível construir uma máquina térmica que transformasse todo o calor recebido em trabalho mecânico, com rendimento igual a 100%?"

As inúmeras tentativas e diferentes abordagens teóricas mostraram ser impossível essa tarefa, configurando o que passou a se chamar **segunda lei da Termodinâmica**. Diferentes formulações de seu enunciado foram apresentadas por diversos pesquisadores.

O enunciado mais conhecido é atribuído tanto ao físico e engenheiro escocês William Thomson, conhecido como lorde Kelvin (1824-1907), quanto ao físico alemão Max Planck (1858-1947), e geralmente é mencionado como enunciado de Kelvin-Planck:

> É impossível que, em um processo, o único efeito seja um fluxo de calor Q, retirado de uma fonte quente, de temperatura T, e a realização de um trabalho W de mesma intensidade do calor Q.

Portanto, não é possível construir uma máquina térmica com 100% de rendimento, ou seja, uma máquina que pudesse converter totalmente o calor recebido da fonte quente em trabalho mecânico.

2. a) Desde que, no sistema, haja conservação da energia, a primeira lei da Termodinâmica não é violada. **2. b)** Sim. Na segunda situação, o calor está passando espontaneamente da fonte de menor temperatura para a fonte de maior temperatura, violando, assim, a segunda lei da Termodinâmica.

ROTEIRO

2. Suponha que haja duas situações ideais que envolvam um sistema termicamente isolado, no qual há um bloco de gelo em um recipiente termicamente isolado contendo água líquida a 20 °C.

Na primeira situação, a água transfere calor para o gelo, de modo que, depois de um intervalo de tempo, água e gelo atingirão o equilíbrio térmico. Nesse processo, nenhuma energia se perderá.

Na segunda situação, o calor do gelo é transferido para a água, aquecendo-a a uma temperatura superior a 20 °C e esfriando o gelo ainda mais.

As questões a seguir referem-se às duas situações.

a) A primeira lei da Termodinâmica seria violada? Justifique sua resposta.

b) A segunda lei da Termodinâmica seria violada? Justifique sua resposta.

1. Na Química, podemos explicar a dissolução pela interação entre as partículas do soluto e do solvente. Na Física, podemos explorar se esse processo libera ou absorve calor e avaliar se é um processo espontâneo.

FÍSICA E QUÍMICA

Trocas de calor na dissolução de substâncias

Quando precisamos de gelo de forma rápida, podemos utilizar bolsa de gelo instantâneo. Basta apertarmos a cápsula no interior da bolsa para que uma reação química transforme o conteúdo da bolsa em uma solução que se resfria rapidamente. Nesse processo, ocorre a dissolução de nitrato de amônio (NH_4NO_3) na água, que é uma reação endotérmica, ou seja, que absorve o calor do ambiente. Nesse caso, a reação absorve o calor da água que está na bolsa, resfriando-a.

Esse é apenas um exemplo de absorção de calor em uma reação química; no geral, na maioria dos processos de dissolução de substâncias, ocorre a liberação ou a absorção de calor. O estudo das trocas de calor no contexto da Termodinâmica é importante para compreender também quais reações químicas podem ocorrer de forma espontânea ou entender qual quantidade de calor é necessário fornecer ou retirar para que alguma reação aconteça.

1. **Como podemos explicar o processo de dissolução de uma substância química em água utilizando conceitos da Química e da Física?**

DE OLHO NO CONCEITO

O moto-perpétuo

O moto-perpétuo ou moto-contínuo seria o movimento de uma máquina hipotética que, uma vez posta em movimento, funcionaria indefinidamente.

É possível imaginar dois tipos de moto-perpétuo:

- A máquina geraria a própria energia (violando a primeira lei da Termodinâmica), usando a energia criada por seu movimento para realimentá-lo.
- A máquina converteria em trabalho todo o calor recebido, violando a segunda lei da Termodinâmica.

A segunda lei da Termodinâmica e os processos espontâneos

O estudo da Termodinâmica afirma que o calor sempre flui espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio. De acordo com o modelo cinético-molecular, a energia cinética das moléculas se transfere das mais agitadas para as menos agitadas, até que os dois corpos tenham o mesmo grau de agitação molecular média, ou seja, até que estejam à mesma temperatura.

Dessa maneira, há um sentido determinado nos processos naturais, com transferência espontânea de calor sempre da região de maior temperatura para a região de menor temperatura. O sentido inverso não ocorre espontaneamente.

A primeira lei da Termodinâmica expressa basicamente a conservação da energia e não seria violada por um processo de transferência espontânea de calor de uma fonte fria para uma fonte quente. Porém, tal processo nunca ocorre, pois viola a segunda lei da Termodinâmica, de acordo com o matemático e físico alemão Rudolf Clausius (1822-1888):

> É impossível realizar um processo cujo único efeito seja a transferência de calor de uma fonte para outra com maior temperatura.

Embora esse enunciado pareça diferente daquele apresentado anteriormente, ambos expressam a mesma ideia. Para compreender por que são equivalentes, pode-se considerar a definição de Rudolf Clausius para a segunda lei da Termodinâmica, que estabelece ser impossível realizar a transmissão de calor do sistema mais frio para outro mais quente sem que haja alteração em ambos os sistemas ou em partes desses sistemas. A alteração nesses sistemas é comumente feita com a realização de trabalho.

Ao se analisar um fenômeno físico pelo prisma da segunda lei da Termodinâmica, é possível compreendê-lo de maneira mais profunda, principalmente porque essa lei mostra a intervenção humana nos processos naturais.

Cálculo do rendimento de uma máquina térmica

Para avaliar a eficiência de uma máquina térmica, definiu-se o conceito de rendimento η, que é usado como parâmetro para determinar quanto da energia total fornecida ao sistema (Q_1) é convertido realmente em energia útil (trabalho) no caso de uma máquina térmica. Essa relação é expressa por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Pelo princípio de conservação de energia, como $W = Q_1 - Q_2$, temos:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

O **rendimento** é uma grandeza adimensional que varia entre 0 e 1, embora seja comumente expresso em porcentagem. Se não houver trabalho, o rendimento será 0, e se, hipoteticamente, toda a energia for convertida em trabalho, o rendimento será igual a 1 (100%).

Nos motores que funcionam à base de gasolina, por exemplo, o rendimento, em geral, fica entre 21% e 25%. As perdas de energia devem-se a causas mecânicas (em torno de 8% no atrito entre as partes do motor), a causas térmicas (em torno de 32% no sistema de refrigeração do próprio motor) e ao aumento da energia interna dos gases de escape resultantes da explosão (35%).

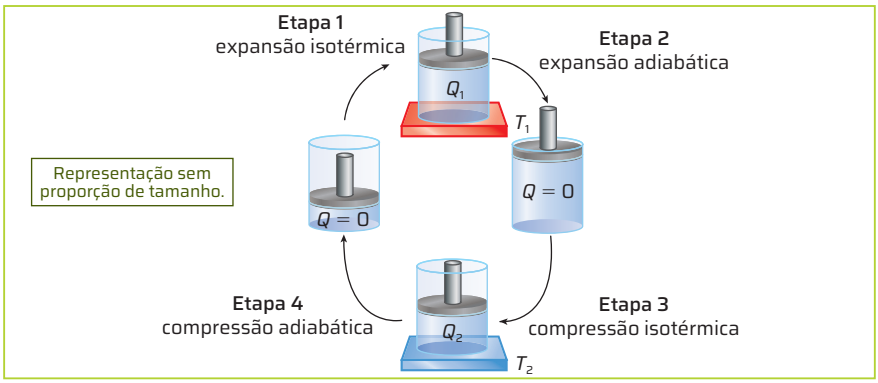
Não escreva no livro.

CICLO DE CARNOT

Em 1824, o físico, matemático e engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) publicou a obra *Reflexões sobre a potência motriz do fogo e máquinas próprias para aumentar essa potência*. Interessado no funcionamento de dispositivos térmicos industriais que produziam trabalho mecânico, Carnot idealizou teoricamente um ciclo capaz de maximizar o rendimento dessa máquina térmica operando entre duas distintas temperaturas. Esse ciclo, posteriormente denominado **ciclo de Carnot**, embora apenas teórico, permite estimar o rendimento máximo de uma máquina térmica, tornando-se um referencial importante na análise do rendimento de uma máquina real.

Veja a seguir um esquema simplificado da máquina do ciclo de Carnot e suas características.

Setup Bureau/ID/BR



Esquema simplificado de como seriam as etapas de um sistema gás-êmbolo que operasse no modelo proposto pelo ciclo de Carnot. As placas azul e vermelha representam, respectivamente, a fonte fria e a fonte quente. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: García, A. F. El ciclo de Carnot. *In: Física con ordenador*: curso de Física interactivo en internet. Guipúzcoa: Universidad del País Vasco, 2006. Disponível em: https://lilith.fisica.ufmg.br/~wag/transf/TEACHING/FISICA_ANGELGARCIA/estadistica/carnot/carnot.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

- Sua substância de operação seria um gás ideal, e não vapor de água, como na maioria das máquinas térmicas da época.
- As transferências de calor deveriam se restringir aos momentos em que idealmente a máquina entrasse em contato com a fonte quente e com a fonte fria. Isso implicaria conseguir controlar todas as etapas do ciclo para que não houvesse nenhuma mudança brusca.
- Durante as trocas de calor não deveria haver nenhuma variação na temperatura do gás.
- O máximo rendimento $\eta_{máx}$ obtido por essa máquina seria o quociente da diferença de temperatura entre a parte mais quente (T_1) e a parte mais fria (T_2) pela temperatura da parte mais quente, sendo todas as medidas em kelvin, ou seja:

$$\eta_{máx} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Essa expressão mostra que o rendimento pode ter, no máximo, valor igual a 1, que ocorreria quando $T_2 = 0$ K, situação fisicamente inatingível. Isso reafirma a impossibilidade de uma máquina ter 100% de rendimento.

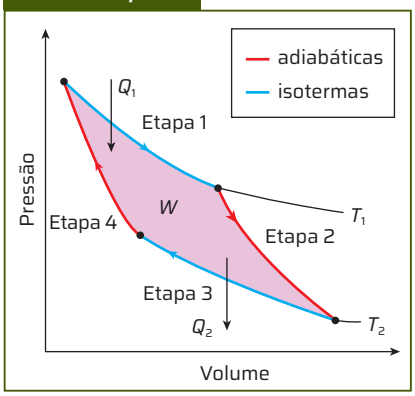
Embora impossível de ser implementado na prática, o rendimento da máquina de Carnot serviu como referência teórica para o estudo termodinâmico e pôde medir a eficiência térmica de máquinas em comparação com a máquina ideal, daí sua importância.

No diagrama estão representadas as etapas do ciclo de Carnot, composto de duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas:

- **Etapa 1:** o gás se expande isotermicamente ao receber calor da fonte quente externa.
- **Etapa 2:** o gás se expande adiabaticamente, diminuindo sua temperatura até T_2.
- **Etapa 3:** o gás sofre uma compressão isotérmica mantendo a temperatura igual a T_2.
- **Etapa 4:** o gás sofre uma compressão adiabática, que aumenta a temperatura até a temperatura inicial.

DIAGRAMA $p \times V$

ID/BR



Etapas do ciclo de Carnot.

Fonte de pesquisa: García, A. F. El ciclo de Carnot. *In: Física con ordenador*: curso de Física interactivo en internet. Guipúzcoa: Universidad del País Vasco, 2006. Disponível em: https://lilith.fisica.ufmg.br/~wag/transf/TEACHING/FISICA_ANGELGARCIA/estadistica/carnot/carnot.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

PARA EXPLORAR

Leia

***Física para leigos*, de Steven Holzner. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.**

O trecho "O caso da sua mesa" explica a entropia de modo lúdico, usando um exemplo que muitas pessoas podem vivenciar no dia a dia.

ENTROPIA

Uma máquina que operasse de acordo com o ciclo de Carnot teria um ciclo **reversível**, ou seja, nela seria possível transferir o calor da parte mais fria para a parte mais quente, e vice-versa.

As máquinas reais não conseguem fazer isso. Contudo, o trabalho de Carnot contribuiu para o estudo teórico acerca da possibilidade da reversibilidade dos processos naturais.

No caso de máquinas térmicas reais, diz-se que ocorre um processo irreversível, porque a energia que se transferiu para o sistema de menor temperatura não está mais disponível para gerar trabalho. Essa energia, que, teoricamente, não poderá ser reaproveitada, é chamada **energia degradada**.

Processos irreversíveis são, portanto, aqueles nos quais o sistema não retorna espontaneamente à situação inicial.

Há energia degradada em todos os sistemas térmicos espontâneos do Universo. Como consequência desse fato, à medida que o Universo evolui, a quantidade de energia disponível para realizar trabalho diminui e a quantidade de energia degradada aumenta.

A **entropia** é uma grandeza termodinâmica que está associada à irreversibilidade dos estados de um sistema físico. É comumente associada ao grau de desordem de um sistema.

Explicação microscópica da entropia

A entropia (S) pode ser interpretada, então, como uma medida da desordem de um sistema.

Considere, por exemplo, uma situação em que um gás está confinado por uma divisória na metade de um recipiente. Quando essa divisória é retirada, as moléculas do gás rapidamente ocupam todo o recipiente. Com o aumento do volume, aumenta também a quantidade de configurações (posições, velocidades) que cada molécula desse gás pode apresentar. É, então, praticamente nula a probabilidade de que todas as moléculas desse gás voltem a ocupar as mesmas posições em que estavam antes da retirada da divisória, ou seja, o gás não volta a preencher espontaneamente apenas a metade do recipiente.

A entropia está associada à quantidade de configurações microscópicas que um sistema pode apresentar. Quanto maior a quantidade dessas configurações, maior será a entropia e menor será a ordem do sistema.

A entropia sempre vai aumentar em processos espontâneos até que o sistema atinja um novo equilíbrio.

Expressão matemática da variação da entropia

Em um processo isotérmico reversível, a variação da entropia ΔS pode ser definida matematicamente como:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Nessa expressão, Q é a quantidade de calor trocada, e T é a temperatura absoluta. A unidade de medida da entropia, em unidades do Sistema Internacional, é o J/K (joule por kelvin).

O sinal de ΔS depende do sinal de Q, pois T é sempre positivo por ser uma medida em kelvin. Então, se o gás absorve calor, Q e ΔS são positivos, de modo que a entropia do gás aumenta; se o gás cede calor para o meio, Q e ΔS são negativos, de modo que a entropia do gás diminui. Nota-se que, mesmo nesse segundo caso, a entropia do sistema gás-meio aumenta, pois o meio recebe o calor Q a uma temperatura menor, de maneira que o aumento de sua entropia é maior que a diminuição da entropia do gás.

ROTEIRO

3. Analise a expressão matemática da entropia e justifique, no caderno, por que é falsa ou verdadeira cada uma das seguintes afirmações:

a) Em processos espontâneos, sempre que o sistema receber calor, haverá aumento da desordem.

b) A variação da entropia é sempre positiva em processos irreversíveis?

c) Em processos naturais, nas situações em que há perda de calor, a tendência da entropia é sempre aumentar, assim como a entropia do Universo, que sempre cresce em decorrência da degradação de energia.

a), **b)** e **c)** Verdadeiras. Veja complementos das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

3. Sim, são espontâneos. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
5. A maior quantidade de trabalho foi aplicada no segundo processo, já que se utilizou maior quantidade de energia mecânica para mover a caixa.
7. Sim. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Entropia

Como a entropia está relacionada à desordem do sistema? Nesta atividade, você e os colegas realizarão um experimento que favorecerá a compreensão do conceito de entropia mediante a observação de um modelo experimental.

Material

- caixa de sapatos
- cola branca
- 50 feijões-pretos e 50 feijões-cariocas
- cartolina ou um pedaço de papelão
- seis folhas de papel sulfite
- máquina fotográfica ou câmera de *smartphone* (Não sendo possível fotografar o experimento, as observações devem ser registradas por escrito.)

Como fazer

Parte 1

1. Reúna-se em grupo com os colegas. Cortem um pedaço de cartolina e prendam-no no interior da caixa de forma a criar uma divisória e dois compartimentos, conforme mostra a foto.

Mar de Palha/ID/BR

2. Coloquem 50 feijões-pretos de um lado da caixa e 50 feijões-cariocas do outro lado da caixa, conforme mostrado na foto.

Mar de Palha/ID/BR

3. Coloquem a caixa sobre uma mesa e fotografem (ou registrem por escrito no caderno) seu interior. Depois, sem sacudir a caixa, um dos integrantes do grupo deve empurrá-la vagarosamente para a frente e para trás por 30 segundos. Fotografem o resultado com foco na distribuição dos feijões nos dois compartimentos ou registrem por escrito suas observações.
4. Retire a divisória interna da caixa e, sem tocar os feijões, movimente-a de diferentes maneiras procurando colocar todos os feijões-pretos em um compartimento e todos os feijões-cariocas no outro, como estavam no início do experimento. Façam isso em, no máximo, três minutos.

Parte 2

1. Coloquem 50 feijões-pretos em um compartimento da caixa e 50 feijões-cariocas no outro. Se possível, fotografem essa distribuição.
2. Sacudam a caixa dez vezes, sem deixar os feijões saírem dela. A cada sacudida, fotografem ou descrevam a disposição dos feijões, mantendo sempre a caixa na mesma posição. Depois das dez sacudidas, caso tenham feito as fotos, criem uma legenda explicativa para cada foto.
3. Tentem fazer os feijões voltarem às posições originais apenas movimentando a caixa, sem tocá-los.

Para concluir

1 **Organizem as fotografias (ou façam esquemas) mostrando a evolução e os resultados dos dois procedimentos. Representem também o que aconteceu com os feijões antes e depois do experimento, em cada um deles.** Resposta variável.

2 **Exponham a organização da parte 1 e comparem-na com a organização dos outros grupos. Observem as diferenças na configuração dos feijões, antes e depois de cada procedimento, entre os diferentes grupos.** Resposta variável.

3 **Pode-se dizer que os resultados dos dois procedimentos são espontâneos? Justifiquem.**

4 **Em qual dos dois procedimentos haveria probabilidade de reversão? Expliquem.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **Em qual dos dois processos foi aplicada maior quantidade de trabalho? Justifiquem.**

6 **Como vocês relacionam o conceito de entropia com a atividade realizada?** A desordem do sistema é medida pelo grau de mistura dos feijões.

7 **O fato de se aplicarem diferentes trabalhos nos dois procedimentos faz que haja diferença na entropia ao final de cada um deles? Em qual procedimento a entropia associada à configuração final dos efeitos é maior?**

MÁQUINAS TÉRMICAS

Como já visto, as máquinas térmicas são dispositivos capazes de converter energia térmica em energia de movimento. Historicamente, as máquinas térmicas passaram por muitas mudanças até chegar a suas configurações atuais.

A primeira máquina térmica de que se tem notícia é a eolípila, projetada pelo matemático grego Heron de Alexandria (10 d.C.-70 d.C.), no século I d.C. Ela é constituída de uma esfera oca que recebe vapor de água por um cano. O vapor é expelido por duas saídas laterais, provocando a rotação da esfera e a conversão de energia térmica em energia cinética de rotação (imagem **A**).

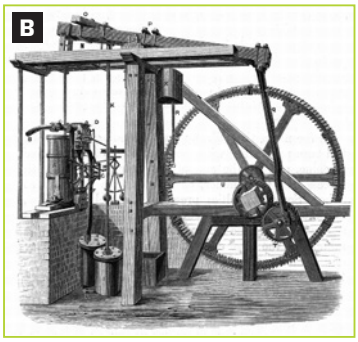
Ao se analisar o processo de conversão de energia, a panela de pressão pode ser considerada uma representante atual da eolípila. De fato, quando a panela é aquecida, o vapor que escapa pela válvula ocasiona seu movimento de rotação.

A máquina térmica do engenheiro britânico Thomas Savery (1650-1715), construída em 1698, costuma ser citada como a primeira grande máquina da Revolução Industrial. Ela foi aprimorada por outro engenheiro e inventor, o também britânico Thomas Newcomen (1663-1729), contudo, ainda apresentava algumas limitações que seriam resolvidas posteriormente pelo inventor escocês James Watt (1736-1819), que patenteou seu invento em 1769 (imagens **B** e **C**). Foi também Watt que introduziu a comparação entre a potência da máquina e a de um cavalo ao realizar trabalho cunhando, então, o termo "cavalo-vapor" (*horsepower*, em inglês). O desenvolvimento das máquinas térmicas foi determinante para a Revolução Industrial que estava em curso.

SSPL/Getty Images

A eolípila é considerada uma máquina térmica, pois converte energia térmica em energia mecânica (cinética de rotação).

Universal History Archive/Getty Images



Máquina térmica de bombeamento.

Fontes de pesquisa das imagens da página: Thurston, R. H. *A history of the growth of the steam-engine*. Charleston: Nabu Press. 2010; Schulz, D. 4 tempos: etapas de funcionamento. *In*: *Aprendizagem significativa de Termodinâmica no Ensino Médio através do estudo de máquinas térmicas como motivador*. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

Bruno Badain/ID/BR

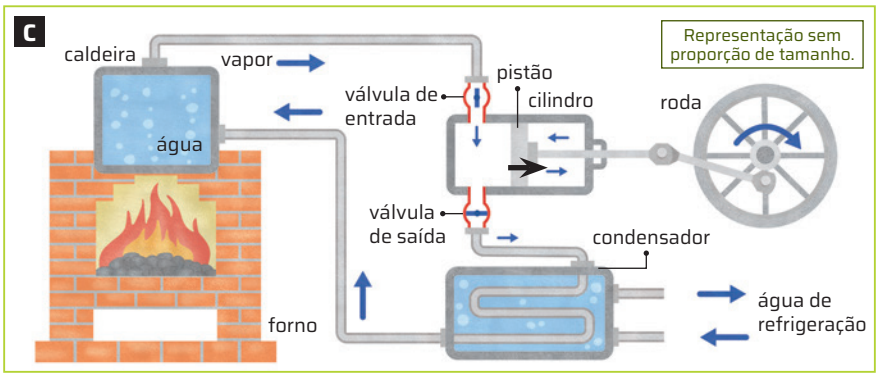
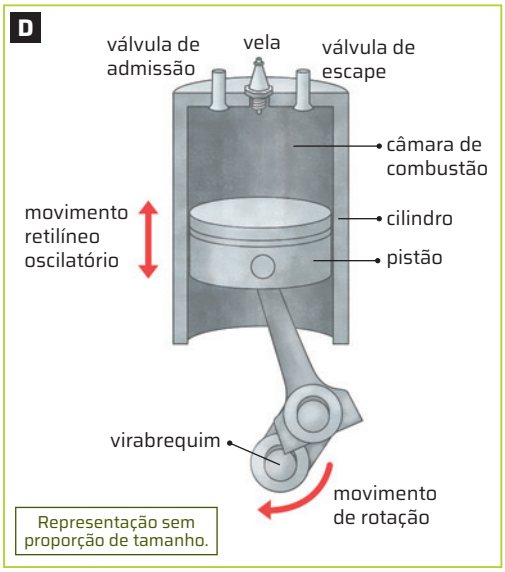


Ilustração da máquina a vapor desenvolvida por James Watt (**B**) e seu esquema de funcionamento simplificado (**C**). Cores-fantasia.

Bruno Badain/ID/BR



Esquema genérico de funcionamento de um dos cilindros do motor a combustão. Cores-fantasia.

Motores a combustão

Com o passar do tempo, as máquinas térmicas foram sendo aprimoradas e utilizadas, principalmente, em meios de transporte e nas indústrias. Na maioria dos veículos automotores atuais, a máquina térmica responsável pela locomoção é denominada **motor de combustão interna**, pois a queima de combustível ocorre dentro do motor.

Nesses motores, a reação de combustão ocorre em um ambiente fechado, chamado câmara de combustão, que, nos motores da maioria dos automóveis no Brasil, se localiza na parte interna de um cilindro, como visto na imagem **D**. Os principais motores utilizados têm de um até oito cilindros; nos automóveis que circulam pelas ruas, o mais comum é o motor de três e de quatro cilindros.

Na câmara de combustão, uma mistura de ar e combustível é injetada por uma abertura conhecida como válvula de admissão. Após a entrada da mistura ar-combustível, a válvula se fecha e a mistura entra em combustão. No caso de motores a etanol e à gasolina, essa reação é iniciada por uma faísca (centelha) gerada por um dispositivo chamado vela. Em motores a *diesel*, a energia fornecida durante a compressão do gás já é suficiente para iniciar a combustão, sem a necessidade de velas.

Não escreva no livro.

Após a combustão, os gases resultantes dessa reação empurram uma parede móvel conhecida como pistão. Essa peça está acoplada a uma haste rígida que pode gerar movimento rotacional em outra peça presa à sua extremidade, conhecida como virabrequim (imagem **A**). Uma das extremidades do virabrequim está acoplada de modo excêntrico a outro eixo, permitindo a conversão do movimento retilíneo do pistão em um movimento de rotação, o qual, por um sistema de engrenagens, será transmitido às rodas do automóvel. Quando o pistão encerra a expansão, as válvulas se abrem para que os gases residuais da queima do combustível sejam ejetados e esse ciclo se repete.

É possível classificar os motores a combustão de acordo com o número de fases que o ciclo pode admitir, e os mais comuns são os motores de dois tempos ou motores de quatro tempos.

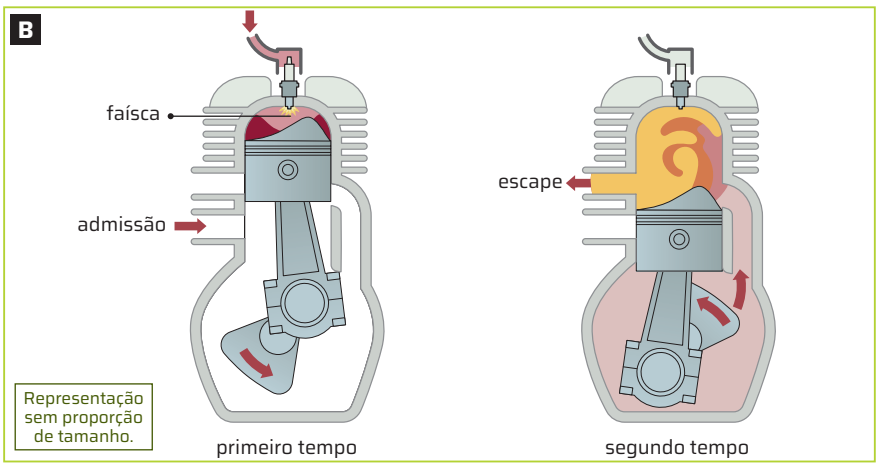
Jannoon028/Shutterstock.com/ID/BR

Pistões acoplados a um mesmo virabrequim de um motor de quatro cilindros.

Motores de dois tempos

Nos motores de dois tempos, as fases de operação ocorrem em dois ciclos (imagem **B**):

- **Primeiro tempo:** a mistura ar-combustível entra na câmara de combustão. Em seguida, o pistão comprime essa mistura e, após a ignição, ocorre a combustão.
- **Segundo tempo:** os gases resultantes da combustão se expandem, empurrando o pistão. Em seguida, a janela de exaustão é aberta, permitindo a saída dos gases.



Bruno Badain/ID/BR

Fonte de pesquisa: Schulz, D. Motores a explosão: 2 tempos. *In*: *Aprendizagem significativa de Termodinâmica no Ensino Médio através do estudo de máquinas térmicas como motivador*. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores2t.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

Fases de um motor de dois tempos. Cores-fantasia.

Os motores de dois tempos têm custo menor de produção, são mais leves e funcionam em diversas posições. Eles costumam ser encontrados em equipamentos como motosserras e em veículos como motocicletas e *jet skis*, entre outros. Uma das desvantagens desses motores é que a eficiência diminui muito quando se necessita de maior quantidade de energia transformada. Além disso, seu rendimento é influenciado pelas condições de temperatura, pressão e umidade relativa do ar.

Motores de quatro tempos a gasolina, etanol e GNV (gás natural veicular)

Nos motores de quatro tempos, veja o que ocorre em cada fase de operação:

- **Primeiro tempo** – admissão: a mistura ar-combustível entra na câmara de combustão com a válvula de admissão aberta.
- **Segundo tempo** – compressão: as válvulas de admissão e compressão são fechadas e o pistão comprime a mistura ar-combustível.
- **Terceiro tempo** – explosão: a vela produz a faísca ocasionando a combustão da mistura ar-combustível.
- **Quarto tempo** – escape: o pistão expande e os gases da combustão são ejetados com a válvula de escape aberta.

4. b) Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

c) Na caldeira, no momento de aquecimento do líquido. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

ROTEIRO

4. Volte à página anterior e analise o funcionamento da máquina a vapor de James Watt, tendo por base a primeira lei da Termodinâmica.

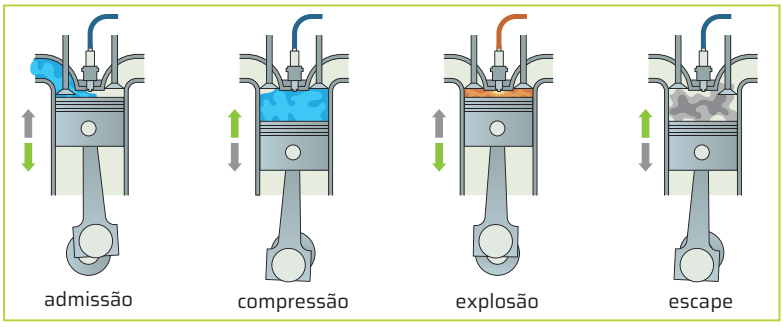
a) Identifique em que local é fornecida a quantidade de calor ao sistema. Forno.

b) Liste as etapas do funcionamento da roda em que a energia fornecida é transformada em trabalho.

c) Indique em qual(is) etapa(s) a energia fornecida se converterá em energia interna.

Veja, a seguir, uma representação dos cilindros de um motor de quatro tempos.

Bruno Badain/ID/BR



Representação sem proporção de tamanho.

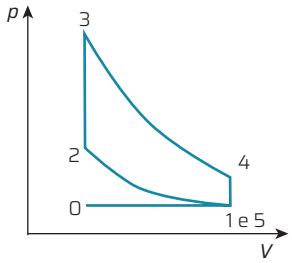
Fases de um motor de quatro tempos. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Schulz, D. 4 tempos: etapas de funcionamento. *In*: *Aprendizagem significativa de Termodinâmica no Ensino Médio através do estudo de máquinas térmicas como motivador*. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/motores4t_etapas.htm. Acesso em: 16 out. 2024.

Esses motores são mais comuns em carros e caminhões, pois proporcionam maior potência e podem funcionar com diversos tipos de combustível. Porém, cada combustível requer um motor adaptado a ele, de modo que a relação ar-combustível resulte em maior rendimento da reação de combustão.

O funcionamento ideal de um motor de quatro tempos pode ser representado em um gráfico pressão × volume, conhecido como ciclo Otto. Veja a seguir.

ID/BR



Transformação	Fases
$0 \rightarrow 1$	Admissão à pressão constante (isobárica)
$1 \rightarrow 2$	Compressão rápida (adiabática)
$2 \rightarrow 3$ e $3 \rightarrow 4$	Ignição a volume constante (isométrica) e rápida expansão (adiabática)
$4 \rightarrow 5$ e $5 \rightarrow 0$	Abertura da válvula de escape (isométrica) e exaustão dos gases à pressão constante (isobárica)

O ciclo Otto e suas respectivas fases.

Diferentemente de outras máquinas térmicas ideais, esses motores não utilizam a mesma porção de gás para os processos de conversão de energia. Nessas máquinas, o representante do gás é a mistura ar-combustível, que é constantemente substituída a cada ciclo de admissão/exaustão. Outra diferença entre o motor a combustão e outras máquinas térmicas é que a energia utilizada pelo motor para ser convertida em energia mecânica corresponde à entalpia de combustão (energia química) e não exclusivamente à energia térmica.

Motores de quatro tempos a *diesel*

Esse tipo de motor tem como referência um ciclo termodinâmico ideal conhecido como ciclo *diesel* e apresenta diferenças importantes em relação aos motores que seguem o ciclo Otto: além de utilizar como combustível o óleo *diesel* (puro ou com certo percentual de mistura), o motor de quatro tempos de ciclo *diesel* não tem a fase da ignição, pois a compressão dos gases já ocasiona a reação de combustão. Observe, no quadro a seguir, algumas diferenças entre o ciclo Otto e o ciclo *diesel*.

	Ciclo Otto	Ciclo *diesel*
Ignição	Ocorre com a necessidade de centelha e, portanto, exige a presença de velas.	A compressão da mistura ocasiona a combustão e, portanto, não há a necessidade de velas.
Compressão	A mistura ar-combustível é comprimida, e a temperatura após a compressão é inferior à temperatura de autoignição.	Apenas o ar é comprimido e, após o aquecimento por compressão, o vapor de combustível é injetado.
Combustível	Gasolina, álcool ou GNV.	Óleo *diesel* ou GNV com 20% de óleo *diesel*.

Motores de quatro tempos com injeção eletrônica

Há algumas décadas, o dispositivo responsável por controlar a proporção de ar e combustível injetados na câmara de combustão era o carburador. Esse equipamento misturava esses dois elementos de maneira mecânica, por meio do controle das aberturas de entrada de ar e do combustível. Atualmente, a maior parte dos motores é equipada com um mecanismo conhecido como **injeção eletrônica**.

Não escreva no livro.

No sistema de injeção eletrônica, a mistura ar-combustível é injetada na melhor proporção para a ocorrência da combustão, de modo a buscar o maior rendimento possível nessa reação.

Os motores que funcionam com injeção eletrônica são mais econômicos do que os motores com carburador, além de gerar menor impacto ambiental, pois emitem menos gases poluentes.

ROTEIRO

5. **Identifique a principal diferença entre o motor a *diesel* e o motor a gasolina.**

A principal diferença entre o motor a gasolina e o motor a *diesel* consiste no fato de o motor a *diesel* não precisar de faísca elétrica para iniciar a combustão, pois somente a compressão é suficiente para provocá-la.

Motores de quatro tempos *flex* (*flexible fuel*)

Os veículos *flex* são equipados com motores de combustão interna que têm como referência o ciclo Otto (quatro tempos) e funcionam com mais de um tipo de combustível. Nesses motores, os combustíveis são misturados no mesmo tanque e queimados na câmara de combustão ao mesmo tempo.

Esses motores apresentam um sensor que detecta a proporção entre os combustíveis no tanque e fornece essa informação ao módulo de injeção.

COMBUSTÍVEIS

No interior dos motores estudados, vimos que ocorre o processo de **combustão**, que consiste na interação entre o combustível (um dos reagentes) e o gás oxigênio (outro reagente, presente no ar atmosférico, denominado comburente). A combustão pode ser representada genericamente pela seguinte expressão:

$$\text{combustível} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{energia}$$

As combustões são reações exotérmicas, das quais se obtém determinada quantidade de energia na forma de calor, que é transformado em energia mecânica, a qual faz funcionar o motor, gerando movimento. A combustão completa de um combustível libera, como um dos produtos, o gás carbônico (CO_2), um dos responsáveis pela poluição atmosférica e pelo efeito estufa.

Há diversos tipos de combustível que podem ser utilizados como fonte de energia, como os combustíveis fósseis (a gasolina ou o querosene, por exemplo) e os combustíveis de origem vegetal (como o etanol ou o biodiesel de mamona ou de soja).

Combustíveis fósseis e hidrocarbonetos

Os **combustíveis fósseis**, assim chamados por terem se originado da decomposição de organismos mortos e soterrados há milhões de anos, são os mais utilizados para alimentar os motores a combustão interna. São eles: o petróleo (e seus derivados), o carvão mineral e o gás natural.

Dada a maneira como foram formados, levando milhões de anos, tais combustíveis são considerados **fontes não renováveis de energia**, ou seja, tendem a se esgotar na natureza em algum momento futuro.

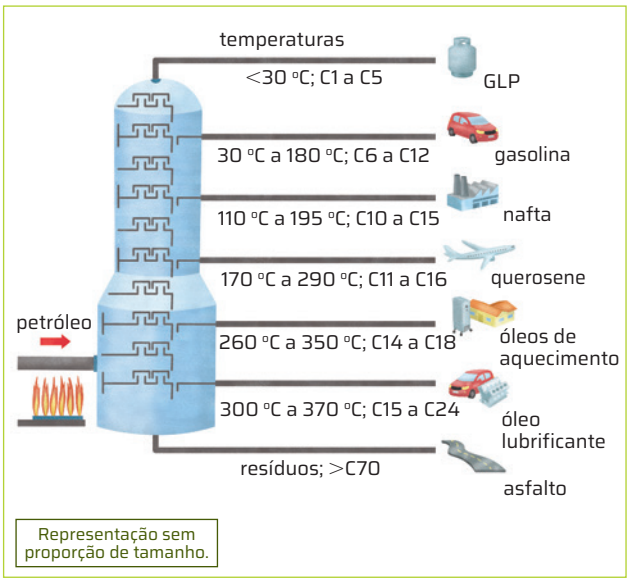
O petróleo bruto é um óleo de cor bem escura, formado por uma mistura bem diversificada de hidrocarbonetos (moléculas que apresentam carbono e hidrogênio em sua estrutura) e outras substâncias chamadas genericamente contaminantes, como o enxofre e o nitrogênio.

Devido às diferentes propriedades químicas, os hidrocarbonetos precisam ser separados. Os procedimentos de separação dessa complexa mistura são realizados em refinarias. A primeira etapa desse processo é denominada **destilação fracionada** e ocorre nas torres de destilação.

A imagem ao lado mostra, de forma simplificada, o funcionamento de uma dessas torres e os produtos obtidos desse processo.

Do fracionamento do petróleo se obtêm diversos tipos de produto.

Fonte de pesquisa: Goodi, L. de. *Química do petróleo e seus derivados.* Curitiba: Intersaberes, 2022.



Bruno Badaini/ID/BR

Octanagem da gasolina

A gasolina é um dos produtos oriundos da refinação do petróleo e é formada por uma mistura de diferentes hidrocarbonetos.

Nos motores dos veículos, alguns desses hidrocarbonetos apresentam maior rendimento durante a combustão, como o isoctano, que contém oito carbonos em sua cadeia. O composto presente nessa mistura e que apresenta menor rendimento é o heptano, com sete carbonos em sua cadeia.

A escala de octanagem vai de 0 a 100, tendo, portanto, o heptano como o nível zero de rendimento e o isoctano o índice máximo, 100. Dessa forma, o índice de octanagem da gasolina indica a porcentagem de isoctano em relação à porcentagem de heptano, ou seja, uma gasolina com octanagem 80 é uma mistura de 80% de isoctano com 20% de heptano. Esse índice de octanagem está relacionado à maior resistência da mistura ar-combustível à compressão e é um dos indicadores da qualidade da gasolina a ser utilizada.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Combustíveis fósseis

A busca por condições de vida mais confortáveis e por modos de produção mais eficientes levou ao desenvolvimento e à utilização de diversos tipos de combustível.

Sem a utilização do carvão natural, principal combustível dos motores movidos a vapor, a Revolução Industrial não teria sido possível. Foi durante esse período que a exploração dessa fonte de energia apresentou um crescimento vertiginoso.

No século XX, com o advento dos automóveis, o uso de combustíveis fósseis, em especial dos derivados de petróleo, como a gasolina e o óleo *diesel*, ganhou destaque. Antes desse período, o petróleo era empregado principalmente para a obtenção de querosene.

Nas últimas décadas, começou-se a discutir sobre os impactos ambientais causados pela queima desse tipo de combustível. Os gases eliminados pelos escapamentos dos veículos são poluentes que contribuem para o agravamento do efeito estufa e para as alterações climáticas. Além disso, esses poluentes geram danos à saúde das pessoas ao causar vários problemas e doenças.

1. **De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, cerca de 80% da matriz energética mundial é composta de recursos não renováveis, como o carvão, o petróleo e o gás natural. Com base no texto, discuta com os colegas quais foram os possíveis motivos que influenciaram na construção dessa matriz energética e quais são os desafios a serem enfrentados em virtude da dependência de recursos não renováveis.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.
2. **A redução da queima de combustíveis fósseis é um grande desafio mundial. Reúna-se com os colegas para discutir ações que podem ser realizadas na escola e em casa e ações em larga escala, como as executadas por governos, empresas e instituições, a fim de promover uma redução global do uso de combustíveis fósseis. Compartilhe os resultados da discussão com a turma.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Óleo *diesel*

O **óleo *diesel*** é obtido nas torres das refinarias e utilizado como combustível. Seu nome é uma referência ao engenheiro alemão Rudolph Diesel (1858–1913), que chegou a construir motores que utilizavam esse óleo como combustível.

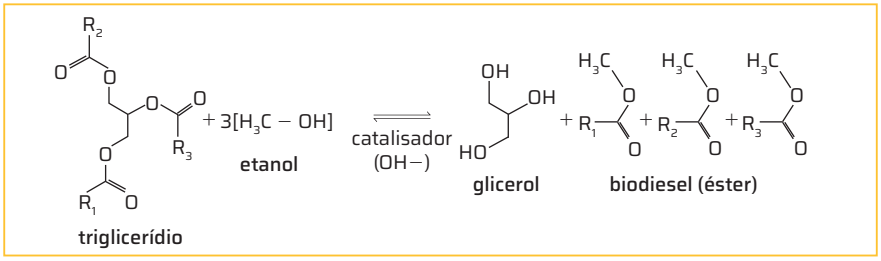
O *diesel* também é uma mistura de hidrocarbonetos e contém índices significativos de enxofre e nitrogênio, o que torna sua combustão bastante poluente e uma das principais causas da formação de chuva ácida.

Motores que exigem mais torque, como os de caminhonetes, caminhões e ônibus, costumam utilizar o diesel. Como no Brasil o transporte mais amplamente utilizado é rodoviário, o *diesel* é, atualmente, o combustível mais vendido no país.

Biodiesel

O **biodiesel** tornou-se há poucas décadas uma alternativa ao uso do *diesel* de petróleo. Ele apresenta propriedades semelhantes às do *diesel*, mas é biodegradável e não contém enxofre. Essas características tornam esse combustível uma opção de grande relevância para o controle da poluição.

Além disso, constitui uma fonte renovável de energia, pois é obtido de reações de transesterificação de ácidos graxos presentes em óleos e gorduras de origem animal e vegetal. Seu uso vem crescendo gradativamente.



Exemplo de reação para a obtenção de biodiesel. No Brasil, uma das principais fontes vegetais de biodiesel é a soja, mas também se utilizam a mamona, o girassol, o amendoim e o babaçu. Existem programas que reaproveitam o óleo de cozinha como matéria-prima na produção de biodiesel.

Não escreva no livro.

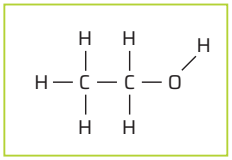
Álcoois

Os álcoois constituem uma categoria de compostos orgânicos que apresentam um ou mais grupos hidroxila (—**OH**) ligados a carbonos saturados. Entre os álcoois mais conhecidos está o **etanol**, usado como principal combustível automotivo.

No Brasil, o etanol é obtido principalmente da fermentação dos açúcares presentes na cana-de-açúcar, mas ele também pode ser produzido a partir de outras fontes de origem vegetal, como o milho, a beterraba e a batata. Por apresentar origem vegetal, o etanol é uma fonte renovável de energia; outro aspecto ecológico interessante é o de que as lavouras desenvolvidas para sua produção ajudam a retirar o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera no processo de fotossíntese. Porém, um aspecto negativo que deve ser considerado é o desmatamento de matas nativas para a expansão das lavouras de cana-de-açúcar.

A legislação brasileira indica a utilização de dois tipos de etanol: o hidratado, utilizado diretamente como combustível, e o anidro (sem a presença de água), que pode ser misturado à gasolina em uma concentração de até 27%, e que pode variar entre 22% a 35% segundo a nova legislação.

A adição de álcool anidro à gasolina incentiva a atividade sucroalcooleira, reduz a emissão de poluentes durante a combustão, além de substituir o uso do chumbo tetra-etila, um aditivo utilizado como antidetonante, que aumenta a octanagem da gasolina. Por ser extremamente tóxico, ao ser lançado na atmosfera e inalado pelos seres vivos, esse aditivo foi proibido mundialmente desde 2021.



Fórmula estrutural do etanol.

Fe Reis/Fotoarena

Densímetro, dispositivo utilizado para medir a concentração de água no etanol em bombas de combustível, como esta, em posto de São Caetano do Sul (SP). Foto de 2015.

Etanol *versus* gasolina

Segundo dados de 2023 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a maior parte da frota de veículos no Brasil utiliza majoritariamente etanol e gasolina em seus motores. A tabela a seguir apresenta dados comparativos desses dois combustíveis.

COMPARAÇÃO ENTRE GASOLINA E ETANOL

Combustível		Poder calorífico (kcal/kg)	Reação de combustão completa (ideal e simplificada)	Mistura combustível/ar[1]	Rendimento médio comparado[2]
Gasolina	não renovável	10 400	$C_8H_{18} + 12{,}5\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 9\ H_2O$	15	1
Etanol	renovável	6 750	$C_2H_6O + 3\ O_2 \rightarrow 2\ CO_2 + 3\ H_2O$	9	0,7

(1) Considerando a proporção estequiométrica da mistura oxigênio + nitrogênio.
(2) Considerando a gasolina como parâmetro, há fontes que apontam o rendimento médio do etanol como um pouco maior que 0,7.

A história do álcool brasileiro e os veículos *flex*

Em 1975, em meio a uma crise internacional que causou sensível aumento nos preços do petróleo, o governo brasileiro implantou o Programa Nacional do Álcool (ProÁlcool).

O Brasil, com grande experiência no cultivo de cana-de-açúcar, aumentou a produção de álcool para o consumo interno e para suprir as demandas do mercado externo. Por meio desse programa, também incentivou e acelerou o desenvolvimento de tecnologia de motores veiculares a álcool.

No auge da crise do petróleo, na década de 1980, o Brasil já produzia cerca de 12 bilhões de litros de álcool por ano, suprindo com sobra a crescente frota nacional de veículos que utilizava esse combustível, incentivada por uma política de preços mais acessíveis tanto dos veículos como do abastecimento.

O panorama mundial mudou bastante nas últimas décadas, e o apelo econômico inicial do álcool combustível diminuiu significativamente.

A partir de 2003, começou a ser introduzida no país a tecnologia de carros *flex* – veículos com motores desenvolvidos para usar etanol, gasolina ou até mesmo misturas variadas desses dois combustíveis. Com isso, os consumidores com veículos *flex* podem optar, nos postos de abastecimento, pelo combustível economicamente mais vantajoso. O consumo de álcool combustível ganhou, então, novo impulso.

Hoje, já é possível encontrar no mercado veículos *tetrafuel*: seus motores funcionam com gasolina pura, gasolina brasileira (com adição de álcool anidro até 27%), álcool hidratado e gás natural.

Vale destacar que a produção de álcool gera uma série de impactos ambientais, como a substituição de hábitats originais por grandes plantações de cana-de-açúcar, além dos impactos decorrentes de seu processamento industrial.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

CARRO ELÉTRICO: SUA HISTÓRIA É TÃO VELHA QUANTO O PRÓPRIO AUTOMÓVEL

É difícil precisar quando o carro elétrico foi inventado. [...]

Sabe-se, contudo, que, já no século XIX, inventores na Hungria, Países Baixos e Estados Unidos trabalhavam em projetos do tipo, independentemente.

A ideia deles era criar um veículo movido a bateria. E, nessa mesma época, ainda estava em desenvolvimento o próprio carro movido a combustão, como o conhecemos hoje.

Franz Haag/Acervo do fotógrafo

Flocken Elektrowagen, de 1888: o carro elétrico existe desde o século XIX. Foto de 2011.

O carro a combustão e o elétrico

[...] por volta de 1890, já havia uma frota de táxis elétricos rodando em Nova York. E os automóveis, em geral, foram se tornando mais acessíveis e se popularizando.

No início do século XX, as lojas ofereciam carros elétricos, a combustão, ou a vapor. Este último sendo a tecnologia mais antiga entre as três e, basicamente, movido a água.

[...]

Nessa época, o carro elétrico tinha tudo para vencer a disputa de mercado, por ser o mais silencioso, prático e limpo. Só que, aí, a indústria petroleira passou na frente.

O petróleo matou o carro elétrico?

Quando a categoria dos elétricos tinha tudo para ser a mais vendida, o automóvel ainda era um bem oneroso.

E os movidos a bateria eram ainda mais caros, custando cerca de US$ 1 750, em comparação aos movidos a gasolina, vendidos por em torno de US$ 650, segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Essa era a realidade em 1912, e o carro elétrico pouco avançou nos anos subsequentes. Na década de 1920, o petróleo foi encontrado em larga escala nos Estados Unidos, barateando a gasolina.

Logo, um *lobby* se formou ao redor da matéria-prima. Sua exploração levou, inclusive, ao massacre de comunidades indígenas detentoras dos direitos sobre as terras que a ofereciam.

Com isso, a gasolina se tornou a fonte de energia mais facilmente disponível, tornando o carro elétrico ainda menos atrativo em comparação ao movido a combustão.

Por fim, a expansão das estradas pavimentadas terminou de sepultar os carros a bateria. Com a maior possibilidade de locomoção, a disponibilidade de combustível se tornou um diferencial.

A volta dos elétricos

Hoje, o carro elétrico está voltando à disputa. Com a ameaça do aquecimento global e legislações ambientais exigentes ao redor do mundo, a tecnologia está no alvo das fabricantes automotivas.

[...]

Isso não quer dizer que [os elétricos] sejam desnecessários – afinal, carros a combustão são igualmente atrasados, apesar da vantagem econômica –, mas significa que precisam evoluir, para seu bem e [para] o nosso, também.

Carro elétrico: sua história é tão velha quanto o próprio automóvel. *Autopapo*, [*s. l.*], 27 mar. 2020. Disponível em: https://autopapo.uol.com.br/noticia/carro-eletrico-historia/. Acesso em: 16 out.. 2024.

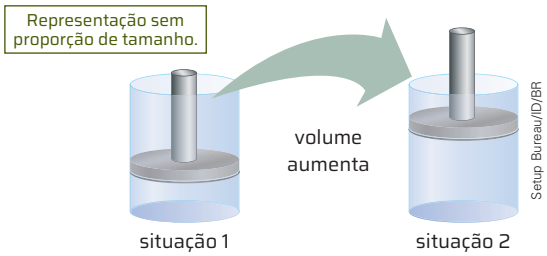
Para discutir

1. **Os carros elétricos apresentavam vantagens em relação aos carros a gasolina. Então, por que foram deixados de lado por tanto tempo?** Com o surgimento da indústria petrolífera, os carros a gasolina se tornaram mais acessíveis e com maior autonomia.
2. **Por quais razões os carros elétricos voltaram a ganhar destaque atualmente?** De acordo com o texto, destacam-se as preocupações com o aquecimento global como principal motivador do ressurgimento do interesse em carros elétricos.
3. **Quais são os desafios a serem superados para que esse tipo de veículo tenha relevância no cenário mundial?** Os principais desafios são maior autonomia, uma vez que o carregamento total da bateria de um carro elétrico pode levar um tempo, e o preço de venda, considerado elevado, se comparado ao dos carros a combustão.

Não escreva no livro.

1. b) A energia interna converteu-se integralmente em trabalho realizado. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1 **As figuras a seguir (em cores-fantasia) representam uma quantidade de gás aprisionado em sistema êmbolo-pistão, isolado, em duas situações.**



a) Verifique se o sistema está realizando ou recebendo trabalho entre a situação **1** e a situação **2**. Justifique sua resposta. Como houve expansão gasosa, o trabalho é realizado pelo gás.

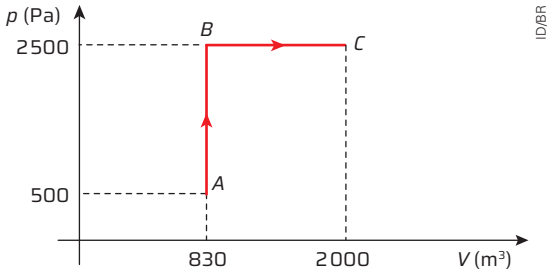
b) Utilize a primeira lei da Termodinâmica para fazer uma análise das transformações de energia que ocorrem entre a situação **1** e a situação **2**.

c) É possível descrever como a quantidade de energia interna do sistema está variando antes e depois do aumento do volume somente com base nas informações dadas?

d) Explique o que acontece com a velocidade média do movimento das moléculas do gás entre a primeira e a segunda situação.

c) e **d)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **Um mol de um gás ideal realiza as transformações mostradas no gráfico a seguir.**

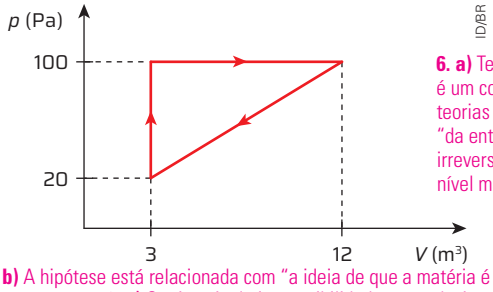


Sabendo que os gases ideais seguem a lei dos gases ideais, $PV = nRT$, e considerando $R = 8{,}3$ J/mol · K, calcule:

a) a temperatura do gás no estado *A*; 50 000 K

b) o trabalho realizado do estado *A* até o estado *C*. 2 340 000 J

3 **Uma máquina térmica recebe 600 J e realiza o ciclo descrito pelo gráfico a seguir.**



6. a) Termodinâmica é um conjunto de teorias que trata "da entropia e da irreversibilidade em nível macroscópico".

Calcule:

a) o trabalho realizado; 360 J

b) a quantidade de calor perdida pelo sistema; 240 J

c) o rendimento da máquina térmica. 0,6

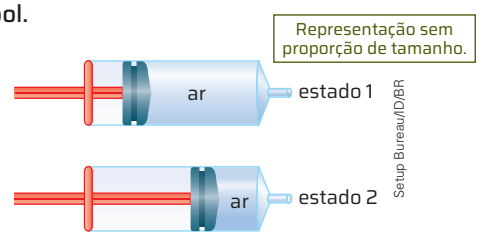
4 **Um gás ideal sofre uma compressão adiabática ao ser submetido a um trabalho igual a 800 J.**

a) Determine a quantidade de calor cedida para o sistema. $Q = 0$

b) Calcule a variação da energia interna. 800 J

c) Descreva o comportamento da temperatura, da pressão e do volume quando a contração está ocorrendo. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **A imagem a seguir (em cores-fantasia) ilustra o funcionamento de uma bomba de encher bolas de futebol.**



5. a) Do estado **1** para o estado **2** ocorre compressão adiabática;

a) Identifique a transformação realizada quando a bomba está sendo utilizada, conforme a imagem.

b) Desenhe o gráfico $p \times V$ em um ciclo completo, ou seja, ao empurrar o êmbolo para encher a bola e, em seguida, puxá-lo de volta à posição inicial. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 **Leia o texto a seguir e faça o que se pede.**

> Boltzmann [físico austríaco] e o [cientista] americano J. Willard Gibbs foram os criadores de uma ciência nova chamada mecânica estatística. [...]
>
> O ponto de partida de Boltzmann foi a hipótese atômica: a ideia de que a matéria é constituída de um número enorme de pequenas bolinhas animadas por uma louca agitação. [...]
>
> Na época em que trabalhava, Boltzmann só tinha à sua disposição a mecânica clássica.
>
> O ponto de partida dessa obra foi a termodinâmica, como se chama a teoria que trata da entropia e da irreversibilidade em nível macroscópico. Essa teoria elucidava – e continua a elucidar muito bem – os fatos experimentais. [...]
>
> RUELLE, D. *Acaso e caos*. São Paulo: Ed. da Unesp, 1993. p. 146 e 153.

a) Extraia do texto a definição de Termodinâmica.

b) Descreva a hipótese atômica proposta no texto.

c) Explique como os conceitos de entropia e irreversibilidade dependem da hipótese atômica.

6. b) A hipótese está relacionada com "a ideia de que a matéria é constituída de um número enorme de pequenas bolinhas animadas por uma louca agitação".

6. c) O princípio da irreversibilidade está relacionado ao fato de que um sistema não retorna espontaneamente a seu estado inicial. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

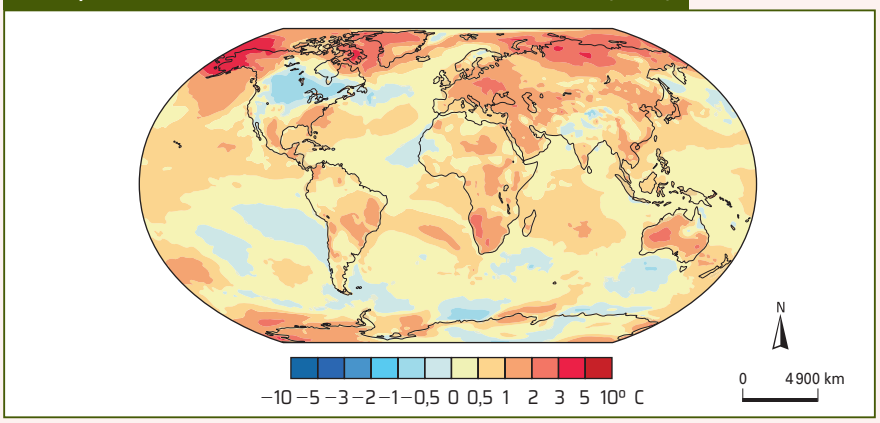
ESTUDO DE CASO

AQUECIMENTO GLOBAL

Este ano fui indicada pelo partido ao qual sou filiada para participar da Comissão Mista Permanente sobre Mudanças Climáticas (CMPMC) do Senado, pelo meu engajamento como deputada federal em causas ambientais. Muitos países têm discutido e firmado acordos para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas. A CMPMC foi criada em 2008 pelo Congresso Nacional para acompanhar, monitorar e fiscalizar ações referentes às mudanças climáticas em nosso país.

Os sinais das mudanças climáticas no planeta estão cada vez mais evidentes. Segundo o relatório Estado do Clima Global 2022, da Organização Meteorológica Mundial (OMM), de 2015 a 2022 foram os oito anos mais quentes registrados até então e apresentaram vários eventos climáticos extremos, como inundações e chuvas acima da média em algumas regiões do planeta e secas severas em outras regiões. Também foram observados a temperatura das águas oceânicas e o nível do mar mais altos desde os primeiros registros, assim como a mais elevada concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

VARIAÇÕES DA TEMPERATURA DA ATMOSFERA DA TERRA (2023)



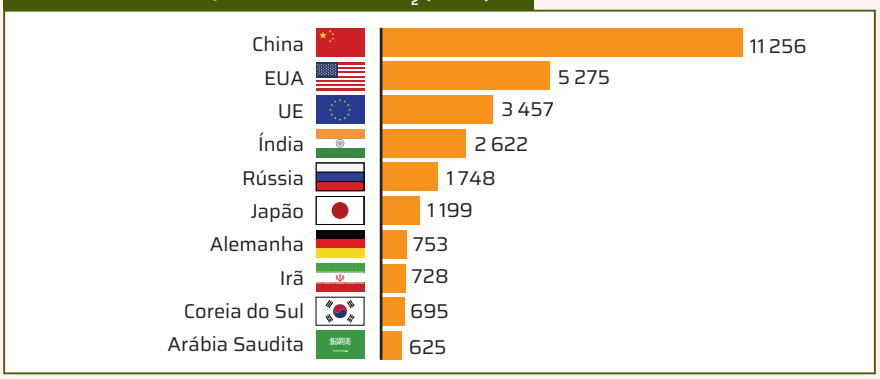
Bruno Badain/ID/BR

O mapa mostra as variações da temperatura da atmosfera próxima à superfície terrestre registradas em 2023 em relação à média de temperatura entre os anos de 1991 e 2020.

Fonte de pesquisa: World Meteorological Organization (WMO). *WMO statement on the state of the global climate in 2023*. Geneva: WMO, 2024. p. 4. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/68835/?offset=#page=9&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=. Acesso em: 16 out. 2024.

A maioria dos climatologistas defende que as mudanças climáticas são causadas pela ação humana. Segundo essa visão, o aumento crescente da emissão de gases de efeito estufa proveniente do uso de combustíveis fósseis, das queimadas e das atividades agropecuárias, por exemplo, seria o grande responsável pelo aquecimento global, que, por sua vez, desencadearia uma série de alterações no clima.

EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, EM GIGATONELADAS EQUIVALENTES DE CO_2 (2022)



Ilustrações: prabath23/Shutterstock.com/ID/BR

Os maiores emissores mundiais de CO_2.

Fonte de pesquisa: Crippa, M. *et al. GHG emissions of all world countries*: 2023 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. p. 5. Disponível em: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG_emissions_of_all_world_countries_booklet_2023report.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

Não escreva no livro.

Os gases de efeito estufa (GEE) são os responsáveis por manter a Terra aquecida. Sem eles, a temperatura média do nosso planeta seria cerca de 35 °C mais baixa, pois somente uma parte da radiação solar que chega à Terra é convertida em calor: aquela que é absorvida por gases da atmosfera. Quando uma molécula de gás absorve radiação, esta é transformada em energia cinética e, então, em calor. Como os gases da atmosfera absorvem mais a radiação que é refletida pela superfície da Terra (ondas longas – luz infravermelha) do que a radiação solar direta (ondas curtas – luz visível), a atmosfera é aquecida a partir da superfície do planeta. A esse fenômeno dá-se o nome de efeito estufa. Entre os GEE estão o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o gás carbônico (CO_2) e o vapor de água – os dois últimos são os mais eficientes absorvedores de radiação. O aumento de emissões de GEE em decorrência das atividades humanas explicaria o aquecimento global.

Por outro lado, há climatologistas que afirmam que a Terra passa naturalmente por fases de resfriamento e de aquecimento de forma cíclica e independente da ação humana. Essa visão se baseia no fato de o clima já ter se modificado inúmeras vezes ao longo da história geológica do planeta, em função de fatores como as variações na atividade solar, na incidência de raios cósmicos, na atividade vulcânica e tectônica, entre outras. De acordo com essa corrente de pensamento, a ação humana tem um peso insignificante diante dos outros fatores, produzindo somente mudanças climáticas restritas a um nível local e não global.

De qualquer forma, como deputada federal e integrante por dois anos da CMPMC, preciso ter uma assessoria de cientistas para que possa contribuir de forma fundamentada e responsável para o enfrentamento das mudanças climáticas em nosso país, levando em conta não só os aspectos climatológicos e ambientais, mas também os sociais e econômicos.

Organizando o trabalho em grupos

Reúna-se com três colegas para formar um grupo de quatro participantes. Vocês ficarão responsáveis por pesquisar e dar assessoria sobre as mudanças climáticas à deputada federal que participará da CMPMC. Cada membro do grupo vai representar um assessor e elaborar um material sobre um aspecto específico desse tema. Por fim, vocês farão uma encenação em que cada assessor apresentará o material produzido (seu parecer) à deputada (que pode ser representada pelo(a) professor(a) ou por uma estudante da turma).

A seguir, são apresentados alguns pontos que cada assessor pode abordar em seu material de apoio. Verifiquem se existem outros pontos que podem ser relevantes. Façam uma pesquisa, identificando fontes confiáveis, para realizar a tarefa e sempre apresentem argumentos que fundamentem as ideias defendidas.

Assessor 1 – Climatologista que defende a ação humana como causa do aquecimento global

- Quais são os argumentos que embasam essa hipótese? Para a apresentação, elabore gráficos para facilitar a visualização das informações.
- Quais são as previsões futuras sobre o clima, de acordo com essa corrente de pensamento?
- Quais são os impactos ambientais do aquecimento global, segundo essa corrente? Você pode incluir imagens e gráficos para a apresentação. A tendência é um aumento em frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Veja complemento das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Assessor 2 – Climatologista que considera o aquecimento global um fenômeno cíclico e sem influência antrópica

- Quais são os argumentos que embasam a hipótese de que as atividades humanas não contribuem significativamente para o aquecimento global? Para a apresentação, elabore gráficos para facilitar a visualização das informações.
- Que cenário climático essa hipótese prevê para os próximos anos?
- Por que esse ponto de vista é controverso no meio científico?

Segundo essa hipótese, estamos vivendo um período interglacial que está terminando e estaríamos mais próximos de uma nova era glacial do que de um aquecimento global. Então, a previsão é que haja um resfriamento global gradativo. Veja complemento das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Assessor 3 – Cientista social

- Quais impactos sociais (doenças, migrações, etc.) as mudanças climáticas podem acarretar?
- Quais medidas podem atenuar os efeitos das mudanças climáticas no âmbito social?

Respostas variáveis. Veja complemento das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Assessor 4 – Economista

- Quais impactos econômicos as mudanças climáticas podem acarretar?
- Que medidas econômicas podem mitigar os efeitos das mudanças climáticas?

Aumento de gastos públicos e privados com a reparação de cidades, por causa de desastres naturais; aumento de gastos públicos na área da saúde para o tratamento de doenças, entre outros. Veja complemento das respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

QUESTÕES GLOBAIS

1 **(Enem)** A Terra é cercada pelo vácuo espacial e, assim, ela só perde energia ao irradiá-la para o espaço. O aquecimento global que se verifica hoje decorre de pequeno desequilíbrio energético, de cerca de 0,3%, entre a energia que a Terra recebe do Sol e a energia irradiada a cada segundo, algo em torno de 1 W/m². Isso significa que a Terra acumula, anualmente, cerca de $1{,}6 \cdot 10^{22}$ J. Considere que a energia necessária para transformar 1 kg de gelo a 0 °C em água líquida seja igual a $3{,}2 \cdot 10^{5}$ J. Se toda a energia acumulada anualmente fosse usada para derreter o gelo nos polos (a 0 °C), a quantidade de gelo derretida anualmente, em trilhões de toneladas, estaria entre Alternativa **b**.

a) 20 e 40.
b) 40 e 60.
c) 60 e 80.
d) 80 e 100.
e) 100 e 120.

2 **(Uerj)** Uma pessoa, com temperatura corporal igual a 36,7 °C, bebe $\frac{1}{2}$ litro de água a 15 °C. Admitindo que a temperatura do corpo não se altere até que o sistema atinja o equilíbrio térmico, determine a quantidade de calor, em calorias, que a água ingerida absorve do corpo dessa pessoa. $Q = 10\,850$ cal

3 **(UFRN)** O calor e suas formas de propagação se manifestam em diversas situações, tanto na natureza quanto nas atividades humanas. Assim, fenômenos aparentemente muito diferentes são semelhantes, quando analisados mais detidamente. Veja-se, por exemplo: a energia do Sol que aquece nosso planeta e a energia emitida pelo magnétron do forno de micro-ondas, que aquece os alimentos colocados em seu interior, são fenômenos que envolvem propagação de calor. Pode-se afirmar que as formas de propagação de energia entre o Sol e a Terra e entre o magnétron e os alimentos são, respectivamente, Alternativa **d**.

a) convecção e condução.
b) convecção e convecção.
c) condução e radiação.
d) radiação e radiação.

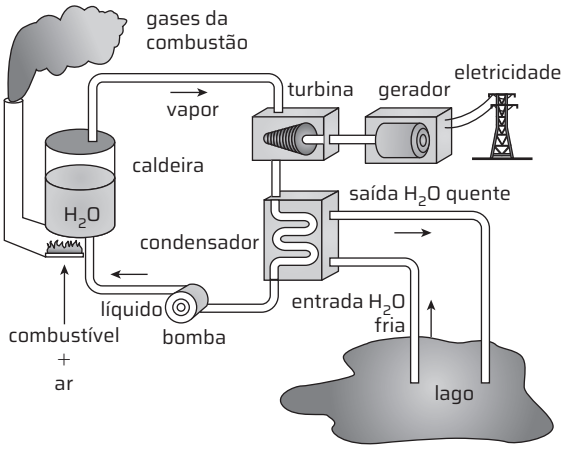
4 **(Udesc)** Sobre processos termodinâmicos de gases perfeitos, analise as proposições.

I. Em um ciclo termodinâmico, a variação da energia interna é nula.
II. Em um processo adiabático não há transferência de calor entre o meio e o sistema.
III. Em um processo isocórico, a pressão permanece constante.
IV. Em uma expansão livre, o calor é igual ao trabalho.
V. Em um processo isotérmico, a pressão é diretamente proporcional ao volume.

Assinale a alternativa correta. Alternativa **d**.

a) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
b) Somente as afirmativas I, II e V são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas II, III e V são verdadeiras.
d) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
e) Somente as afirmativas III, IV e V são verdadeiras.

5 **(Enem)** O esquema mostra um diagrama de bloco de uma estação geradora de eletricidade abastecida por combustível fóssil.



Enem. Fac-símile: ID/BR

Hinrichs, R. A.; Kleinbach, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (Adaptado.)

Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que forneceria eletricidade para abastecer uma cidade, qual das seguintes ações poderia resultar em alguma economia de energia, sem afetar a capacidade de geração da usina? Alternativa **e**.

a) Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina para ser queimado.
b) Reduzir o volume de água do lago que circula no condensador de vapor.
c) Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a água líquida à caldeira.
d) Melhorar a capacidade de os dutos com vapor conduzirem calor para o ambiente.
e) Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para mover um outro gerador.

6 **(UEL-PR)** A Revolução Industrial foi acompanhada por profundas transformações na Europa. Os novos meios de transporte, que utilizavam as máquinas térmicas recém-criadas, foram essenciais aos avanços relacionados à industrialização por todo o

Não escreva no livro.

continente. Naquele período, foi demonstrado teoricamente que uma máquina térmica ideal é aquela que descreve um ciclo especial, denominado ciclo de Carnot. Sobre os princípios físicos da termodinâmica e do ciclo de Carnot, assinale a alternativa **correta**. Alternativa **a**.

a) As máquinas térmicas, que operam em ciclos, são incapazes de retirar o calor de uma fonte e o transformar integralmente em trabalho.

b) Em uma máquina térmica que opera em ciclos de Carnot, ocorrem duas transformações isobáricas e duas isovolumétricas.

c) No ciclo de Carnot, ocorre uma transformação reversível, enquanto as demais são irreversíveis.

d) O rendimento de uma máquina térmica é nulo quando as etapas do ciclo de Carnot forem transformações reversíveis.

e) Uma máquina térmica é capaz de transferir calor de um ambiente frio para um quente sem a necessidade de consumir energia externa.

7 (**Enem**) A refrigeração e o congelamento de alimentos são responsáveis por uma parte significativa do consumo de energia elétrica numa residência típica. Para diminuir as perdas térmicas de uma geladeira, podem ser tomados alguns cuidados operacionais:

I. Distribuir os alimentos nas prateleiras deixando espaços vazios entre elas, para que ocorra a circulação do ar frio para baixo e do quente para cima.

II. Manter as paredes do congelador com camada bem espessa de gelo, para que o aumento da massa de gelo aumente a troca do calor no congelador.

III. Limpar o radiador ("grade" na parte de trás) periodicamente, para que a gordura e a poeira que nele se depositam não reduzam a transferência de calor para o ambiente.

Para uma geladeira tradicional é **correto** indicar apenas Alternativa **d**.

a) a operação I.

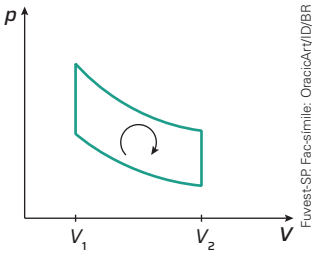
b) a operação II.

c) as operações I e II.

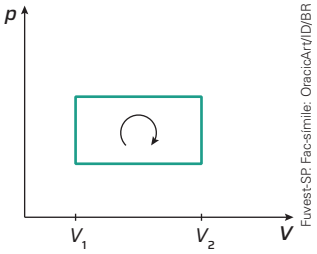
d) as operações I e III.

e) as operações II e III.

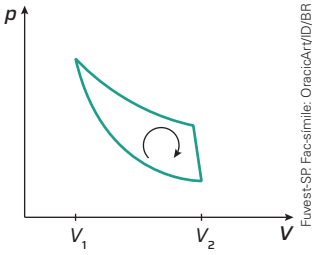
8 (**Fuvest-SP**) Um protótipo de máquina térmica caseira baseia-se num motor de quatro etapas e pode ser construído com o auxílio de uma bomba de bicicleta, uma pequena câmara de pneu e um aquecedor térmico. Na primeira etapa, o gás da câmara de pneu é comprimido adiabaticamente. Na segunda etapa, o gás é aquecido isovolumetricamente. Na terceira etapa, o gás sofre uma expansão adiabática e, finalmente, na quarta etapa, um resfriamento isovolumétrico. Assinale a alternativa que melhor representa o diagrama correspondente a essa máquina térmica no plano pressão (p) × volume (V). Alternativa **a**.

a)


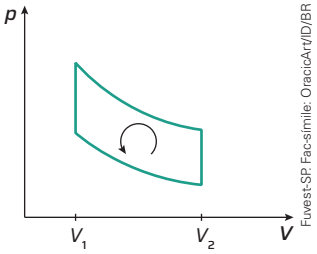
Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

b)


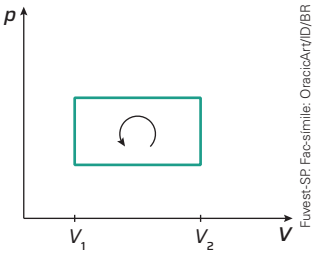
Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

c)


Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

d)


Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

e)


Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Note e adote:
Despreze efeitos de dilatação ou contração da câmara do pneu.

9 (**UFRGS-RS**) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40% e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo.

Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo? Alternativa **e**.

a) 200 K – 42 J.

b) 200 K – 420 J.

c) 200 K – 42 000 J.

d) 300 K – 42 J.

e) 300 K – 420 J.

PORTAL DE CIÊNCIAS

TORNANDO O CONHECIMENTO CIENTÍFICO ACESSÍVEL À COMUNIDADE

O que será feito

Você provavelmente já ouviu falar da importância que a ciência e a tecnologia têm em diversos aspectos de nosso cotidiano: nos materiais de limpeza utilizados em nossa casa, nos veículos que utilizamos para nos deslocar de um lugar para outro, nas plantações que fornecem nosso alimento diário, entre outros exemplos.

As pesquisas científicas costumam ser compartilhadas com outros pesquisadores por meio de publicações em veículos bastante específicos, como as revistas acadêmicas, e é comum o uso de uma linguagem técnica, de difícil compreensão para o público geral.

Essa dificuldade poderia afastar as pessoas de tais assuntos e até mesmo levá-las a uma visão negativa da ciência. Mas o que pode ser feito para ajudar o público geral a conhecer e compreender os avanços científicos?

Uma forma de entrar em contato com o conhecimento científico é a chamada divulgação científica. Ela pode ser feita na internet, na TV, no rádio e em revistas e jornais, e trata-se de uma ferramenta poderosa para o acesso da população aos conhecimentos já estabelecidos da ciência e ao que é produzido nessa área, na atualidade.

SDI Productions/iStock/Getty Images

A divulgação científica pode ser feita de diversas formas e em várias mídias, como textos em jornais, revistas e *blogs*, reportagens na TV, etc. Hoje, é cada vez mais comum ler notícias sobre ciência no celular.

Neste projeto, você e os colegas vão refletir sobre esse tema e elaborar um portal de divulgação que torne o conhecimento científico mais acessível à comunidade.

Objetivos

- Realizar entrevistas para identificar temas científicos considerados de difícil compreensão por pessoas da comunidade em que você e os colegas vivem.
- Elaborar estratégias para facilitar a compreensão desses temas.
- Elaborar conteúdos que abordem esses temas e publicá-los em um portal de divulgação científica na internet.

Preparação

Analisando um texto

Vocês têm dificuldade em compreender notícias que abordem temas científicos? Neste início de projeto, também é importante entender até que ponto os materiais de divulgação científica estão acessíveis. Por isso, reúnam-se em grupos e façam o que se pede a seguir.

Não escreva no livro.

1. a **3.** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1. Pesquisem notícias/textos sobre temas científicos em meios de comunicação e de informação confiáveis. Durante a leitura, anotem os termos que vocês consideraram de difícil compreensão. Pesquisem o significado deles e registrem as anotações no caderno.
2. Em seguida, escolham um parágrafo de algum dos textos em que um ou mais desses termos ocorram e reescrevam o parágrafo deixando-o mais simples, mais compreensível.
3. Ainda reunidos em grupos, elenquem outros termos científicos que vocês consideram de difícil compreensão. Compartilhem o resultado da discussão com a turma, explicando os motivos dessa dificuldade.

Realizando uma pesquisa

Neste momento, cada grupo deve responder às questões a seguir. Realizem uma pesquisa sobre estes aspectos gerais da ciência e da divulgação científica:

- O que é ciência?
- Que momentos históricos foram marcados pela ciência?
- Como a ciência contribui para a qualidade de vida e para outros aspectos do dia a dia das pessoas?
- O que é divulgação científica? Que meios podem ser utilizados para divulgar a ciência?

Anotem as respostas no caderno. Apresentem o resultado das pesquisas para a turma, no dia definido pelo(a) professor(a). Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Realizando entrevistas

Agora é o momento de coletar informações com as pessoas da comunidade. Cada grupo deve entrevistar de 10 a 20 pessoas, preferencialmente fora da escola, como familiares e vizinhos. A ideia é avaliar a percepção que os entrevistados têm da ciência e da divulgação científica. Para isso, vocês vão elaborar um questionário, como o mostrado a seguir. Alterem-no de acordo com o que vocês e o(a) professor(a) considerarem necessário.

1 **O que é ciência para você?**

2 **Em sua opinião, a ciência influencia sua vida? Se sim, como?**

3 **Você costuma ler/ver notícias sobre assuntos científicos? Se sim, em que fontes? Quais são seus temas favoritos?**

4 **Quando você lê/vê notícias sobre ciência, como costuma considerar o assunto de que trata a notícia?**

☐ **Fácil.**

☐ **Difícil.**

☐ **Depende do assunto.**

5 **Para você, quais assuntos científicos são mais difíceis de entender? Por quê? Cite três.**

6 **Em sua opinião, a linguagem usada nos noticiários sobre ciência é adequada? Por quê?**

7 **O que poderia ser feito para tornar as notícias e os textos científicos mais compreensíveis?**

Antes de aplicar o questionário às pessoas da comunidade, vocês também devem responder individualmente às questões que formularam. Reúnam-se com a turma, discutam e analisem as respostas.

É recomendável um contato prévio com os entrevistados para avaliar a disponibilidade deles.

Prostock-studio/Shutterstock.com/ID/BR

Durante a aplicação do questionário, procurem deixar o entrevistado à vontade. Além das respostas dadas, anotem outros comentários pertinentes que forem feitos.

Após a aplicação do questionário, cada grupo deve produzir um relatório com as respostas obtidas e apresentá-lo à turma. Utilizem gráficos para apresentar os resultados quantitativos. Fiquem atentos aos resultados de todos os grupos e realizem uma discussão ao final.

Planejando os próximos passos

Agora que vocês já investigaram o tema do projeto e refletiram sobre ele, é hora de organizar as próximas etapas. O planejamento é essencial para que o desenvolvimento do projeto e o portal sejam bem-sucedidos.

Com a turma e o(a) professor(a), procurem definir:

- a organização dos estudantes – sugere-se a formação de duas equipes, subdivididas em grupos de trabalho;
- as tarefas a serem realizadas e se a distribuição das tarefas está equilibrada;
- o cronograma de trabalho – procurem estabelecer, com o(a) professor(a), as datas de entrega de materiais, de reuniões, da publicação do portal, entre outras.

Desenvolvimento

Chegou o momento de desenvolver o portal. Primeiro, vocês definirão quais temas científicos serão explorados. O portal pode reunir informações básicas sobre cinco ou mais temas apontados pelos entrevistados como de difícil compreensão.

A seguir, indicamos uma organização baseada em duas equipes responsáveis pelas tarefas elencadas. Trata-se apenas de uma sugestão, pois o projeto é aberto para que vocês, junto do(a) professor(a), coloquem em prática o que considerarem o melhor caminho para a turma. Avaliem, inclusive, a possibilidade de produzir outras mídias, como vídeos e *podcasts*.

Equipe 1 – Elaboração dos textos para o portal

- **Escolha dos temas –** Com a ajuda do(a) professor(a), escolham cinco temas, entre aqueles de difícil entendimento citados pelos entrevistados, para serem abordados no portal. Procurem escolher conteúdos diversificados da área de Ciências da Natureza (temas de Física, Química e Biologia, por exemplo).
- **Pesquisa sobre os temas –** Organizem a equipe **1** em cinco grupos. Cada grupo pesquisará um dos cinco temas escolhidos. Para a pesquisa, vocês devem consultar apenas fontes confiáveis, como publicações técnicas e *sites* vinculados a instituições de pesquisa e a universidades academicamente reconhecidas.
- **Elaboração de textos –** Com base no material obtido na pesquisa, os grupos vão elaborar textos sobre os temas. Esses textos devem ser breves e explicar o tema em linguagem acessível. Atentem à linguagem: verifiquem os termos usados e a maneira como descreveram certos conceitos. Tenham em mente que esses textos devem ajudar as pessoas (as que foram entrevistadas e as da comunidade escolar e local) a entender temas mais complexos. O ideal é que essa etapa seja feita com o(a) professor(a) de Língua Portuguesa, observando a clareza e outros aspectos da produção de um texto, inclusive os conceitos complexos para o público-alvo. Também é importante pensar nas imagens que possam acompanhar os textos e torná-los ainda mais compreensíveis.
- **Validação dos textos –** É importante que os textos não apresentem erros conceituais. Por isso, se possível, devem ser consultados especialistas nos temas abordados. Podem ser pesquisadores de universidades ou de empresas, professores especialistas, etc. Pesquisem quem poderia ajudar nessa etapa, solicitando a opinião do(a) professor(a). Essa consulta a especialistas poderá ser feita por *e-mail* ou por outro recurso de comunicação a distância. Na mensagem, expliquem o objetivo do projeto e peçam ao especialista a gentileza de analisar o texto enviado por vocês. Os especialistas consultados devem receber, no portal, os créditos pela assessoria prestada.

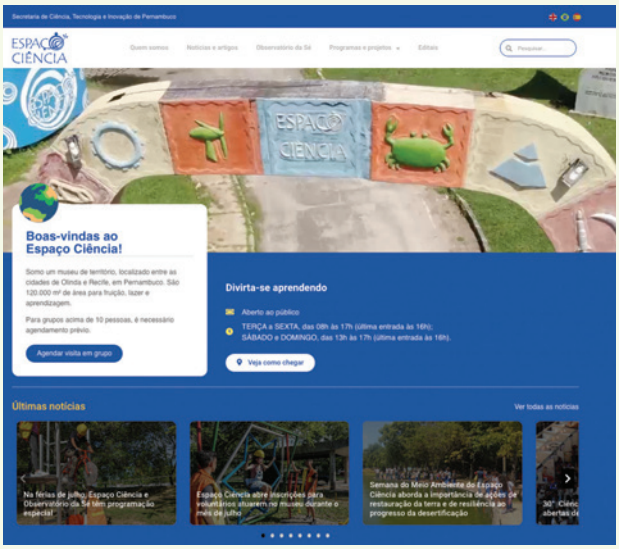
Equipe 2 – Desenvolvimento da estrutura do portal e publicação na internet

A equipe **2** vai elaborar a estrutura do portal e hospedá-lo na internet; também deve cuidar de sua divulgação, principalmente nas redes sociais. Veja alguns pontos importantes dessa tarefa:

- **Nome do portal –** Escolham o nome do portal coletiva e democraticamente. É importante levar em consideração o objetivo dele: tornar o conteúdo científico mais acessível. Sugere-se que toda a turma e o(a) professor(a) indiquem nomes. Selecionem três opções e, então, decidam por votação.
- **Hospedagem do portal na internet –** Vocês podem hospedar o portal no *site* da escola ou criar um portal novo. Na primeira opção, conversem com a direção da escola e solicitem a devida permissão. Para a segunda opção, há plataformas *on-line* que possibilitam a criação e a publicação de *sites* gratuitamente. Analisem, com o(a) professor(a), qual modalidade de hospedagem é a mais adequada ao projeto.
- **Estrutura e navegação –** O portal terá uma página de apresentação do projeto e de seus criadores? Que cores vão ser utilizadas? Que tipo de fonte é boa para a leitura de textos na internet? Esses e outros pontos fazem parte dos aspectos gráficos do portal. Procurem defini-los, assim como os recursos de navegação: seções, ferramentas de busca, área para comentários dos usuários, *links* para *sites* externos, entre outros.
- **Divulgação –** esta é uma etapa crucial para o projeto, pois é uma forma de conectá-lo à comunidade. Elaborem estratégias de divulgação, principalmente nas redes sociais.

Não escreva no livro.

Assim que os textos feitos pela equipe **1** forem finalizados, eles devem ser inseridos no portal. A equipe **2** será responsável por essa tarefa, mas a equipe **1** poderá lhe dar suporte, auxiliando-a em eventuais dificuldades.



Espaço Ciência/Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação de Pernambuco. Disponível em: http://www.espacociencia.pe.gov.br. Acesso em: 17 jun. 2024.

É importante avaliar qual é o melhor *layout* para o portal, imaginando sempre a experiência do usuário que vai acessá-lo. Considerem aspectos gráficos, cores e funcionalidades, tendo em mente o público-alvo.

PARA EXPLORAR

Acesse

Revista* Blogs *da Unicamp

O portal da revista divulga uma série de textos que visam apresentar ao público em geral os conteúdos científicos produzidos pela Universidade Estadual de Campinas.

Disponível em: https://www.blogs.unicamp.br/revista/. Acesso em: 2 jul. 2024.

É possível melhorar o que foi feito?

Antes de publicar efetivamente o portal, ou seja, antes de disponibilizar seu acesso a todas as pessoas na rede, é importante testar o que vocês fizeram, verificando se há melhorias a serem realizadas.

É interessante entrar em contato com as pessoas que foram entrevistadas e disponibilizar a elas os textos elaborados, de modo a colher opiniões e críticas. Perguntem se os textos as ajudaram a compreender os temas que consideravam difíceis. Expliquem que as respostas dadas por elas ao questionário colaboraram para o desenvolvimento do projeto e verifiquem se elas têm algo a sugerir para melhorar os textos. Aproveitem a oportunidade para convidá-las a navegar pelo portal.

Também é importante que todos os grupos envolvidos no projeto analisem os textos e o portal. Com o(a) professor(a), combinem uma data para os grupos apresentarem suas considerações. Procurem estar abertos e receptivos a críticas construtivas, pois elas são essenciais para o aprimoramento do trabalho realizado.

Conclusão

Publicação e lançamento do portal

Com o auxílio do(a) professor(a), criem um evento para divulgar o portal à comunidade. Estabeleçam um dia para a realização desse evento e reservem um local apropriado da escola para a apresentação do portal – em um telão ou em um conjunto de computadores, por exemplo.

Com antecedência, convidem para o encontro os entrevistados, os especialistas consultados e outras pessoas de dentro e de fora da comunidade escolar. Se possível, façam a publicação oficial do portal nesse dia.

Lembrem-se de que são necessários dispositivos com acesso à internet , como *smartphones*, computadores e *tablets*, para que o público possa navegar pelo portal; por isso, verifiquem previamente a disponibilidade deles com a direção da escola. Durante o evento, auxilie os visitantes, se for necessário.

Aproveitem para aplicar, na saída do evento, um questionário para colher a opinião do público sobre os textos e o portal. Elaborem esse questionário previamente, com perguntas que abordem a compreensão dos textos científicos publicados no portal, se esse conteúdo auxiliou os leitores a entender melhor os assuntos científicos, as impressões gerais desses leitores sobre o portal, entre outras questões. Reúnam os resultados para a última etapa, a avaliação.

Avaliação

1. Resposta pessoal. Espera-se que, ao confrontar suas expectativas com os resultados observados no lançamento do portal, os estudantes sejam capazes de identificar aspectos positivos do trabalho e aqueles nos quais ainda precisam de maior desenvolvimento.

1 **Qual foi o impacto do portal para as pessoas entrevistadas na etapa Preparação? E para as demais que participaram do evento de lançamento? O portal ajudou-as na compreensão de temas de ciência? O portal tornou mais acessíveis determinados conhecimentos científicos? Comente.**

2 **Você faria modificações no portal? Se sim, o que pode ser melhorado? Por quê?** Respostas pessoais. Espera-se que os estudantes tenham encontrado melhorias e ajustes no portal.

3 **Em sua avaliação, um portal como esse pode aumentar o interesse das pessoas pela ciência? Se sim, como?** Respostas pessoais. O portal pode influenciar o interesse das pessoas, por tornar o conhecimento científico mais acessível.

4 **De que modo participar desse projeto foi importante para você?** Resposta pessoal. Aproveite o momento para valorizar o protagonismo dos estudantes.

1. Espera-se que os estudantes respondam que é necessário haver uma fonte de luz e que essa luz possa ser emitida ou refletida pelos objetos, chegando aos nossos olhos.

LUZ, SOM E ONDAS

Você já se perguntou, por exemplo, como as imagens e os sons de um evento chegam até a plateia, como na imagem destas páginas?

A luz e o som, mesmo possuindo características tão diferentes, são exemplos de meios de transmissão de informações que ocorrem por ondas.

Entender a natureza da luz e como se dá a formação de imagens, assim como descobrir o que é o som e como ele se propaga, tornou-se objeto de estudo de diferentes pensadores e cientistas, que, ao longo do tempo, têm desvendado os processos físicos ligados a esses dois fenômenos.

Nesta unidade, você vai estudar aspectos relacionados à luz e às ondas, fenômenos ópticos e ondulatórios e a aplicação de suas leis e seus princípios.

OBJETIVOS

- Compreender os princípios de propagação da luz.
- Interpretar e aplicar as leis da reflexão em diferentes situações.
- Caracterizar os espelhos planos, os espelhos esféricos e as imagens formadas por eles.
- Compreender as leis da refração da luz e aplicar a equação da lei de Snell-Descartes em sistemas nos quais ocorre refração.
- Entender e relacionar as diferentes características das ondas.
- Compreender a quantificação da intensidade da sensação sonora.
- Caracterizar o movimento oscilatório e interpretar fisicamente suas características.
- Reconhecer que o movimento oscilatório transporta energia sem o deslocamento de matéria.
- Compreender os seguintes fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, difração, polarização, ressonância e interferência.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Em sua opinião, o que é preciso haver em um ambiente para que possamos ver os objetos? Comente.**
2. **O evento apresentado na imagem causaria o mesmo efeito se fosse realizado no período do dia? Discuta com os colegas.**
3. **Quais são os fenômenos físicos que permitem que as pessoas observem as imagens formadas e os sons emitidos no evento?**

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que não, pois, durante o dia, a iluminação natural não permitiria o destaque das luzes coloridas, por exemplo.

3. Resposta pessoal. O objetivo dessa questão é resgatar conhecimentos prévios dos estudantes sobre fenômenos relacionados à luz e às ondas.

Queima de fogos de artifício na praia de Copacabana, Rio de Janeiro. Foto de 2024. ▸

Javier Torres/AFP

UNIDADE 5

1 Óptica

2 Introdução às ondas

3 Fenômenos ondulatórios

CAPÍTULO 1

ÓPTICA

PARA COMEÇAR

1. O reflexo de objetos formado na água é semelhante ao que ocorre nos espelhos?
2. Na foto, a altura real do prédio e o tamanho da imagem dele refletida na água são iguais? Será que você pode afirmar que os objetos vistos na imagem têm o mesmo tamanho dos objetos reais?
3. Além de refletir a luz, formando a imagem de objetos, você conhece outros possíveis usos para os espelhos?

1. Sim. Nesse caso, a imagem se forma na água porque a luz ilumina o objeto e, em seguida, o reflete na água, fazendo com que enxerguemos a imagem por meio da luz refletida, em um processo semelhante ao que ocorre nos espelhos.
2. Como a superfície da água pode ser considerada, nesse caso, um espelho plano, o tamanho da imagem é igual ao tamanho do objeto.
3. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes citem exemplos como concentração da luz e calor e sensores e tecnologias de precisão.

REFLEXÃO DA LUZ

Quando a luz interage com a superfície de objetos ou com o meio no qual ela se propaga, é possível observar diferentes fenômenos ópticos, como a reflexão observada na foto, que forma a imagem na superfície da água. A reflexão ocorre quando a luz incide na superfície de um objeto qualquer e retorna ao mesmo meio de propagação inicial, ou seja, de onde ela veio.

Além da reflexão da luz, os fenômenos ópticos incluem a refração, a absorção e a dispersão, e conhecer o comportamento da luz nos ambientes e os fenômenos luminosos faz parte dos estudos da **Óptica**.

Os fenômenos citados costumam ocorrer de forma simultânea, mas um deles sempre se destaca, o que torna possível estudá-los separadamente.

061 Filmes/Shutterstock.com/ID/BR

Congresso Nacional, em Brasília (DF). Foto de 2019.

Não escreva no livro.

MODELOS PARA A LUZ

No estudo de determinados fenômenos, podemos considerar que a luz se propaga na forma de ondas chamadas **eletromagnéticas**. Em outros fenômenos, porém, devemos considerar a luz se propagando na forma de partículas de energia chamadas **fótons**. A ciência atualmente adota o modelo dual onda-partícula para descrever a luz, reconhecendo que ela pode se comportar como onda ou como partícula, dependendo do fenômeno observado.

As fontes de onde a luz se origina ou de onde ela emerge são denominadas fontes de luz.

Modelo dual de onda-partícula

Modelo que propõe que a luz apresenta comportamento de onda e de partícula – assim como um elétron, considerado uma partícula, mas que também apresenta comportamento de onda.

Raios e feixes de luz

Para descrever fenômenos como a formação de imagens por reflexão, adota-se o modelo de raios de luz para representar a propagação da luz. Esses raios de luz viajam em linha reta em meios homogêneos e transparentes, como o ar, por exemplo, e são representados por segmentos de reta indicando a direção e o sentido da propagação. Um conjunto desses raios é denominado **feixe de luz**. Os feixes de luz podem ser: **convergentes** (quando os raios se dirigem ao mesmo ponto), **divergentes** (quando os raios partem de um mesmo ponto e se afastam uns dos outros) ou **cilíndricos** (quando os raios se propagam paralelamente).

Princípios da propagação da luz

Há três princípios básicos que descrevem a propagação da luz:

- **Propagação retilínea da luz:** conforme o próprio princípio indica, a luz se propaga em linha reta em meios homogêneos, transparentes e **isotrópicos**, como o ar de uma sala.
- **Reversibilidade:** a trajetória dos raios de luz independe do sentido de propagação. Exemplo: o motorista de um ônibus enxerga pelo espelho retrovisor a imagem de um passageiro sentado atrás dele assim como esse passageiro enxerga a imagem do motorista refletida no retrovisor.
- **Independência:** quando raios de luz se interceptam, não ocorre mudança de trajetória. Exemplo: em um palco iluminado por holofotes, quando os feixes de luz se cruzam, cada feixe se propaga independentemente dos feixes de outros holofotes, conforme se observa na imagem **A**.

Hxdyl/Shutterstock.com/ID/BR

A foto mostra diferentes feixes de luz que se interceptam e se propagam independentemente e em linha reta.

FONTES DE LUZ

Para enxergarmos um objeto, a primeira condição é que a luz emitida ou refletida por ele chegue aos nossos olhos caracterizando-o como uma fonte de luz. Essa fonte pode ser de dois tipos:

- **Fontes de luz primárias (ou corpos luminosos):** produzem luz própria, como o Sol e as demais estrelas, uma vela acesa, lâmpadas acesas, etc.
- **Fontes de luz secundárias (ou corpos iluminados):** não produzem luz própria. Refletem os raios de luz provenientes de uma fonte de luz primária. É o caso da Lua, de uma vela apagada, etc.

Os olhos captam a luz emitida por uma fonte primária ou refletida por uma fonte secundária. Este livro, por exemplo, só pode ser lido se refletir a luz de alguma fonte luminosa.

isotrópicos: meios que possuem propriedades físicas que são independentes da direção observada.

DE OLHO NO CONCEITO

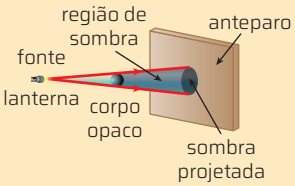
Sombra e penumbra

Uma das consequências da propagação retilínea da luz é a formação de sombras (regiões não atingidas pela luz) e penumbras (áreas parcialmente iluminadas).

Para ilustrar a diferença entre elas, são representadas abaixo as sombras produzidas por duas fontes de luz: uma puntiforme (pequena o suficiente para ser considerada um ponto) e uma extensa, ou seja, cujas dimensões não podem ser desprezadas.

Setup Bureau/ID/BR

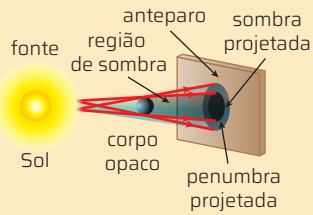
Fonte puntiforme



Um obstáculo diante da fonte puntiforme de luz causa a formação de uma sombra no anteparo.

Setup Bureau/ID/BR

Fonte extensa



Um obstáculo diante da fonte extensa da luz causa, além da sombra, a penumbra.

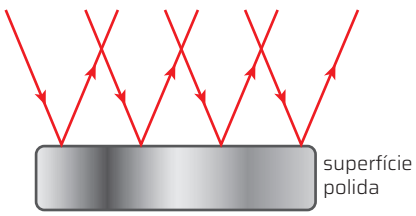
Podemos perceber a formação de sombra e de penumbra em fenômenos como eclipses lunares e solares.

TIPOS DE REFLEXÃO DA LUZ

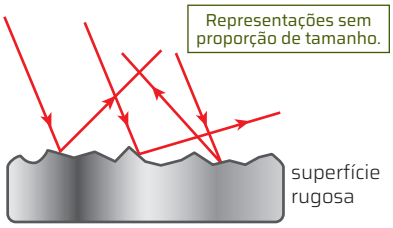
A maioria dos corpos reflete parte da luz que incide sobre eles, e a reflexão da luz por um objeto pode ocorrer de duas formas: reflexão regular ou reflexão difusa, dependendo das características da superfície do objeto.

Ilustrações: Setup/Bureau/ID/BR

Representações sem proporção de tamanho.



A **reflexão regular** ocorre em superfícies lisas e polidas, como um espelho plano. Os raios que nelas incidem paralelamente são refletidos paralelamente. Cores-fantasia.



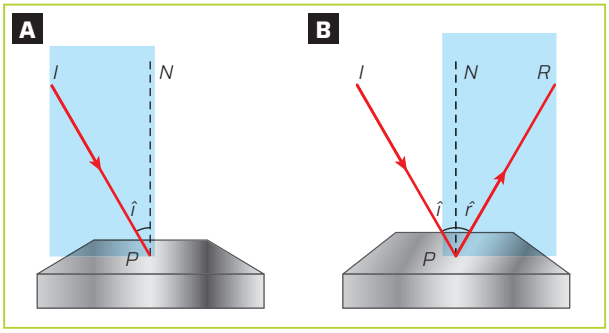
A **reflexão difusa** ocorre em superfícies irregulares, como as da maioria dos objetos – paredes e livros, por exemplo. Os raios que nelas incidem paralelamente são refletidos em várias direções. Cores-fantasia.

Para compreender o fenômeno da reflexão luminosa e suas leis, veja a imagem a seguir, que representa um raio de luz incidindo sobre uma superfície plana no ponto de incidência *P*. Em seguida, traça-se uma linha imaginária perpendicular à superfície, passando por *P*: a reta normal *N*. Essa linha servirá de referência para medidas de ângulos. O ângulo formado entre a reta normal *N* e o raio incidente *I*, conforme a imagem **A**, chama-se ângulo de incidência $\hat{i}$.

A imagem **B** ilustra um raio incidente *I* e o raio refletido *R*, bem como a reta normal e os ângulos de incidência $\hat{i}$ e de reflexão $\hat{r}$.

Ilustrações: Setup/Bureau/ID/BR

Representações sem proporção de tamanho.



(**A**) Raio de luz incidindo em superfície plana. (**B**) Raio de luz incidente e refletido. Cores-fantasia.

Considerando o comportamento dos raios refletidos, foi possível formular duas leis:

- A **primeira lei da reflexão** enuncia que o raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão contidos em um único plano, chamado **plano de incidência**.
- A **segunda lei da reflexão** enuncia que o ângulo de reflexão $\hat{r}$ entre o raio refletido e a reta normal *N* tem a mesma medida do ângulo de incidência $\hat{i}$.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Um estudante em seu quarto olhou para o espelho na parede e viu o reflexo do rosto de um amigo que entrava para dar-lhe um susto. O amigo desistiu da ideia.

a) Use os princípios da Óptica Geométrica para formular hipóteses sobre por que o amigo desistiu de assustar o estudante.

b) Identifique o princípio de propagação dos raios de luz envolvido nesse caso.

Resolução

a) O amigo desistiu provavelmente porque viu o reflexo do estudante no mesmo espelho, olhando para ele.

b) O princípio é o da reversibilidade dos raios de luz.

Não escreva no livro.

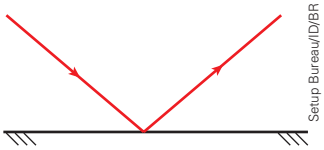
ESPELHOS

O fenômeno da reflexão regular da luz manifesta-se claramente nos espelhos, que são superfícies polidas. A superfície de um lago de águas cristalinas e sem ondulações se aproxima à de um espelho. Superfícies metálicas, quando bem polidas, também se comportam de modo similar.

A geometria da superfície identifica o tipo de espelho, que pode ser, por exemplo, plano ou esférico.

Representação de um espelho plano

Para representar um espelho plano, usa-se costumeiramente o esquema a seguir:



Setup Bureau/ID/BR

Representação de um espelho plano. Os traços em um dos lados da linha preta indicam a parte de trás do espelho.

Formação de imagens em espelhos planos

Um objeto é, geralmente, uma fonte luminosa secundária, pois reflete a luz recebida. Cada ponto do objeto reflete raios de luz em todas as direções, ou seja, emite um feixe de luz divergente. O olho capta a luz refletida e envia uma informação ao cérebro. Este interpreta que o objeto está no ponto de onde partiram os raios de luz e calcula a posição desse ponto com base nas informações captadas pelo olho. Em seguida, usando todas as informações obtidas, o cérebro constrói a **imagem real** do objeto, que assim é visto.

Quando o objeto é colocado em frente a um espelho, a luz emitida por ele é agora refletida pela superfície espelhada em direção aos nossos olhos, que, por sua vez, enviam essa informação ao nosso cérebro, o qual interpreta a informação recebida como se a luz saísse de pontos localizados atrás do espelho. Essa imagem formada atrás do espelho é apenas aparente, sendo chamada de **imagem virtual**. O interessante é que temos a nítida sensação de que a distância entre a imagem e o espelho é idêntica entre este e o objeto. Essa percepção estende-se para todas as dimensões do objeto, como sua altura, por exemplo. Isso é o que chamamos **simetria**.

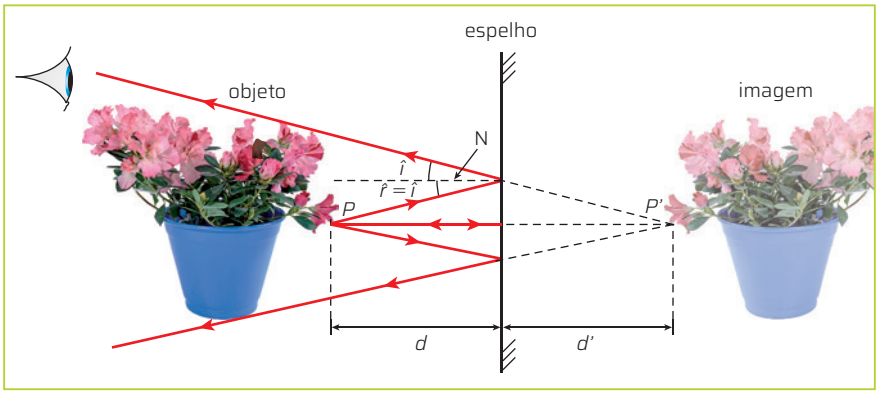
O esquema a seguir representa a formação da imagem de um objeto colocado frente a um espelho plano.

ROTEIRO

1. **O que acontece quando o ângulo de incidência da luz forma 90° com a superfície?**
2. **Em uma folha de papel, escreva seu nome em letras de forma maiúsculas, coloque-o diante de um espelho plano e represente a imagem formada.**

1. Se o ângulo entre o raio incidente e a superfície for igual a 90°, significa que o ângulo de incidência em relação à normal é nulo. Sendo assim, o raio luminoso reflete voltando pelo mesmo caminho.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes notem que seu nome ficou invertido lateralmente.

Fotos: Marcelo Parducci/ID/BR
Ilustração: Setup Bureau/ID/BR



Representação sem proporção de tamanho.

Esquema da construção da imagem em um espelho plano.

Escolhe-se um ponto *P* do objeto e, a partir dele, traçam-se ao menos dois raios de luz que incidam no espelho. Em seguida, aplicam-se as leis da reflexão para obter os raios refletidos. O encontro dos prolongamentos dos raios refletidos determinará um ponto *P'* da imagem, localizado atrás do espelho. Faz-se o mesmo para outros pontos do objeto, obtendo-se outros pontos da imagem.

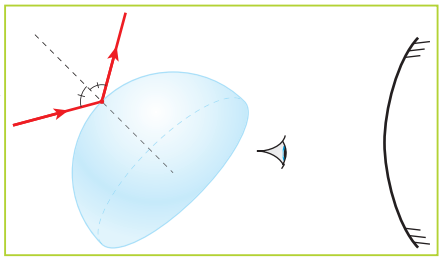
Características de imagens formadas por espelhos planos

- O objeto e a imagem aparentam estar à mesma distância do espelho, ou seja, são simétricos com relação ao plano do espelho: $d = d'$.
- A imagem produzida tem o mesmo tamanho do objeto.
- A imagem é virtual, pois se forma pelo prolongamento dos raios refletidos e aparentemente se localiza atrás do espelho.
- Se uma pessoa está na frente de um espelho e levanta sua mão direita, na imagem refletida parecerá levantar a mão esquerda. Não importa de qual ângulo a pessoa veja seu reflexo, não é possível ela se sobrepor à imagem de si mesma. Por isso se diz que o objeto e a imagem em um espelho plano são figuras **enantiomorfas**, isto é, idênticas na forma, mas invertidas lateralmente.

Formação de imagens em espelhos esféricos

Há espelhos que formam imagens diferentes daquelas formadas por espelhos planos, e a diferença se deve à geometria. Nos espelhos esféricos a película metálica é depositada em uma superfície curva, uma calota esférica.

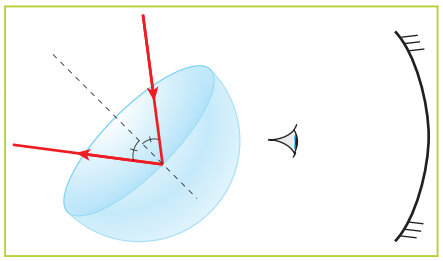
Setup Bureau/ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

Se a superfície espelhada da calota for a externa, tem-se um espelho convexo.

Setup Bureau/ID/BR



Se a superfície espelhada da calota for a interna, tem-se um espelho côncavo.

Iucato/iStock/Getty Images

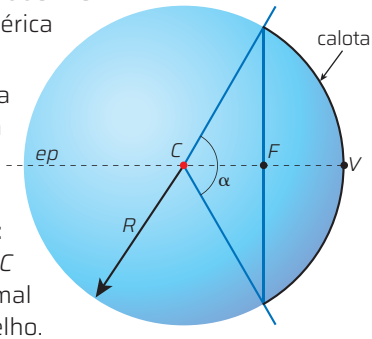
Espelho esférico convexo: amplia o campo visual e assim facilita a vigilância de uma loja, por exemplo.

P. Chinnapong/Shutterstock.com/ID/BR

Espelho esférico côncavo: bastante utilizado por dentistas para ampliar a imagem.

Veja a seguir os principiais elementos geométricos de um espelho esférico:

- **Centro de curvatura (*C*):** é o centro da superfície esférica associada à curvatura do espelho.
- **Vértice (*V*):** localizado no centro da calota esférica (centro do espelho).
- **Foco (*F*):** a distância de *F* a *V* é chamada **distância focal** e denotada por *f*.
- **Eixo principal (*ep*):** reta que passa por *C* e *V*; é uma reta normal à superfície do espelho.
- **Raio de curvatura (*R*):** é o raio da esfera associada à curvatura do espelho. $\overline{CV} = R$.
- **Ângulo de abertura (α).**



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

DE OLHO NO CONCEITO

Condição de nitidez de Gauss

Para que um espelho esférico produza imagens nítidas e com pouca deformação, seu formato deve se aproximar do formato de um espelho plano. Esse efeito é conseguido quando $\alpha \leqslant 10°$.

Um espelho que obedece a essa condição é chamado **gaussiano**. Para espelhos gaussianos, é válida a seguinte expressão:

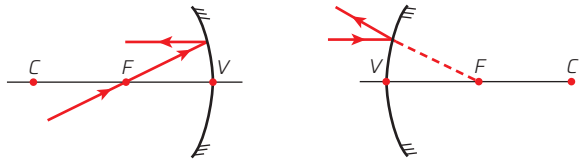
$$f = \frac{R}{2}$$

Raios notáveis

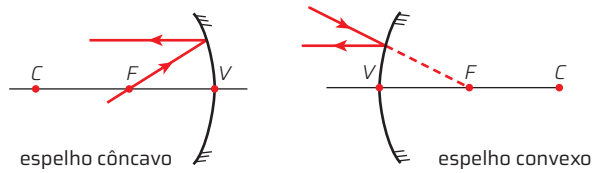
A construção de uma imagem formada por um espelho esférico segue o mesmo critério adotado para os espelhos planos: encontrar o ponto de intersecção dos raios refletidos ou do prolongamento deles atrás do espelho.

Para isso, vamos utilizar um conjunto de raios que tenham uma trajetória mais simples de ser identificada, sem que precisemos marcar os ângulos de incidência e reflexão. São os chamados **raios notáveis**.

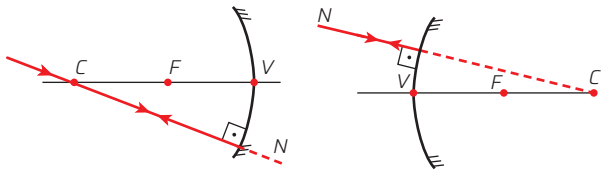
1. Raio de luz paralelo ao eixo principal: o raio refletido, ou o seu prolongamento, passa pelo foco *F*.



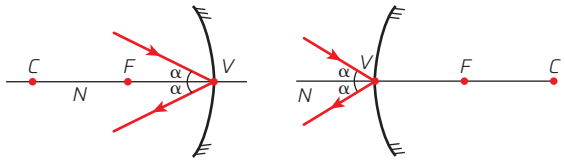
2. Raio de luz, (ou prolongamento) passando pelo foco: o raio é refletido paralelamente ao eixo principal.



3. Raio de luz incidindo na direção do centro de curvatura: o raio é refletido sobre si mesmo.



4. Raio de luz incidindo no vértice: o ângulo entre o raio refletido e o eixo principal é igual ao ângulo entre o eixo e o raio incidente.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Não escreva no livro.

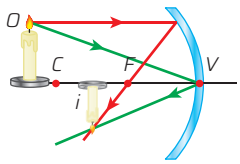
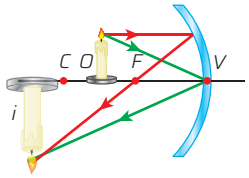
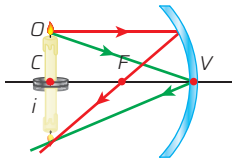
Formação de imagens em espelhos côncavos

Iniciamos a construção de imagens em espelhos côncavos posicionando um objeto real em cinco posições diferentes sobre o eixo principal, tomando como referência o centro de curvatura *C*, o foco *F* e o vértice *V* do espelho. O ponto a partir do qual escolheremos os raios notáveis será a parte superior do objeto, já que, por simetria, a imagem de sua parte inferior estará sobre o eixo principal, assim como a base do objeto.

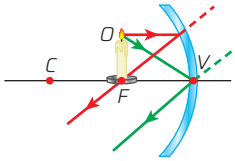
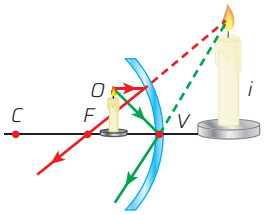
3. Em um espelho convexo, o foco é obtido pelo prolongamento dos raios virtuais, e no espelho côncavo, o foco é obtido pelo prolongamento dos raios reais.

ROTEIRO

3. O foco de um espelho côncavo é real, ao passo que o foco de um espelho convexo é virtual. Por quê?

Imagem real, invertida e menor	Imagem real, invertida e maior	Imagem real, invertida e de mesmo tamanho
		
Objeto localizado antes de *C* Características da imagem: • Real, formada pelo encontro dos raios refletidos. • Tamanho: menor que o objeto. • Orientação: invertida. • Localização: entre *C* e *F*.	**Objeto localizado entre *C* e *F*** Características da imagem: • Real, formada pelo encontro dos raios refletidos. • Tamanho: maior que o objeto. • Orientação: invertida. • Localização: antes de *C*.	**Objeto localizado em *C*** Características da imagem: • Real, formada pelo encontro dos raios refletidos. • Tamanho: igual ao do objeto. • Orientação: invertida. • Localização: em *C*.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

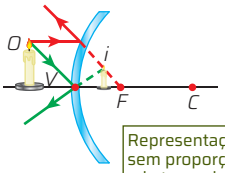
Imagem imprópria	Imagem virtual, direita e maior
 Representações sem proporção de tamanho.	
Objeto localizado em *F* Situação em que os raios refletidos são paralelos. A rigor, não é possível ver a imagem, pois ela se forma no infinito. Nesse caso, a imagem é chamada de imprópria.	**Objeto localizado entre *F* e *V*** Características da imagem: • Virtual, formada pelo prolongamento dos raios refletidos. • Tamanho: maior que o objeto. • Orientação: direita. • Localização: atrás do espelho.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Formação de imagens em espelhos convexos

Nos espelhos convexos, o centro de curvatura e o foco são virtuais, de modo que não há possibilidade de colocar o objeto nas mesmas cinco posições apresentadas para os espelhos côncavos.

Independentemente da distância entre o objeto e o espelho convexo, a imagem formada tem as mesmas características. Observe a construção a seguir.

Imagem virtual, direita e menor	Objeto diante de um espelho convexo
 Representação sem proporção de tamanho.	Características da imagem: • Virtual. • Tamanho: menor que o objeto. • Orientação: direita. • Localização: atrás do espelho.

Setup Bureau/ID/BR

Características de imagens formadas por espelhos esféricos

Com base nas construções anteriores, chegamos às seguintes conclusões:

- Toda imagem **real** é **invertida** e pode ser projetada, enquanto toda imagem **virtual** é **direita**.
- Imagens reais formam-se na frente do espelho, e imagens virtuais formam-se atrás do espelho.
- Para cada objeto real, espelhos convexos produzem apenas um tipo de imagem: virtual, direita e menor que o objeto.
- Em espelhos côncavos, a natureza da imagem depende da posição do objeto.
- Todas as imagens formadas, independentemente do tipo de espelho, são enantiomorfas.

Tecnologia assistiva

AS CORES DOS OBJETOS

As cores também são objeto de estudo da Física, que busca responder a perguntas como estas: Por que os objetos apresentam cores diferentes? Por que nem todo objeto iluminado por uma fonte primária de luz branca (a principal cor de luz presente em nosso dia a dia) é visto como branco?

As respostas a essas perguntas remontam ao século XVII, quando o físico inglês Isaac Newton (1643-1727) enunciou que a luz branca é composta de luzes de diversas cores. Usando um prisma, ele demonstrou que a luz branca pode ser decomposta em feixes de luz de cores diferentes.

Quando um objeto é iluminado pela luz do Sol ou de uma lâmpada comum, que emite luz branca, parte dessa luz é absorvida e parte é refletida. A proporção entre a luz absorvida e a luz refletida depende da composição do objeto iluminado, assim como do comprimento de onda da luz refletida.

Um objeto pode absorver a luz de algumas cores e refletir a luz de outras, e é essa luz refletida que os olhos captam. Assim, se uma camisa é vista como verde, significa que o pigmento da tinta com a qual a camisa foi tingida absorveu a maioria das cores da luz branca e refletiu, principalmente, a luz verde.

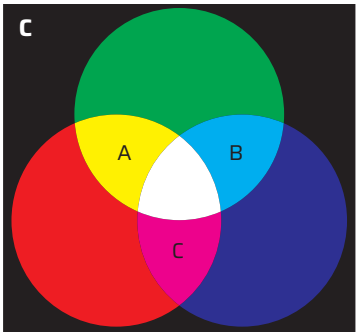
Na foto **A**, as flores foram iluminadas com luz branca e refletiram majoritariamente luz da cor vermelha. Já na foto **B**, em que a luz incidente (verde) é monocromática, as flores apresentam-se com cor diferente, devido à ausência da cor vermelha na luz incidente.

Nickolay Khoroshkov/Shutterstock.com/ID/BR

Nickolay Khoroshkov/Shutterstock.com/ID/BR

As rosas das fotos acima foram iluminadas com diferentes fontes de luz.

Representação sem proporção de tamanho.



ID/BR

Alguns exemplos de cores resultantes da sobreposição das cores primárias de luz: **A**: verde + vermelho = amarelo; **B**: verde + azul = ciano; **C**: vermelho + azul = magenta. A sobreposição das cores primárias forma a luz branca.

Cores primárias

A luz branca é composta de diferentes comprimentos de onda, que correspondem às várias cores do espectro visível. Ainda que nossos olhos captem uma ampla gama de comprimentos de onda, a percepção de cores é resultado da combinação de estímulos de três tipos de células sensíveis à luz na retina, chamadas cones, que respondem preferencialmente às cores vermelha, verde e azul.

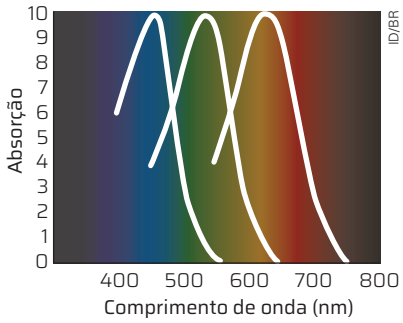
Esse fato é explorado no funcionamento das telas de televisores e monitores de computador, por exemplo. Aproximando os olhos desses monitores ou observando-os com uma lupa, é possível perceber a presença de pequenos pontos luminosos que apresentam apenas essas três cores. Quando observados de longe e em combinação, esses pontos compõem muitos milhares de cores diferentes. Essa tecnologia, denominada RGB (*red*, *green* e *blue*), é empregada no funcionamento de monitores, televisores, computadores e telefones celulares. A sobreposição das cores vermelha, verde e azul, combinadas em diferentes proporções, origina as demais cores (imagem **C**).

As cores e a visão

Os olhos humanos têm células fotossensíveis que são alteradas pela luz: os cones e os bastonetes.

O pigmento dos cones é a opsina visual, que existe em três tipos, cada um absorvendo melhor determinados comprimentos de onda: vermelho, verde e azul. Comprimentos de luz intermediários excitam diferentes tipos de cone em proporções distintas, o que forma imagens de diferentes cores. A opsina visual não é ativada em condições de pouca luz, o que explica nossa visão em tons de cinza em ambientes escurecidos.

O pigmento dos bastonetes é a rodopsina, que não percebe as cores, mas é sensível a quantidades de luz bem pequenas, permitindo a visão noturna.



ID/BR

Os três tipos de cone contêm moléculas de opsina visual que absorvem de forma mais eficiente as luzes de comprimentos de onda diferentes.

Fonte de pesquisa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Divisão de Processamento de Imagens. Processamento de cores. [*S. l.*], 2006. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~carlos/Academicos/Cursos/Pdi/pdi_cores.html. Acesso em: 11 out. 2024.

ROTEIRO

4. Quando um corpo absorve luz de todas as cores e não há luz refletida, ele é visto como preto. Segundo o mesmo princípio, um corpo que é visto como branco reflete quais cores?

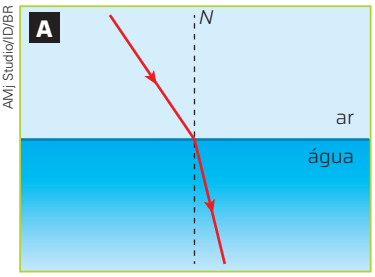
As cores do arco-íris. Avalie apresentar para os estudantes o disco de Newton, criado pelo físico inglês Isaac Newton, para mostrar como as cores podem ser compostas para produzir a cor branca.

Não escreva no livro.

REFRAÇÃO DA LUZ

No estudo da reflexão, vimos que a luz, após incidir em uma superfície, volta a se propagar no meio de origem. No entanto, há situações em que a luz pode atravessar a superfície, propagando-se em um meio diferente do inicial. É o que ocorre quando observamos através de uma lente, ou quando, fora de uma piscina cheia de água, observamos seu fundo. Esse fenômeno é chamado de **refração da luz** e caracteriza-se pela alteração da velocidade de propagação da luz, que pode vir acompanhada de alteração na direção de propagação.

AMj Studio/ID/BR



Representação da refração da luz ao passar do ar para a água. Cores-fantasia.

Nikkytok/Shutterstock.com/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

A distorção da imagem dos azulejos observada no fundo da piscina cheia de água é causada pela refração da luz.

A refração é representada esquematicamente na imagem **A**, em que a trajetória de um raio luminoso é desviada ao passar do ar para a água.

Para quem observa esse fenômeno, o efeito do desvio de luz, associado à ondulação da água, se manifesta como uma imagem distorcida, como mostra a foto do fundo da piscina (imagem **B**).

Índice de refração

Para estudar a refração da luz, é suficiente usar o modelo físico de raios luminosos que se propagam em linha reta. Mas, como a velocidade da luz se altera conforme o meio no qual se propaga, é conveniente definir uma grandeza que permita fazer comparações entre a velocidade da luz nos diferentes meios, como água, ar e vidro, por exemplo.

Essa grandeza é chamada **índice de refração** de um meio e é representada pela letra *n*. O índice de refração é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio em questão:

$$n = \frac{c}{v}$$

Nessa expressão, *c* é a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente igual a 300 000 km/s) e *v* é a velocidade da luz em qualquer meio diferente do vácuo.

O valor de *v* é sempre menor que o de *c*, de maneira que o índice de refração é sempre maior que 1. Além disso, como a expressão é uma razão entre duas velocidades, o índice de refração é uma grandeza adimensional.

A tabela a seguir mostra os índices de refração de alguns meios.

ÍNDICES DE REFRAÇÃO DE ALGUNS MEIOS MATERIAIS

Substância	Índice de refração (*n*)
ar	1,00
gelo	1,31
água	1,33
álcool	1,36
glicerina	1,47
acrílico	1,49
vidro	1,50
diamante	2,42

Fonte de pesquisa: Lide, D. R. (ed.). *Handbook of Chemistry and Physics*. 87. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006-2007.

PARA EXPLORAR

Acesse

Refração da luz

No simulador do PhET Interactive Simulations, da Universidade do Colorado em Boulder, você pode explorar o comportamento da luz ao refratar entre dois meios com diferentes índices de refração.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html. Acesso em: 20 ago. 2024.

FÍSICA E BIOLOGIA

Microscopia: células em movimento nos organismos

Leia o trecho de texto a seguir.

[...]

Já faz décadas que a ciência conhece e estuda a existência dessas estruturas biológicas, porém, essa é a primeira vez que o movimento das células é gravado em um vídeo tridimensional e de alta qualidade. E, como é possível imaginar, as cenas são incríveis.

[...]

As gravações mais visíveis [eram] feitas a partir de células guardadas em lâminas de vidro, o que também significava que o movimento nunca era registrado por completo. [...]

Novo microscópio filma células se movendo dentro de organismos. *Galileu*, [*s. l.*], 23 abr. 2018. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/04/novo-microscopio-filma-celulas-se-movendo-dentro-de-organismos.html. Acesso em: 28 set. 2024.

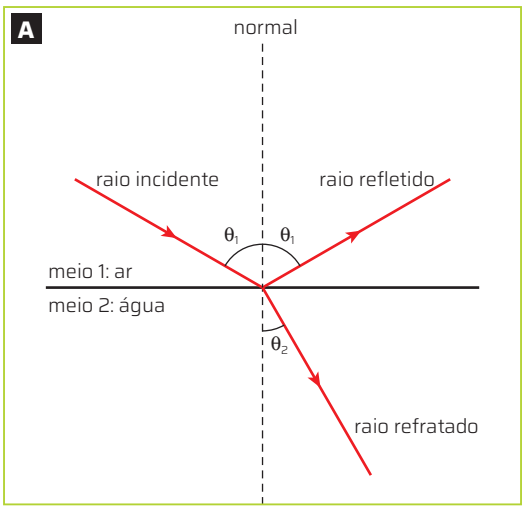
1. Converse com os colegas sobre quais benefícios esse novo tipo de microscópio pode proporcionar para estudos relacionados a áreas como a Biologia e a saúde humana.

Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes percebam que poder filmar células em movimento no interior de organismos vivos é um grande avanço da tecnologia, além de ser ferramenta promissora para novos estudos de Citologia, por exemplo, permitindo observar a verdadeira natureza das células.

Não escreva no livro.

5. Ao ser refratada, parte da energia da luz é absorvida pela superfície que separa os meios e, por isso, tem-se uma diminuição na intensidade do raio de luz.

ID/BR



Parte dos raios incidentes é refletida e parte é refratada.

ROTEIRO

5. A luz refratada tem menor intensidade que a luz incidente. Explique por que isso acontece.

A lei de Snell-Descartes

O cientista e filósofo Ptolomeu (90–168), na Grécia Antiga, encontrou uma relação entre os ângulos de incidência e de refração, mas ela só era válida para ângulos pequenos.

A primeira descrição da lei da refração de que se tem notícia foi realizada por Ahmad Ibn Sahl al-Balhī (850-934), matemático nascido em Bagdá, e publicada em 984 d.C.

O matemático e astrônomo holandês Willebrord Snell (1580-1626) chegou a uma expressão matemática em 1621, e o filósofo e matemático francês René Descartes (1596-1650) deduziu a lei da refração e a publicou em seu *Discurso sobre o método*, em 1637.

Por isso, a lei ficou conhecida como lei de Snell-Descartes.

Leis da refração da luz

Quando um feixe de luz incide na superfície que separa dois meios diferentes, uma parte dos raios é refletida de volta ao primeiro meio, e outra parte atravessa para o segundo meio. Na imagem **A**, é possível observar o raio incidente, o raio refletido e o raio refratado, bem como a reta normal, perpendicular à superfície que separa os dois meios. O ângulo θ_1 entre o raio incidente e a reta normal é o **ângulo de incidência**. Já o ângulo θ_2 mostrado na imagem, entre o raio refratado e a reta normal, recebe o nome de **ângulo de refração**.

Assim, com base no princípio da propagação retilínea dos raios de luz, e aplicando as propriedades geométricas, é possível estabelecer relações entre o raio incidente e o raio refratado.

São essas relações que definem as leis da refração, enunciadas a seguir.

Primeira lei da refração

A **primeira lei da refração**, que pode ser constatada experimentalmente, é assim definida:

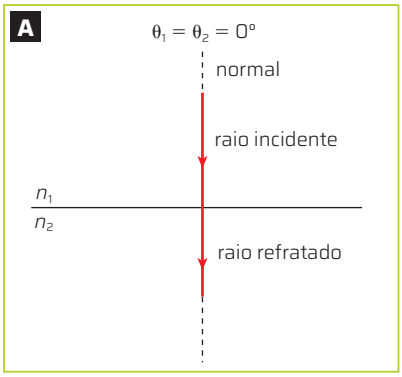
O raio incidente, o raio refratado e a reta normal estão todos contidos em um mesmo plano.

Segunda lei da refração: lei de Snell-Descartes

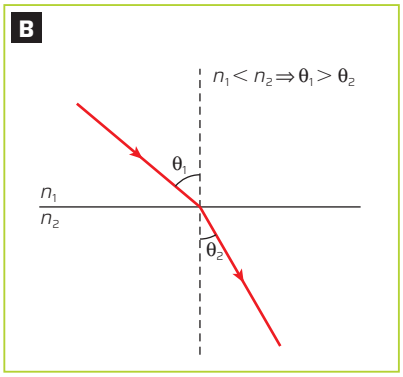
A **segunda lei da refração** ou **lei de Snell-Descartes** diz que o ângulo de incidência, o angulo de refração e os índices de refração dos meios envolvidos, n_1 e n_2, estão assim relacionados:

$$n_1 \cdot \text{sen}\ \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\ \theta_2$$

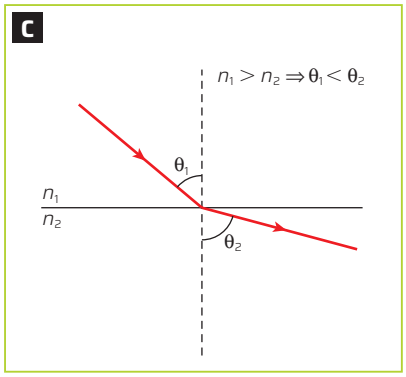
Conhecendo, portanto, três das variáveis que aparecem na lei de Snell-Descartes, é possível obter a quarta variável. Isso significa que se pode usar essa lei tanto para prever a direção do raio refratado, conhecendo n_1 e n_2, como para obter o índice de refração de um dos meios, medindo θ_1 e θ_2.



Quando o raio de luz incidente é perpendicular à superfície que separa dois meios distintos, não ocorre o desvio do raio refratado, apenas a alteração de sua velocidade.



Se $n_1 < n_2$, o raio refratado se aproxima da reta normal em razão da redução da velocidade da luz no meio 2.



Se $n_1 > n_2$, o raio refratado se afasta da reta normal em razão do aumento da velocidade da luz no meio 2.

Ilustrações: ID/BR

Não escreva no livro.

Determinação da distância focal de uma lente

Lentes são dispositivos ópticos que refratam a luz e têm ao menos uma superfície curva. Uma informação fundamental na caracterização de uma lente é sua distância focal (f), definida como a distância entre o centro da lente (chamado centro óptico) e o foco principal. Nesta atividade, você e os colegas vão realizar uma montagem experimental para determinar a distância focal de uma lente e discutir a validade das aproximações utilizadas, empregando materiais de custo acessível.

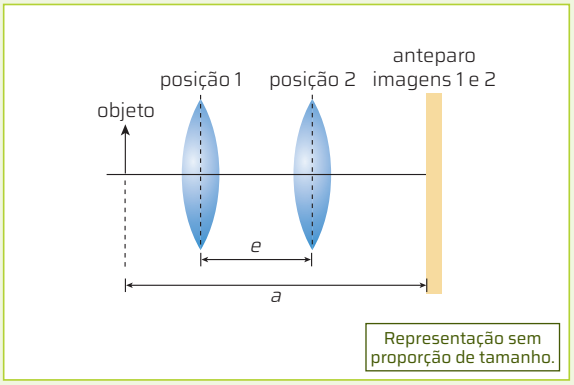
Material

- lentes de vidro ou de acrílico (na falta de uma lente apropriada para experimentos ópticos, pode-se usar uma lente de óculos)
- cartolina
- suportes para fixação da lente e do anteparo
- lâmpada de baixa potência, com suporte para fixação
- cartão com seta recortada para cobrir a lâmpada e simular o objeto luminoso
- fita métrica ou régua

Como fazer

1. Organizem-se em grupos. Com a cartolina, confeccionem um cilindro que envolva a lâmpada e permita fixar o cartão com corte em forma de seta, simulando o objeto luminoso. Usem uma folha de cartolina como anteparo para projeção. Posicionem a fonte de luz (com o cartão com seta acoplado), a lente e o anteparo, de modo que fiquem alinhados.
2. Realizem uma pesquisa com o objetivo de identificar o comportamento óptico convergente ou divergente das lentes e registrem as anotações.
3. Organizem-se em dois novos grupos. O grupo **A** deverá calcular a distância focal da lente (f) usando o método de Gauss. Para isso, é preciso deslocar a lâmpada e o anteparo até que se forme uma imagem nítida e então medir as distâncias p (objeto-lente) e p' (anteparo-lente). Repitam esse procedimento ao menos três vezes e anotem os dados.

   A equação de Gauss é dada por $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$, em que p e p' são, respectivamente, as posições do objeto (lâmpada) e da imagem. Discutam como focalizar a imagem da lâmpada no anteparo de cartolina.
4. O grupo **B** deverá realizar medições visando calcular a distância focal pela equação de Bessel. Para isso, cada integrante deve movimentar apenas a lente, com as posições da lâmpada e do anteparo fixas. Há duas posições da lente para as quais uma imagem nítida se formará no cartão. Ao identificar cada uma, o integrante deve anotar a posição da lente e depois medir as distâncias a e e, conforme o esquema a seguir.



Para usar a equação de Bessel, devem ser medidas as distâncias a e e. As posições 1 e 2 da lente são aquelas para as quais a imagem foi projetada com nitidez. Cores-fantasia.

A equação de Bessel é dada por $f = \frac{1}{4}\left(\frac{a^2 - e^2}{a}\right)$, em que a representa a distância entre o objeto e a imagem e e representa a distância entre as duas posições da lente para as quais foram obtidas imagens nítidas.

Para concluir

4. Resposta pessoal. A confiabilidade do método está relacionada à confiabilidade das medições realizadas durante o experimento.

1 **Quais foram as principais dificuldades que seu grupo teve ao realizar as medições pelos dois métodos?**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **Qual dos dois métodos apresentou o menor erro nessas medições? Justifiquem.**

3 **Os valores calculados pelos dois métodos foram iguais? Qual é a diferença percentual entre uma medida e a outra?** Não. Os estudantes precisam calcular a razão entre os valores obtidos e compará-los.

4 **Qual dos dois métodos pode ser considerado mais confiável? Façam uma pesquisa para descobrir. Discutam com os outros grupos o resultado das pesquisas e o que torna um método mais confiável que outro.**

5 **Uma aproximação utilizada na abordagem desse experimento é considerar a lente delgada, desprezando sua espessura. Pesquisem a abordagem utilizada quando a lente é espessa.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 **Pesquisem outros métodos experimentais de determinação da distância focal de uma lente. Elaborem um cartaz com o resumo dessa pesquisa e divulguem-no para a turma.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2. Resposta pessoal. Os estudantes deverão comparar as medidas obtidas e identificar a que apresentou menor erro, elaborando justificativas para isso. Sugere-se também procurar na literatura a comparação entre esses métodos para reforçar essa conclusão.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

1 **A foto a seguir apresenta uma propriedade da luz.**

Christian Bertrand/Shutterstock.com/ID/BR

1. a) Trata-se da independência de propagação dos raios de luz. Vários raios independentes se cruzam e continuam seus caminhos.

Iluminação de um *show* musical em Barcelona, Espanha. Foto de 2015.

a) Cite essa propriedade.

b) Apresente outra situação do cotidiano em que se pode verificá-la. Pode-se ver isso também na interseção entre faróis de carros, por exemplo, que continuam se propagando.

2 **Na frente de alguns veículos, principalmente viaturas de resgate, as palavras são escritas ao contrário, conforme se pode observar nesta foto.**

Luciana Whitaker/Pulsar Imagens

4. d) Esse espelho pode ser usado para aumentar o campo visual observado, pois as imagens formadas são reduzidas. É útil usá-lo em veículos, lojas e entradas de garagens.

Muitas ambulâncias e carros de bombeiros têm palavras escritas ao contrário. Curitiba (PR). Foto de 2015.

Elabore uma hipótese, com base nos conceitos de Óptica que você aprendeu, que justifique a escrita da palavra "AMBULÂNCIA" ao contrário, como vemos na foto.

3 **Existem diversas aplicações para os espelhos esféricos (côncavos e convexos). Em alguns casos, a intenção é aumentar o campo visual; em outros, ampliar as imagens.**

a) Que tipo de espelho pode ser utilizado para aumentar o campo visual? Espelho convexo.

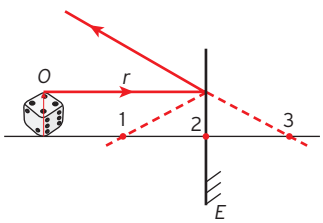
b) Qual é a consequência da utilização do tipo de espelho referido no item **a**? Imagens menores que os objetos.

c) Qual tipo de espelho pode ser escolhido para ampliar imagens? Espelho côncavo.

d) Qual é o efeito da utilização do tipo de espelho referido no item **c**? Para que a imagem seja maior e direita, a pessoa deve estar diante de um espelho côncavo e localizado entre o foco e o vértice.

4 **A figura a seguir representa um objeto diante de um espelho esférico *E*, em que *r* representa um raio notável incidindo no espelho.**

8. a) Como o índice de refração do acrílico é maior que o índice de refração do ar, o raio de luz refratado se aproxima da reta normal.



Setup Bureau/ID/BR

a) Classifique o espelho como côncavo ou convexo; após identificá-lo, represente-o corretamente em seu caderno. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Identifique qual dos pontos da figura representa o foco desse espelho. O foco do espelho é representado pelo ponto **3**.

c) Classifique a imagem formada com relação à natureza da imagem, seu tamanho e orientação. Imagem virtual, menor e direita.

d) Enuncie uma aplicação desse tipo de espelho e compare sua resposta com a de um colega.

5 **Sobre uma mesa estão três objetos de cores diferentes. Quando observados sob a luz branca de uma lâmpada comum, temos: um azul, um vermelho e um branco.** **5. a)** e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) O que ocorre se apenas luz monocromática azul incidir sobre esses objetos? E se a luz azul for substituída por uma vermelha? Substituindo-se a luz monocromática vermelha por uma luz monocromática amarela, que mudanças vão ocorrer?

b) Explique por que ocorrem as mudanças observadas no item **a**.

6 **Um técnico foi incumbido de criar uma iluminação de palco com as cores da bandeira brasileira. No entanto, ele tem apenas holofotes de três cores: azul, verde e vermelho. Explique o que ele pode fazer para realizar seu trabalho.**

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 **Leia as afirmações a seguir e, no caderno, marque V para as verdadeiras e F para as falsas.** **a)** V; **b)** F; **c)** V; **d)** F; **e)** F.

a) A refração da luz decorre da mudança na velocidade de propagação quando a luz passa de um meio para outro.

b) Quanto mais refringente for um meio, maior será a velocidade de propagação da luz em seu interior.

c) Um raio de luz refratado tem intensidade menor que o raio de luz incidente.

d) Na refração da luz, se o ângulo de incidência for duplicado, o ângulo de refração também será multiplicado por 2.

e) O fenômeno da refração da luz é a causa da formação de imagens em espelhos.

8 **Um feixe de luz que vem se propagando no ar incide em uma placa de acrílico com um ângulo de 45° em relação à reta normal. O índice de refração do ar é igual a 1,0 e o índice de refração do acrílico é igual a 1,4.**

a) Sem realizar nenhum cálculo, responda se o raio que se desloca no acrílico se aproxima ou se afasta da reta normal.

b) Calcule o ângulo de refração. Dado: $\theta_2 = 30°$

$$\text{sen } 45° = \frac{\sqrt{2}}{2} \cong 0{,}7$$

2. A palavra "AMBULÂNCIA" aparece escrita ao contrário para que possa ser lida pelo retrovisor pelos motoristas dos carros à frente, já que a imagem que se produz em um espelho é enantiomorfa, ou seja, tem a direita e a esquerda invertidas em relação ao objeto.

Não escreva no livro.

1. As ondas na superfície aquática da foto têm forma circular a partir de uma fonte de oscilação central.

2. A folha realizaria um movimento de sobe e desce, mas permaneceria no mesmo ponto da direção horizontal.

INTRODUÇÃO ÀS ONDAS

3. As ondas retratadas nessa foto têm um ponto de origem e se propagam se afastando desse ponto. As ondas do mar apresentam a mesma forma entre si, mas com tamanhos diferentes, e o ponto de origem não pode ser determinado.

PULSO E ONDA

Os fenômenos ondulatórios são comportamentos que ocorrem em ondas e que estão presentes no cotidiano sob diversas formas.

Por exemplo, podemos observá-los nas ondas formadas em um lago ou até mesmo em uma poça de água parada ao se atirar uma pedra nessas superfícies.

Também há a presença de ondulações nos movimentos vibratórios da percussão de uma corda, como ocorre em determinados instrumentos musicais; no movimento de vaivém em torno de uma posição de equilíbrio que uma mola deformada passa a realizar; ou, ainda, nos variados sons que os animais percebem se propagando pelo ar e por outros meios materiais.

Finalmente, há as ondas eletromagnéticas que nossos olhos conseguem perceber e que chamamos de luz visível, e as outras ondas eletromagnéticas não visíveis aos seres humanos, usadas no compartilhamento de informações pela internet e na recepção e transmissão de sinais pelo rádio e pela televisão.

O primeiro passo para entender o que são ondas e suas principais propriedades é definir e analisar o elemento fundamental de uma perturbação ou oscilação: o pulso.

PARA COMEÇAR

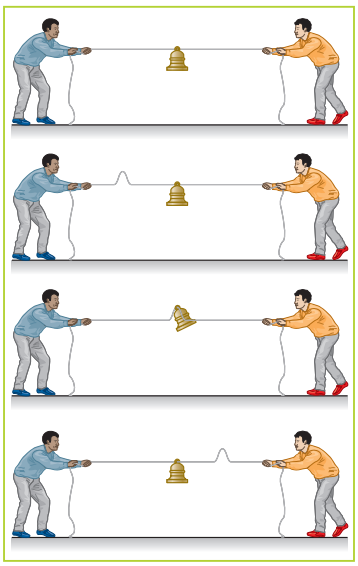
1. Observe a foto e descreva a forma das ondas na superfície aquática.
2. Caso houvesse uma folha de árvore flutuando nessa região da superfície da água, que tipo de movimento a folha realizaria com o passar das ondas sob ela?
3. Que semelhança você percebe entre as ondas retratadas nessa foto e aquelas que se formam no mar?

Montri Photos/Shutterstock.com/ID/BR

Ondas concêntricas formadas em uma superfície aquática. Esse tipo de onda é facilmente percebido quando um objeto pequeno é jogado em águas tranquilas.

Representações sem proporção de tamanho.

Adilson Secco/ID/BR



Situação 1. Durante a propagação de um pulso, ocorre transferência de energia sem transporte de matéria.

Pulso

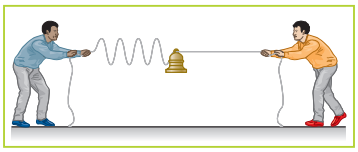
Nas ilustrações da situação **1**, duas pessoas seguram uma corda na qual há um sino muito leve pendurado na posição central. Inicialmente, a corda está esticada. Provocando-se uma perturbação em uma das extremidades da corda, essa perturbação se propaga, passa pelo sino e o faz badalar. Após badalar, o sino retorna à posição inicial, enquanto a perturbação continua ao longo da corda.

Esse exemplo mostra que é a energia que se propaga pela corda, já que esta volta à posição inicial após oscilar em torno de sua posição de repouso. É por essa razão que o sino também volta à posição inicial, enquanto a propagação continua até atingir a outra extremidade da corda. A perturbação causada e que se propagou na corda é conhecida como **pulso**, assim definido:

> Em um meio material, **pulso** é toda perturbação gerada em um ponto do meio, perturbação esta que se propaga e se transmite aos demais pontos. Na propagação de um pulso, há transporte de energia, mas não há transporte de matéria.

A propagação de energia que gera o pulso envolve transferência de energia cinética e potencial (tanto gravitacional como elástica) entre os pontos da corda. A origem dessa energia está no movimento oscilatório da mão da pessoa (situação **1**) que faz os pontos da corda oscilarem para cima e para baixo, resultando apenas em propagação de energia e não de matéria.

Adilson Secco/ID/BR



Situação 2. Com sucessivos pulsos, forma-se uma onda.

Onda

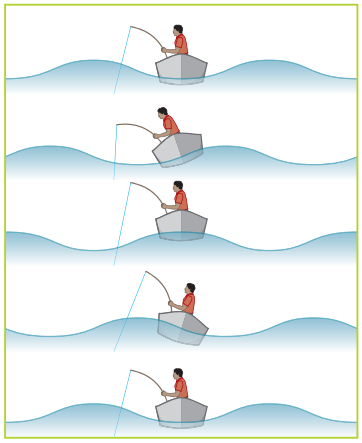
Considere agora a produção de pulsos em sequência que apresentam certa periodicidade (situação **2**). A energia fornecida pela fonte é transportada pelos pulsos e se propaga pelo meio em certo intervalo de tempo. Definimos uma **onda** assim:

> **Onda** é toda sequência periódica de pulsos na qual há transporte de energia sem haver transporte de matéria.

Outro exemplo de fenômeno ondulatório é observado quando se bate com a mão, seguidas vezes, em uma superfície de água parada.

Ao se produzir uma vibração como essa na superfície de um lago, por exemplo, instaura-se uma perturbação que se propaga por todo o lago. Essa perturbação está associada ao transporte de energia pela água, que se movimenta verticalmente. Por isso um barco que está no caminho das ondas ganha energia e se desloca para cima e para baixo, mas não se move na direção em que a perturbação se propaga, como mostram as figuras da situação **3**.

Adilson Secco/ID/BR



Situação 3. Como a onda transporta energia, e não matéria, à medida que uma onda passa por um barco ancorado, ele se move para cima e para baixo enquanto a onda passa.

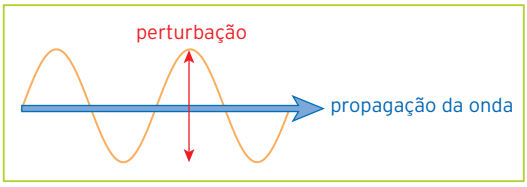
CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS

As ondas podem ser classificadas de acordo com sua forma e sua natureza.

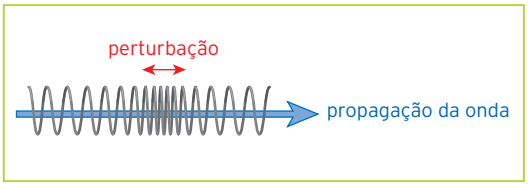
Forma das ondas

Quanto à forma, as ondas podem ser **transversais** ou **longitudinais**.

Representação sem proporção de tamanho.



Onda transversal: Esse tipo de onda se forma quando a direção de perturbação no meio é perpendicular à direção de propagação da onda. Exemplo: vibração na vertical em uma corda na horizontal.



Onda longitudinal: Esse tipo de onda se forma quando a perturbação no meio tem a mesma direção da propagação da onda. Exemplo: vibração na horizontal em uma mola também na horizontal.

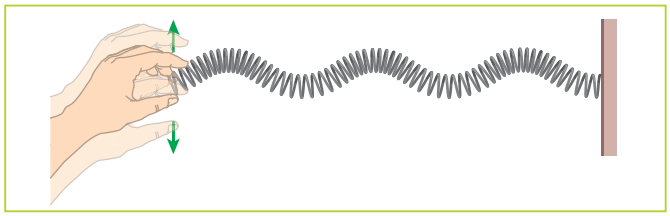
Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR

Não escreva no livro.

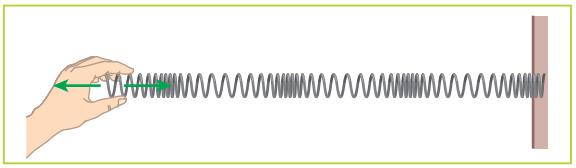
Em uma mola helicoidal, por exemplo, podem-se gerar ondas tanto transversais quanto longitudinais, conforme mostram estas figuras:

Representações sem proporção de tamanho.

Ilustrações: Adilson Secco/ID/BR



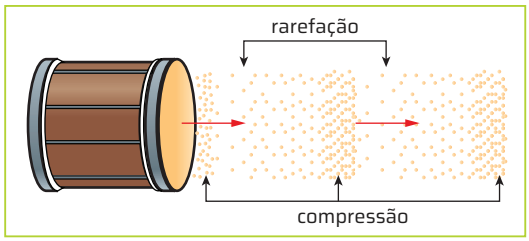
Ondas transversais produzidas em uma mola helicoidal. Sacudindo rapidamente a mola para baixo e para cima, formam-se ondas transversais.



Ondas longitudinais produzidas em uma mola helicoidal. Empurrando e puxando rapidamente a extremidade livre da mola com determinada frequência, formam-se regiões de compressão e rarefação que percorrem a mola em ondas longitudinais.

O exemplo mais conhecido de onda longitudinal é o das ondas sonoras. Uma onda sonora é gerada por vibrações mecânicas em um meio material. Ao provocar compressões e rarefações no ar do ambiente, essa onda se propaga de modo longitudinal.

Setup Bureau/ID/BR

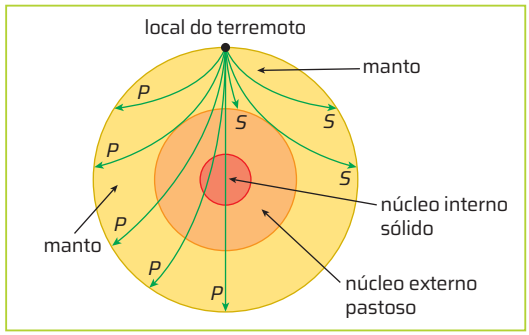


Representação sem proporção de tamanho.

Compressão e rarefação do ar pela propagação longitudinal do som após batidas em um tambor. Ilustração em cores-fantasia.

Os terremotos, por exemplo, causam ondas que se espalham pela crosta terrestre. Essas ondas podem ser longitudinais ou transversais, dependendo do agente que as causou. As longitudinais, chamadas *P* (primárias), podem se propagar tanto nas porções sólidas quanto nas parcialmente fundidas (pastosas) da parte interna da Terra e assemelham-se às ondas do mar (que "puxam e empurram" o que estiver em contato com elas). Já as ondas transversais, chamadas *S* (secundárias), só se propagam na parte sólida da crosta e no manto parcialmente fundido. A figura a seguir dá uma ideia da propagação dessas ondas.

Setup Bureau/ID/BR



Esquema de ondas geradas por terremoto. As ondas *S* propagam-se transversalmente e apenas nas partes sólidas da Terra; as ondas *P* propagam-se longitudinalmente tanto nas partes fundidas como nas partes sólidas da crosta. Cores-fantasia.

Ondas do mar

As ondas do mar são resultado de mecanismos diferentes dos que dão origem às ondas em um lago, como as da foto de abertura deste capítulo.

No mar, o agente causador da vibração é o ar em movimento. O ar entra em contato com as partículas de água na superfície dos oceanos, fricciona-as e transfere-lhes energia, causando um movimento elíptico que gera ondulações. Esse movimento elíptico é uma combinação de ondas longitudinais (para a frente e para trás) e transversais (para cima e para baixo).

No entanto, é preciso certo critério para chamar de "ondas" as ondas do mar. Uma vez que a principal característica de uma onda é a transferência de energia sem transporte de matéria, deve-se verificar a região em que as perturbações ocorrem. Caso exista transporte de matéria (como na arrebentação, por exemplo), o conceito de onda não pode ser aplicado.

Natureza das ondas

Quanto à natureza, os tipos de onda mais comuns no dia a dia são as ondas **mecânicas** e as **eletromagnéticas**.

As **ondas mecânicas** propagam-se somente através de um meio material, como é o caso da onda em uma corda, da onda sonora, da onda em um meio líquido, das ondas *P* e *S* que se propagam depois de um terremoto, entre outras. As **ondas eletromagnéticas** podem se propagar em um meio material e também no vácuo. É o caso das ondas de rádio, das ondas da luz visível, das micro-ondas, entre outras.

A propagação de ondas eletromagnéticas envolve perturbações de campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si e ambos perpendiculares à direção de propagação de energia, por isso são classificadas como ondas transversais. Um estudo mais detalhado das ondas eletromagnéticas será realizado em capítulos posteriores.

ROTEIRO

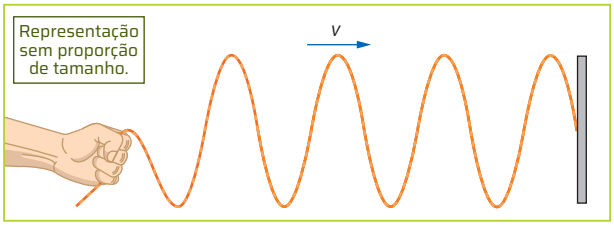
1. É correto aplicar o conceito estrito de onda às ondas que os surfistas pegam para surfar?

1. Sim, porém apenas em águas profundas; quando elas quebram, deixam de se comportar como ondas por causa da diferença de profundidade.

Não escreva no livro.

Características de uma onda

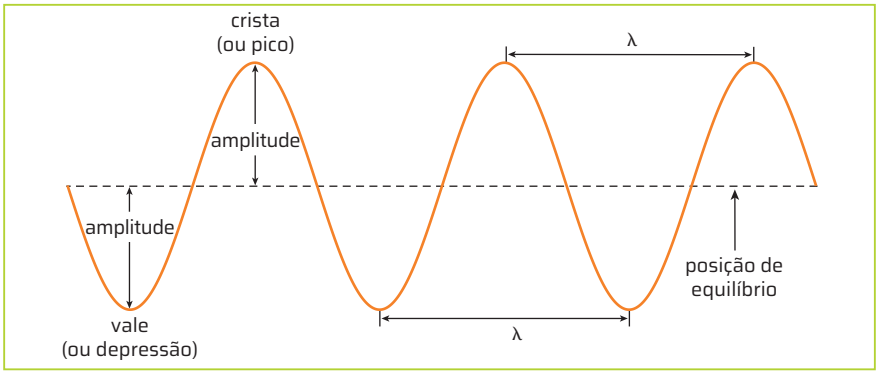
Vamos voltar ao exemplo da propagação de ondas em uma corda geradas por uma pessoa que provoca sucessivas e repetitivas perturbações nesse objeto.



Adilson Secco/ID/BR

Representação de ondas que se propagam em uma corda com uma das extremidades fixa a um suporte na vertical. Nesse caso, o pulso é gerado continuamente pela mão de uma pessoa.

O movimento transmitido ao ponto em que a mão está agindo será transmitido aos demais pontos da corda. Esse movimento é do tipo oscilatório, de cima para baixo e de baixo para cima, em torno de uma **posição de equilíbrio**. É em função dessa posição de equilíbrio que se definem as principais características de uma onda, expostas a seguir.

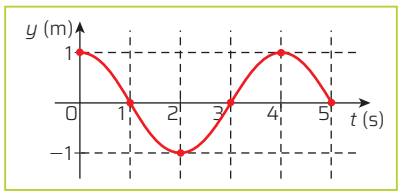


Adilson Secco/ID/BR

Esquema com as principais propriedades de uma onda.

Fonte de pesquisa: Carvalho, R. de. As propriedades das ondas. *A Física do* Surf, Instituto de Física UFRGS, 2002. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Roussel/prop_c_menu.html. Acesso em: 11 out. 2024.

- **Crista:** Corresponde ao ponto mais alto da corda em relação à linha de equilíbrio.
- **Vale:** Corresponde ao ponto mais baixo da corda em relação à linha de equilíbrio.
- **Amplitude:** É o máximo deslocamento que um ponto de vibração da onda pode ter em relação à posição de equilíbrio (costuma ser representada pela letra *A*). Isso significa que a amplitude é o deslocamento máximo, em módulo, entre a posição de equilíbrio e uma crista ou um vale. Deve-se ressaltar que a amplitude da onda está diretamente relacionada com a energia que ela transporta: quanto maior for a energia transportada pela onda, maior será sua amplitude.
- **Comprimento de onda:** É uma grandeza – geralmente representada pela letra grega λ (lambda) – que expressa à distância entre dois pontos em fase, correspondentes a um ciclo completo de oscilação. O comprimento de onda pode ser medido pela distância entre dois pontos equivalentes da onda, como a distância entre duas cristas ou entre dois vales (esquema acima).
- **Período:** É o intervalo de tempo que uma onda leva para realizar um ciclo completo.
- **Frequência:** Corresponde ao número de ciclos completos que ocorrem em determinado intervalo de tempo. A frequência é o inverso do período.



Setup Bureau/ID/BR

Nessa onda, o período vale 4 s.

A amplitude, o período e a frequência de uma onda são determinados pela oscilação da fonte que gera essa onda.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Ondas gravitacionais e sua detecção

Além das ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas, também existem as ondas gravitacionais e as ondas de matéria. As ondas gravitacionais são perturbações causadas na curvatura do espaço-tempo que se propagam com a velocidade da luz. Assim como uma onda é formada na água quando uma pedra é lançada, as ondas gravitacionais são formadas por objetos muito massivos em movimento acelerado no espaço, como colisões de buracos negros ou estrelas de nêutrons. Nessa analogia, a água representa o espaço-tempo, e a pedra, os objetos muito massivos.

Essas ondas foram previstas na teoria da relatividade geral de Albert Einstein em 1915, mas só foram detectadas em 2015. Nesses cem anos, cientistas questionaram se realmente essas ondas poderiam transportar energia significativa para serem detectadas.

Por outro lado, as dúvidas sobre as ondas gravitacionais impulsionaram outros cientistas na busca pela consolidação dessa teoria e por avanços tecnológicos para a detecção desse fenômeno, o que resultou no LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro *Laser*), localizado na Califórnia, Estados Unidos.

1. **Pesquise qual foi o impacto da detecção das ondas gravitacionais para o mundo acadêmico.**

1. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes comentem a confirmação das previsões da teoria da relatividade geral e da possibilidade de investigar o espaço por meio das ondas gravitacionais. Além disso, foi importante por promover colaborações internacionais.

Não escreva no livro.

Velocidade de uma onda

A **velocidade de propagação das ondas mecânicas** depende apenas das propriedades do meio em que se propagam.

Se o período (T) e a frequência (f) do movimento da fonte que gera a onda forem constantes, a velocidade de propagação (v), o período e a frequência da onda serão constantes. A perturbação leva um intervalo de tempo correspondente ao período T para percorrer uma distância que corresponde ao comprimento de onda λ. Pela expressão da velocidade, obtém-se uma relação entre o comprimento de onda e o período:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{v = \frac{\lambda}{T}}$$

Como a frequência (f) é o inverso do período (T), a velocidade (v) pode ser relacionada à frequência pela **equação fundamental da ondulatória**:

$$\boxed{v = \lambda \cdot f}$$

No Sistema Internacional de unidades de medida, a velocidade v é dada em m/s, sendo o comprimento de onda λ dado em metro, e a frequência f, em hertz.

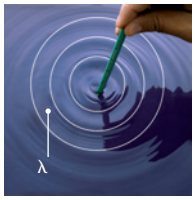
Considerando que a velocidade de uma onda é constante, temos como consequência que λ e f são inversamente proporcionais, o que é verificado pela equação fundamental da ondulatória.

É importante observar que a velocidade de propagação de uma onda corresponde à velocidade de propagação das perturbações no meio, e não à velocidade da movimentação dos pontos do meio, que é variável, pois estes realizam um movimento oscilatório.

Tipos de onda bidimensional

As ondas bidimensionais se propagam em duas direções e podem ser de dois tipos: circulares ou retas.

- **Ondas circulares:** São ondas que se propagam na direção radial em relação ao ponto em que a onda está sendo gerada.
- **Ondas retas:** São ondas que se propagam na direção paralela ao gerador de ondas. Seu sentido é de afastamento em relação a esse gerador.



Sérgio Dotta Jr./The Next/ID/BR

Foto de uma onda circular com o comprimento λ indicado na imagem.

Setup Bureau/ID/BR

Nessa foto, é representado o comprimento λ de uma onda reta.

PARA EXPLORAR

Acesse

Ondas

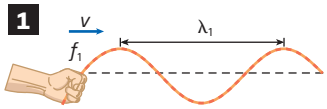
Nesse simulador do projeto PhET Simulações Interativas, da Universidade do Colorado em Boulder, é possível simular ondas na água e ondas sonoras, variando a frequência e a amplitude, para analisar como as características das ondas se relacionam.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt_BR. Acesso em: 30 set. 2024.

ROTEIRO

2. Observe as imagens a seguir e responda: Qual é a relação entre o comprimento de onda da imagem 2 em função do comprimento de onda da onda da imagem 1?

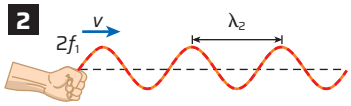
1



Setup Bureau/ID/BR

Propagação de uma onda em uma corda, com frequência f_1 e comprimento de onda λ_1.

2



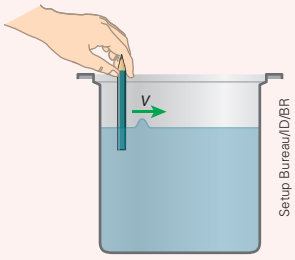
Setup Bureau/ID/BR

Propagação de uma onda em uma corda. Nesse exemplo, f_2 é o dobro de f_1.

O comprimento de onda da imagem 2 é a metade do comprimento de onda da imagem 1.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Em dado experimento, a cada 0,5 s, uma pessoa coloca e tira um lápis da água que se encontra em um recipiente retangular, provocando perturbações na superfície do líquido, conforme a figura ao lado.



Setup Bureau/ID/BR

a) Determine a frequência da fonte e das ondas geradas nesse movimento.

b) Sabendo que as ondas na água se propagam com velocidade de 20 cm/s, calcule o comprimento de onda.

Resolução

a) O período (T) do movimento do lápis é 0,5 s.

A frequência (f) da fonte é o inverso do período, então $f = 2$ Hz. Como a frequência das ondas é igual à frequência da fonte, as ondas também têm frequência $f = 2$ Hz.

b) Aplicando a equação fundamental da ondulatória, obtemos o comprimento de onda:

$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 20 = \lambda \cdot 2 \Rightarrow \lambda = 10$ cm

Fazendo onda

Um exemplo de ondas mecânicas são as ondas que se formam na superfície de um líquido, como a água. Esse tipo de onda, no geral, é fácil de ser visualizado e pode ser utilizado para estudar a propagação das ondas mecânicas. Mas o que será que acontece com um objeto que está flutuando na água quando uma onda se forma?

Nesta prática, vamos investigar essa e outras perguntas sobre a propagação de ondas na água.

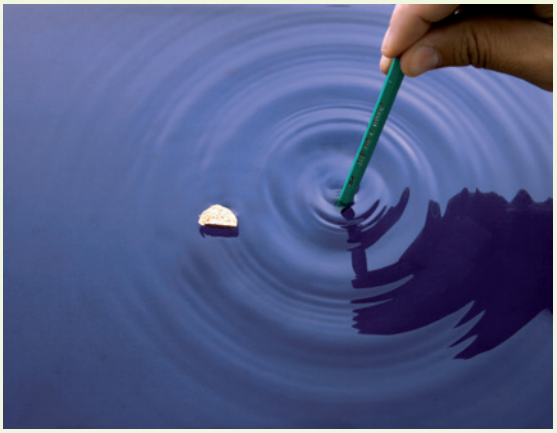
Material

- recipiente retangular com água
- pedaço de cortiça ou um pedaço de isopor
- lápis e régua

Como fazer

PARTE A – Produzindo ondas na água com um lápis

1. Com a extremidade do lápis, provoque perturbações periódicas e suaves em um mesmo ponto da superfície da água.
2. Observe e faça um esquema do formato das ondas geradas.
3. Coloque o pedaço de cortiça na superfície da água e verifique seu movimento quando as cristas e os vales das ondas passam por ele.
4. Aumente a frequência de vibração no ponto da água e observe o que acontece com as ondas.
5. Verifique se a frequência do movimento da cortiça foi alterada com o aumento da frequência de vibração das ondas.



Sérgio Dotta Jr./ID/BR

PARTE B – Produzindo ondas na água com uma régua

1. Deixe a cortiça flutuando. Com a extremidade da largura da régua paralela à superfície, provoque perturbações periódicas na água, batendo levemente a régua na superfície do líquido.
2. Observe e faça um esquema do formato das ondas geradas.

Sérgio Dotta Jr./ID/BR

Para concluir

1. As linhas de onda são diferentes nos dois esquemas porque as ondas foram produzidas por fontes diferentes: uma puntiforme (a ponta do lápis) e a outra associada a um segmento de reta (a régua).

1 Compare os esquemas feitos na parte **A** e na parte **B**. Explique por que as linhas de onda têm formas diferentes nos dois casos.

2 Descreva o movimento do pedaço de cortiça na superfície da água. A frequência de vibração do movimento da cortiça é maior, menor ou igual em relação à frequência de vibração da fonte?

A cortiça oscilará verticalmente com a mesma frequência da fonte.

3 Ao direcionar um ventilador obliquamente à superfície da água, pode-se perceber a formação de ondas. Identifique como o agente físico atua na formação dessas ondas. Compare a formação dessas ondas com aquelas que ocorrem no mar.

Um ventilador em funcionamento, direcionado obliquamente à superfície da água, atua perturbando o meio, oblíqua e periodicamente, visto que o movimento das hélices ocorre com frequência constante.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

TERREMOTOS: EVENTOS RAROS NO BRASIL

[O que são abalos sísmicos?]

São tremores que podem ocorrer tanto em terra quanto no mar. Podem ser naturais ou induzidos [pela ação humana]. Normalmente são de curta duração (alguns segundos), mas de intensidade imprevisível.

As movimentações são oriundas de colisões de grandes massas rochosas, que geram tremores ou abalos causados pela liberação repentina da energia acumulada, durante um determinado intervalo de tempo, que podem ser conhecidos como terremoto, quando de origem continental, ou maremoto, quando associado às placas oceânicas. Os efeitos destes eventos ocasionam prejuízos financeiros com destruição [das] edificações e até perdas de vida. Como exemplo de sismos localizados, um de intensidade 4,9°, na escala logarítmica de Richter, que varia de 0 a 9, ocorreu na comunidade rural de Caraíbas, em Itacarambi, Norte de Minas Gerais, no ano de 2007, provocando, além de danos materiais, o registro da primeira morte no Brasil por este tipo de evento.

[Como ocorrem?]

Para entender fenômenos desta natureza é preciso conhecer alguns princípios geológicos básicos da tectônica de placas e da deriva continental.

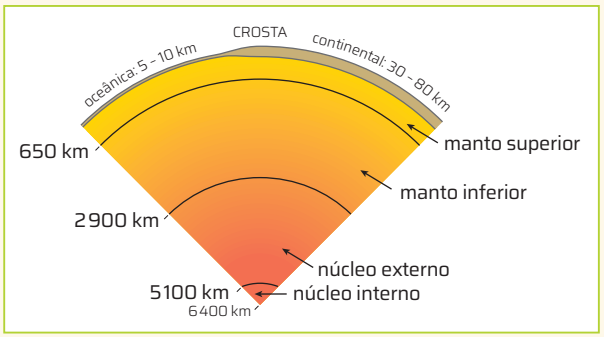
O planeta Terra é subdividido internamente, de uma maneira simplificada, da superfície ao seu centro, em crostas oceânica e continental[,] formadoras da litosfera terrestre, mantos superior e inferior e núcleos externo e interno (Figura 1).

As placas continentais e as oceânicas estão direta ou indiretamente conectadas e se deslocam sobre o manto magmático com características fluidas. Estas se movem a uma velocidade que varia de 2 a 18 cm por ano; em termos análogos, comparam-se a barcos amarrados, boiando sobre um "mar de magma", por isto, toda ação corresponde a uma reação. As placas continentais e oceânicas, além de apresentarem uma deriva (movimentos horizontais), possuem deslocamentos verticais e subverticais manifestos pelas celas de convecção do magma e influenciadas também pelas marés terrestres (ação gravitacional, principalmente pela Lua-Terra).

[...]

Os abalos sísmicos de maior intensidade e frequência estão na periferia das placas tectônicas.

A liberação da energia que provoca os abalos, que podem ser de maior ou menor intensidade, é ocasionada quando o atrito entre as placas é rompido gerando a propagação de ondas sísmicas, que se deslocam com velocidade aproximada de 25 000 km por hora, com variações que dependem dos tipos de rochas e solos ocorrentes na região afetada.



Setup Bureau/ID/BR

Figura 1: Estruturação simplificada do interior da Terra. [...]

Fonte de pesquisa: Press, F. *et al. Para entender a Terra*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. p. 32.

O Brasil se situa numa posição privilegiada, ou seja, na porção central da Placa Tectônica Sul-Americana, onde os eventos sísmicos são de menor intensidade e frequência [...].

[...]

Os abalos sísmicos de menor magnitude[,] 2° a 4°[,] ocorrem diariamente no Brasil, porém são imperceptíveis pelo ser humano, mas são detectados em média 10 tremores por dia, através dos sismógrafos [...].

Hansen, M. A. F. *et al. Terremoto atinge estados do Sudeste e Sul do Brasil no dia 22 de abril de 2008*. São José dos Campos: Inpe, 2009. p. 3-4, 8. Disponível em: http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/08.24.13.28/doc/publicacao.pdf. Acesso em: 30 set. 2024.

Para discutir

1. a) A escala Richter se inicia no grau zero e é infinita (teoricamente); no entanto, nunca foi registrado um terremoto igual ou superior a 10 graus.
b) A principal característica é a amplitude das ondas.

1 Uma das maneiras de quantificar a intensidade de terremotos é utilizar a escala Richter.

a) Descreva quais são os valores máximo e mínimo dessa escala.

b) Identifique a principal característica das ondas considerada nessa escala.

2 Explique como ocorrem os terremotos e maremotos.

2. Os terremotos e maremotos são oriundos de colisões de grandes massas rochosas, que geram tremores ou abalos causados pela liberação repentina de energia acumulada, durante determinado intervalo de tempo.

3 De acordo com o que você aprendeu, há razões para que a população tenha receio de que ocorram terremotos de grande magnitude no Brasil? Justifique.

Não há razões para a população ter receio de grandes terremotos, porque o Brasil está situado em uma porção central da placa tectônica.

4 Faça uma pesquisa para saber que medidas devem ser tomadas para evitar grandes danos à população em caso de terremoto.

Resposta pessoal. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

AÇÃO E CIDADANIA

Poluição sonora

O controle dos níveis de ruído nos ambientes é uma preocupação da área da saúde. Dores de cabeça, irritação e até mesmo perdas auditivas podem ser consequências da poluição sonora, que se tornou crime ambiental com a Lei Federal n. 9605/1998.

O decibel é a unidade de medida da intensidade sonora. Essa grandeza física quantifica a sensação obtida pela orelha em decorrência de uma onda sonora.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece que é seguro ouvir música até 60 dB por tempo ilimitado, porém, a partir de 80 dB e por períodos prolongados, já pode haver prejuízos para a saúde auditiva. Em uma conversa em volume normal, por exemplo, o nível sonoro é de cerca de 60 dB, e o som de uma campainha é de 80 dB, intensidade sonora que já demanda certo cuidado quanto ao tempo de exposição.

Fonte de pesquisa: World Health Organization (WHO). Deafness and hearing loss: safe listening. *WHO*, [*s. l.*], 29 maio 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/deafness-and-hearing-loss-safe-listening. Acesso em: 30 set. 2024.

1. Você sabe qual é a intensidade sonora com que você costuma escutar música? Você já se preocupou com a poluição sonora dos locais que frequenta ou mesmo da cidade onde vive?

ONDAS SONORAS

As ondas mecânicas que propiciam o fenômeno da audição nos seres vivos são chamadas **ondas sonoras**. As ondas sonoras se propagam em diversos meios, com exceção do vácuo.

Os sons são percebidos de maneiras distintas pelos diferentes seres vivos. Cada espécie animal é capaz de perceber sons dentro de determinada faixa de frequência, denominada **intervalo audível**. O intervalo audível dos morcegos, por exemplo, está entre as frequências de 1000 Hz a 120000 Hz. Nos gatos, esse intervalo está entre 60 Hz a 65000 Hz e, nos golfinhos, entre as frequências de 10000 Hz a 240000 Hz.

Infrassom e ultrassom

As ondas mecânicas cujas frequências estão fora do intervalo audível humano são denominadas **infrassons** (frequências abaixo do limite mínimo audível) e **ultrassons** (frequências acima do limite máximo audível).

Estudos abrangentes sobre a população mundial mostram que a maioria das pessoas ouve sons aproximadamente dentro da faixa de frequência de 20 Hz a 20000 Hz. Sons abaixo de 20 Hz não são captados pelo ser humano, mas o são por alguns animais, como elefantes, aranhas e cães. Sons acima de 20000 Hz não são captados pelo ser humano, mas podem ser captados por alguns animais, como morcegos e golfinhos.

1. Respostas pessoais. É comum que os estudantes comentem que escutam música em volume alto e que não se preocupam com os efeitos que a poluição sonora pode causar à saúde a longo prazo, desconhecendo-os. Ao trabalhar esta questão, é importante conscientizá-los do impacto do som alto na saúde auditiva e mental.

Velocidade das ondas sonoras

A velocidade das ondas sonoras depende das características do meio em que se propagam. Entre essas características, destacam-se o tipo de substância que compõe o meio de propagação, sua temperatura, sua densidade e a altitude.

No caso do ar, por exemplo, à temperatura de 15 °C, a velocidade do som é aproximadamente 340 m/s. De acordo com o modelo cinético-molecular dos gases, quanto maior a temperatura, maior a velocidade média das partículas. Assim, se as moléculas do ar tiverem maior velocidade média, colidirão mais vezes umas com as outras, facilitando a propagação das ondas sonoras nesse meio.

As tabelas a seguir mostram as diferenças no comportamento da velocidade das ondas sonoras com base em três critérios: meios diversos; um único meio (o ar), em diferentes temperaturas; e um único meio (o ar), em diferentes altitudes.

VELOCIDADE (m/s) DAS ONDAS SONORAS EM DIFERENTES MEIOS (0 °C, 1 atm)

Ar	Hélio (He)	Hidrogênio (H_2)	Água	Borracha	Chumbo (Pb)	Aço
331	972	1280	1400	54	1300	5940

VELOCIDADE (m/s) DAS ONDAS SONORAS NO AR EM DIFERENTES TEMPERATURAS (1 atm)

−10 °C	−5 °C	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
325,4	328,4	331,4	334,4	337,4	340,4	343,4	346,4	349,4

VELOCIDADE (m/s) DAS ONDAS SONORAS NO AR EM DIFERENTES ALTITUDES (m)

0 (nível do mar)	1600 m	3200 m	4700 m	9300 m	13900 m	16500 m
343	335	329	323	304	295	295

ROTEIRO

3. Quando se está parado em uma estação de trem ou de metrô, é possível ouvir um zumbido estridente trazido pelos trilhos quando o trem se aproxima da estação. No entanto, o trem só é ouvido diretamente segundos depois que os zumbidos são percebidos. Como explicar esse fenômeno?

3. Isso ocorre porque a velocidade das ondas sonoras depende do meio em que elas se propagam. Como a velocidade do som nos trilhos do trem é maior que a velocidade do som no ar, ouvimos antes a aproximação do trem pelos trilhos.

Não escreva no livro.

QUALIDADES FISIOLÓGICAS DO SOM

O ser humano é capaz de identificar certas características dos sons que ouve. Entre essas características, denominadas **qualidades fisiológicas do som**, estão a altura e a intensidade.

Altura do som

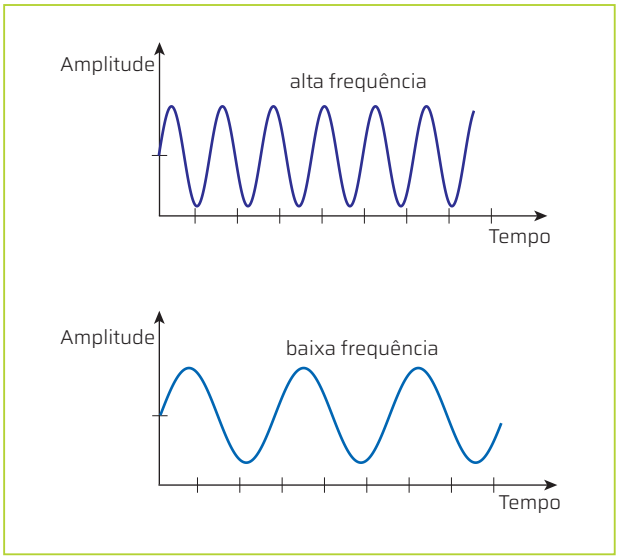
A comparação entre os sons de diferentes frequências permite que eles sejam classificados como sons de alta frequência, comumente denominados **sons agudos**, e sons de baixa frequência, geralmente chamados **sons graves**. Essa classificação decorre da comparação entre as frequências de dois sons distintos, de modo que aquele de maior frequência será o agudo, e aquele de menor frequência será o grave. Essa comparação pela frequência é o que denominamos **altura do som**.

Como é feita por comparação, a classificação da altura de um som é relativa, dependendo do som referencial que se adota. Por isso, não há um limite definido entre as duas classificações (som grave e som agudo).

Na linguagem cotidiana, é comum o uso das expressões "som grosso", para designar sons graves, e "som fino", para designar sons agudos. Na linguagem musical, os **tons graves** recebem a denominação de **baixos**, enquanto os **tons agudos** são chamados **altos**.

Os gráficos a seguir representam duas ondas sonoras se propagando em um meio, como o ar, por exemplo.

Ilustrações: ID/BR



Os dois sons apresentam a mesma amplitude, mas em diferentes frequências. Comparando as duas representações, podemos classificar o primeiro som como agudo e o segundo como grave.

Intensidade do som

A intensidade é uma qualidade do som associada à energia transportada pela onda sonora, que é transmitida a certa região do espaço em certo intervalo de tempo.

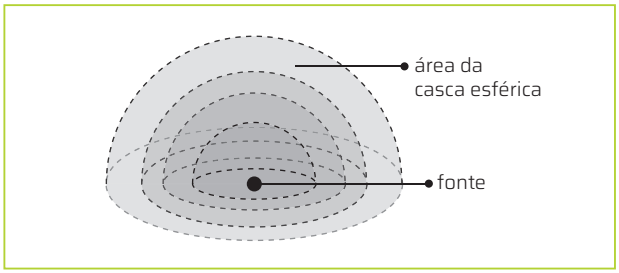
De acordo com a intensidade, os sons podem ser classificados como muito intensos, comumente chamados **sons fortes**, ou pouco intensos, geralmente denominados **sons fracos**.

Quando determinada fonte sonora está em funcionamento, certa quantidade de energia é transferida pela fonte para as ondas geradas. Quanto maior a quantidade de energia transferida pela fonte a cada unidade de tempo – ou seja, quanto maior a potência dessa fonte –, maior a intensidade das ondas sonoras emitidas por ela. Na linguagem cotidiana, associamos à intensidade sonora o termo "volume". Assim, sons fortes correspondem a um volume alto; sons fracos, a um volume baixo.

A intensidade sonora a ser percebida depende, entre outros fatores, da distância a que o ouvinte se encontrar da fonte emissora.

Considere uma fonte emitindo ondas sonoras em todas as direções a seu redor, de tal maneira que as frentes de onda sejam esféricas. À medida que as frentes de onda se distanciam da fonte, avançando no espaço ao redor, as esferas formadas pelas frentes de onda tornam-se cada vez maiores. A energia transportada por essas frentes de onda se distribui em uma superfície com área cada vez maior, conforme representado na figura a seguir.

ID/BR



As cascas esféricas representam as frentes de onda. Quanto maior a superfície da casca esférica, mais "espalhada" a energia da frente de onda. Assim, à medida que se afasta da fonte, um mesmo "pedacinho da esfera" (mesma área) corresponderá a uma menor quantidade de energia, a cada unidade de tempo.

Assim, quando determinada frente de onda atinge a orelha de uma pessoa, apenas uma parte dessa frente de onda será detectada, de tal maneira que a quantidade de energia recebida pela pessoa, por unidade de área, a cada unidade de tempo, será bem menor que a quantidade de energia emitida originalmente pela fonte. Em outras palavras, a intensidade sonora percebida pela pessoa será menor que a intensidade percebida se ela estivesse mais próxima da fonte.

DE OLHO NO CONCEITO

Frente de onda é a região do espaço em que os pontos de uma onda estão em fase e delimita a região do espaço que a onda já atingiu.

Em uma onda mecânica, a frente de onda é o conjunto de pontos do meio que são alcançados no mesmo instante de tempo pela mesma fase da onda.

FÍSICA E BIOLOGIA

MÚSICA E SURDEZ

Música para surdos

A audição humana é um tema que pode ser mais bem entendido quando estudado de modo interdisciplinar pela Física e pela Biologia. A propagação de ondas mecânicas interage com as estruturas do aparelho auditivo, resultando na sensibilização de receptores nervosos que transmitem impulsos elétricos para o cérebro, onde tais impulsos são interpretados. Mas como proporcionar uma experiência musical a pessoas surdas? O texto a seguir trata um pouco disso.

Música e surdez: uma rápida introdução

[...]

Lembrei que em março deste ano fui convidado por alguns amigos músicos da Orquestra Rock a assistir a um ensaio [...] [e] pude ver que existia uma grande quantidade de surdos assistindo àquele *show*. Num canto do palco ficavam 2 tradutores de Libras, que se revezavam para traduzir simultaneamente tanto o que os artistas diziam para o público como as letras das canções, enquanto eram cantadas pelos integrantes da banda. Fiquei particularmente interessado em observar os grupos de surdos, próximos do palco, que conversavam animadamente entre eles, em Libras, enquanto alguns deles olhavam languidamente para os artistas (obviamente eram fãs) e balançavam o corpo como que numa leve dança surpreendentemente dentro do andamento das canções que não escutavam, mas sentiam, e repetiam em gestos mais brandos e curtos os mesmos gestos que os tradutores de Libras estavam realizando, que eram referentes à letra da música que estava sendo [cantada] pelos artistas. Ou seja, estes fãs surdos estavam cantando as canções [de] que tanto gostavam, não em sons mas em gestos, do mesmo modo que fãs que ouvem balbuciam as letras das músicas que os seus ídolos cantam num *show*.

Alguns músicos da Orquestra Rock depois me disseram que esta prática, de tradução simultânea de *shows* [para] Libras, tem sido comum em diversos *shows*. A canção, que é sem dúvida a forma musical mais importante da música *pop*, é composta por música e letra, normalmente melodia com andamento e tonalidade [regulares], bem como poesia regular, em termos de métrica, rimas, prosódia e significação emotiva, todos sincronizados com os elementos sonoros que compõem a melodia da canção (e que assim acaba tomando emprestado o significado da sua letra). Traduzir a poesia da letra para Libras é uma tarefa relativamente fácil já que ambas [as] formas de comunicação permitem conter significado semântico (definição de objetos, qualidades e ações). Já a música pura, sem letra, como é o caso de uma sinfonia ou de grande parte da produção de música eletrônica *pop*, não tem o respaldo da significação semântica dada pela letra. [...] Neste caso, imagino que a tradução da música pura, sem letra, deva ser relacionada [a] qualidades perceptuais sonoras e cognitivas musicais.

[...]

Então, penso ser possível, até certo ponto, traduzir para Libras informação musical pura, desprovida de letra. Muitos dos estímulos sonoros já são percebidos por outras vias neurais além da audição, como o tato, que é composto de mecanorreceptores (neurônios localizados na pele, especializados em responder a estímulos mecânicos, como pressão, deslocamento e vibração). A audição é processada pelo mesmo princípio, [...] tais sensores estão também dispostos numa região específica das 2 cócleas (localizadas nas 2 orelhas internas), onde o estímulo mecânico provocado pelas ondas acústicas que compõem o som são convertidos em estímulos elétricos dos potenciais de ação neurais que são interpretados pelo cérebro como som. Aprendemos a

Não escreva no livro.

interpretar este estímulo específico como som. O mesmo ocorre com um surdo, através de um fenômeno conhecido como neuroplasticidade, [pelo qual] seu cérebro se adapta e passa a utilizar as áreas ociosas, que normalmente processariam informação sonora (como o córtex auditivo), para processar informação de outros estímulos (como o visual, ou tátil) que pode assim permitir a reinterpretação de um estímulo mecânico cutâneo (provocado pela variação de pressão acústica que [compõe] as ondas sonoras na atmosfera) em som e desse modo em música.

[...]

Fornari, J. Música e surdez: uma rápida introdução. *In*: Fornari, J. Blog *Musicologia na Mídia*. Campinas, 2 dez. 2019. Disponível em: https://www.blogs.unicamp.br/musicologia/2019/12/02/37/. Acesso em: 30 set. 2024.

Alexandre Cassiano/Agência *O Globo*

Intérprete de Libras no palco Sunset, no Rock in Rio 2022. A presença de intérpretes de Libras em eventos como esse permite que as pessoas surdas possam compreender as letras das músicas e também as interações dos artistas com o público, promovendo a acessibilidade e a inclusão.

Conecte as ideias

1 Como as qualidades fisiológicas do som podem ser percebidas pelo ser humano por outros sentidos além da audição?

2 Suponha que em sua cidade haverá um grande evento de música em um espaço aberto. Usando seus conhecimentos sobre a propagação das ondas sonoras, proponha soluções que permitam que surdos possam aproveitar esse evento.

3 Explique em que meios o som pode se propagar e como o sistema auditivo humano recebe as ondas sonoras e as transforma em informação para o cérebro.

4 Pesquise o que é neuroplasticidade e como essa capacidade do cérebro ajuda na adaptação e no desenvolvimento das pessoas surdas.

1. É possível usar o tato para sentir a altura do som, e a visão, para fazer a interpretação do som pela linguagem em Libras, por exemplo. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2. Reservar lugares mais próximos ao palco, para que os surdos possam perceber a vibração sonora e acompanhar no telão a tradução em Libras, entre outras soluções.

3. As ondas sonoras podem se propagar em todos os meios, menos no vácuo. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

4. A neuroplasticidade é a capacidade do sistema nervoso de se adaptar ou de se reorganizar em situações novas. Nos surdos, essa capacidade permite aprimorar outros sentidos, como a visão ou o tato.

4. c) À medida que o nível de ruído aumenta, o tempo total de sono diminui. Isso é válido até os 65 dB, pois, com 75 dB, o tempo de sono aumenta alguns minutos.

1 **Uma estação de rádio FM (de frequência modulada) emite ondas eletromagnéticas de frequência 90 MHz ($90 \cdot 10^6$ Hz). As ondas emitidas pela antena se propagam com velocidade de $3 \cdot 10^8$ m/s.**

a) Quanto à natureza, responda se as ondas de FM emitidas pela rádio são mecânicas ou eletromagnéticas. São ondas eletromagnéticas.

b) Se as ondas de rádio FM fossem emitidas para um satélite em órbita ao redor da Terra, elas se propagariam no vácuo? Sim.

c) Calcule o comprimento das ondas emitidas pela estação de rádio citada no enunciado. 3,33 m

2 **A piscina de um clube tem duas regiões de profundidades diferentes. Uma pessoa que se encontra na parte mais funda provoca perturbações periódicas na água com frequência de 4 Hz e que se deslocam com velocidade de 40 cm/s. Essas ondas vão se propagar até atingir a parte mais rasa da piscina. A velocidade de propagação das ondas na região mais rasa é 20 cm/s.**

a) Calcule o comprimento de onda na região mais funda da piscina. 10 m

b) Determine o comprimento de onda na região mais rasa da piscina. 5 m

3 **A tabela a seguir apresenta o intervalo de tempo máximo, em minuto, durante o qual uma pessoa pode ficar submetida a ruído sem que sejam causados grandes danos à sua saúde.**

Intensidade (dB)	Exposição (min)
91	120
94	60
97	30
103	~8

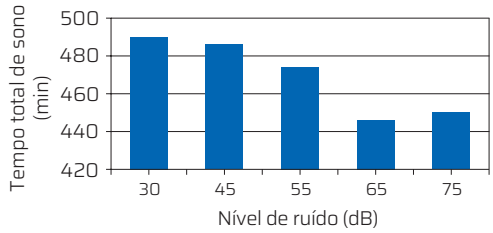
Esses dados representam um alerta para os riscos que o uso excessivo de aparelhos sonoros modernos pode trazer à saúde auditiva das pessoas.

a) Estime o tempo diário, em minutos, durante o qual você utiliza aparelhos sonoros. Considere o tempo que você usa seus fones de ouvido.

b) Compare esse intervalo de tempo médio com os valores apresentados na tabela e avalie se há risco de perda da saúde auditiva para você e os colegas em decorrência do uso excessivo.

4 **O gráfico a seguir mostra dados de uma pesquisa realizada com a intenção de avaliar a interferência do ruído excessivo no sono.**

Tempo total de sono *versus* nível de ruído



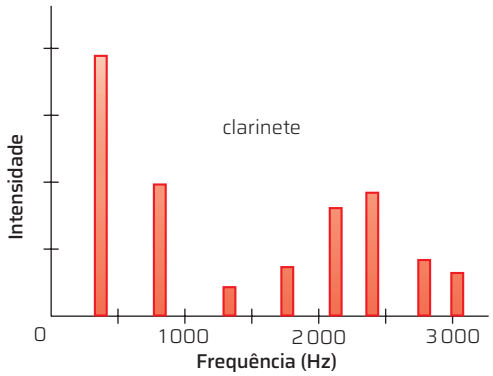
Setup Bureau/ID/BR

a) Identifique o tempo máximo aproximado, em hora, de sono registrado pelo gráfico. Aproximadamente 490 minutos (8,16 horas).

b) Identifique com que nível de ruído uma pessoa consegue dormir por um intervalo de tempo maior. 30 dB

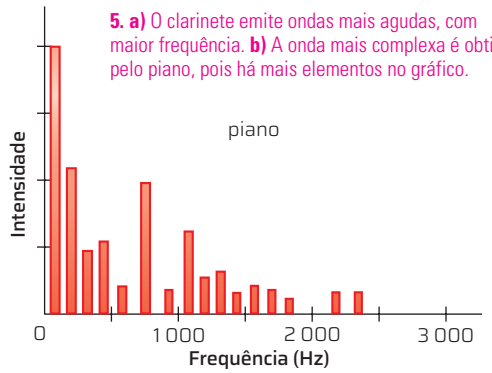
c) À medida que o nível de ruído aumenta, o que ocorre com o tempo de sono?

5 **Instrumentos musicais diferentes emitem sons diferentes. Em razão de diversas características de cada um deles, são emitidas ondas secundárias ou harmônicas com a onda principal. Os gráficos representativos das frequências emitidas por um clarinete e por um piano são apresentados a seguir.**



Setup Bureau/ID/BR

5. a) O clarinete emite ondas mais agudas, com maior frequência. **b)** A onda mais complexa é obtida pelo piano, pois há mais elementos no gráfico.



Setup Bureau/ID/BR

A onda resultante emitida pelos respectivos instrumentos é obtida exclusivamente pela superposição das ondas apresentadas nos gráficos.

a) Identifique qual dos instrumentos emite o harmônico mais agudo. Justifique.

b) Identifique qual dos instrumentos apresenta a onda resultante mais complexa. Justifique.

3. a) Resposta pessoal. Se, por exemplo, os aparelhos e fones de ouvido forem usados para ouvir música, os estudantes podem fazer essa estimativa com base em quantas músicas ouvem em um dia. **b)** Resposta variável. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

1. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre situações do cotidiano que envolvem fenômenos ondulatórios, como os fenômenos sonoros.

FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

2. Resposta pessoal. De acordo com suas vivências, os estudantes podem citar, por exemplo, exames médicos por imagem e transmissão de informações por ondas, entre outras aplicações.

ESTUDO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Conforme estudado anteriormente, as ondas e os fenômenos a elas relacionados estão presentes em muitas situações do cotidiano e são essenciais para nossa percepção do ambiente ao redor.

Durante a propagação das ondas, é comum que elas encontrem, em seu percurso, alguns obstáculos ou, eventualmente, fendas ou orifícios, o que pode deformá-las. A imagem a seguir mostra ondas planas cujas linhas são aproximadamente retilíneas e estão se propagando na superfície do oceano quando encontram um orifício (fenda). Após ultrapassarem esse obstáculo, as linhas de onda deixam de ter aspecto retilíneo e passam a ter aspecto curvilíneo. Esse encurvamento das linhas de onda é o fenômeno ondulatório conhecido como **difração**.

PARA COMEÇAR

1. Além das caraterísticas próprias das ondas, quais fenômenos ondulatórios você conhece?
2. Você seria capaz de identificar alguma aplicação tecnológica desses fenômenos ou em seu dia a dia?

Imagem aérea de ondas do mar que se difratam após encontrarem obstáculos.

Roberto Lo Savio/Shutterstock.com/ID/BR

PARA EXPLORAR

Leia

***A história da luz*, de Alfredo Roque Salvetti. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008.**

A luz proveniente do Sol é essencial à vida no planeta. As civilizações humanas se desenvolveram ao mesmo tempo que iam compreendendo a luz e como usá-la a seu favor. Acompanhe, nesse livro, como foi essa trajetória de descobertas e conhecimento.

COMPREENDENDO OS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

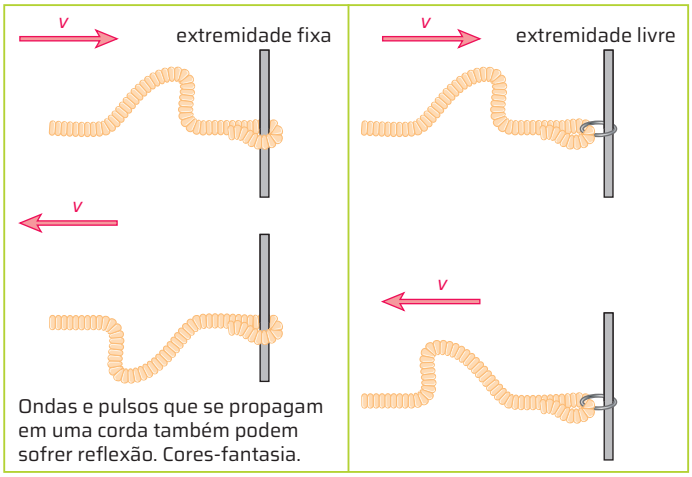
Vimos nos capítulos anteriores que a luz pode ter sua trajetória desviada ao sofrer os fenômenos de reflexão e de refração. Tais fenômenos não ocorrem somente em ondas eletromagnéticas, mas em todos os tipos de onda.

A seguir, retomaremos esses fenômenos ondulatórios e também abordaremos outros fenômenos, como a difração, a polarização, a ressonância, a interferência, bem como as ondas estacionárias e o efeito Doppler.

Reflexão de uma onda

Ao se propagar em um meio material e encontrar um obstáculo, as ondas – de qualquer tipo – podem sofrer o fenômeno da reflexão, porém, em se tratando de ondas unidimensionais, a reflexão pode ter características distintas, dependendo das características do meio em que se propaga. Veja as imagens a seguir.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

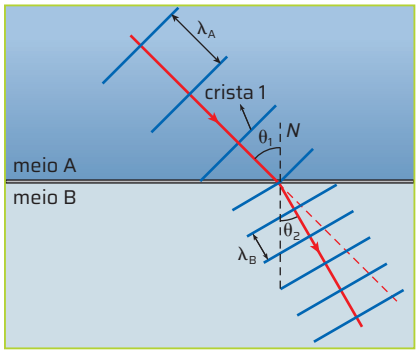
Ondas e pulsos que se propagam em uma corda também podem sofrer reflexão. Cores-fantasia.

Se o meio refletor for a extremidade fixa de uma corda, a reflexão ocorre **com inversão de fase**.

Se a corda tiver a extremidade livre, a reflexão ocorre **sem inversão de fase**.

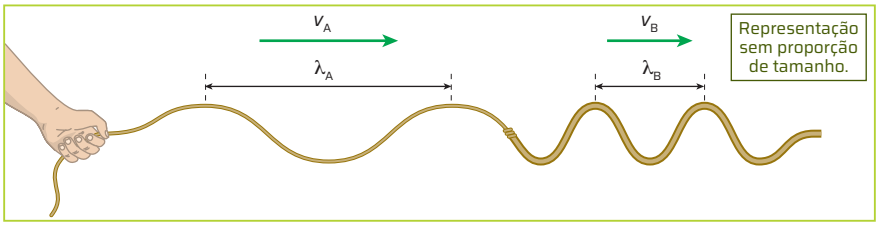
Refração de uma onda

Uma onda de qualquer tipo que se propaga em um meio material pode passar a se propagar em outro meio. Esse é o fenômeno da refração. Na situação ilustrada abaixo, uma onda, que inicialmente se propaga com velocidade v_A em uma corda de certa densidade, passa a se propagar com velocidade v_B em outra corda, mais densa que a primeira, sofrendo então refração. Note que, nesse caso, a velocidade da onda diminui ($v_B < v_A$).



Uma frente de onda refratando-se ao incidir obliquamente sobre a superfície de um meio. Na passagem do meio A para o B, há mudança no comprimento de onda e na velocidade, alterando a direção de propagação do raio da onda. O ângulo θ_1 é chamado **ângulo de incidência**, e o ângulo θ_2 é chamado **ângulo de refração**.

ID/BR



ID/BR

Representação de uma onda com velocidade v_A e comprimento λ_A propagando-se em uma corda. Quando essa onda passa a se propagar em uma corda mais densa, há mudança na velocidade (que passa a ser v_B) e no comprimento de onda (λ_B). Cores-fantasia.

Quando uma onda que se propaga em um meio A passa a se propagar em um meio B, sua velocidade e seu comprimento de onda são alterados. A frequência permanece constante, já que depende apenas da fonte que produziu a onda. Assim, $f_A = f_B$.

Como $f = \frac{v}{\lambda}$, podemos afirmar que: $\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B}$.

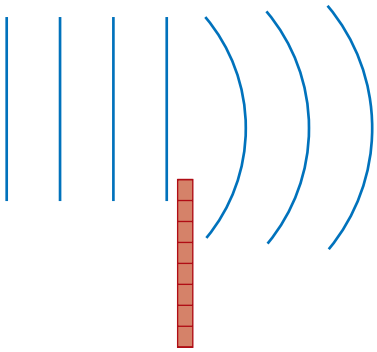
Por essa equação, deduzimos que, na refração, quanto maior a velocidade de propagação da onda no meio, maior será seu comprimento de onda.

Não escreva no livro.

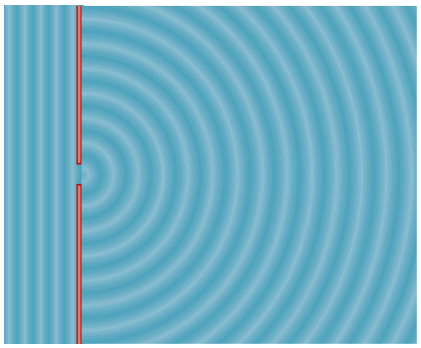
Difração de uma onda

As imagens abaixo representam situações de ondas sofrendo difração.

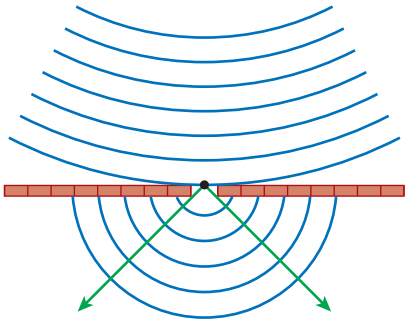
Representações sem proporção de tamanho.



Representação da vista superior das linhas de uma onda que, ao se propagar em certo meio, atinge um obstáculo. A figura permite concluir que, após encontrar o obstáculo, a onda consegue contorná-lo.



Representação de frentes de ondas planas que, propagando-se, atingem uma fenda. A partir daí, as ondas se espalham, mudando a forma da linha de plana para circular.



A difração pode ocorrer com ondas planas ou circulares. No caso das circulares, após a difração (parte inferior do esquema), a curvatura das ondas fica mais acentuada.

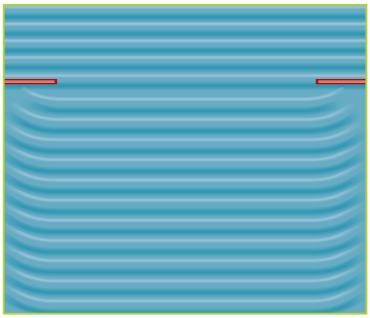
Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Podemos definir assim o fenômeno da **difração** de uma onda:

A **difração** de uma onda é o fenômeno no qual a onda contorna um obstáculo ou se espalha após passar por uma ou mais fendas.

A difração de uma onda por uma fenda depende do comprimento de onda e da largura da fenda. Se o comprimento de onda é muito menor que a largura da fenda, praticamente não há difração (figura **1**). O efeito da difração torna-se mais acentuado quando o comprimento de onda é da ordem da largura da fenda (figuras **2** e **3**).

Setup Bureau/ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

Figura 1
Nessa situação, o comprimento de onda é bem menor que a largura da fenda. Praticamente não há difração.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

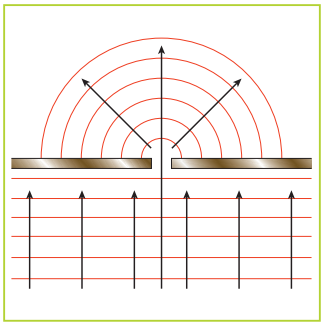


Figura 2

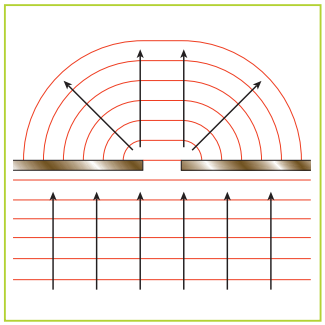


Figura 3

Quanto mais próxima do comprimento de onda for a largura da fenda, mais acentuada será a difração, que se tornará máxima quando o comprimento de onda for da ordem da largura da fenda (figura **3**).

É importante notar que, no fenômeno da difração, permanecem constantes a frequência, o comprimento de onda e a velocidade de propagação da onda. A única alteração ocorre na forma da linha da onda.

DE OLHO NO CONCEITO

Espalhamento do som

As ondas sonoras têm comprimentos de onda da ordem de metros ou dezenas de metros, de modo que sofrem acentuada difração.

Por isso, muitas vezes é possível ouvir o som emitido por uma pessoa que esteja do outro lado de uma porta, mesmo que não se possa vê-la.

ROTEIRO

1. Cite outro exemplo de seu cotidiano em que se pode perceber o espalhamento do som.

Resposta pessoal. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

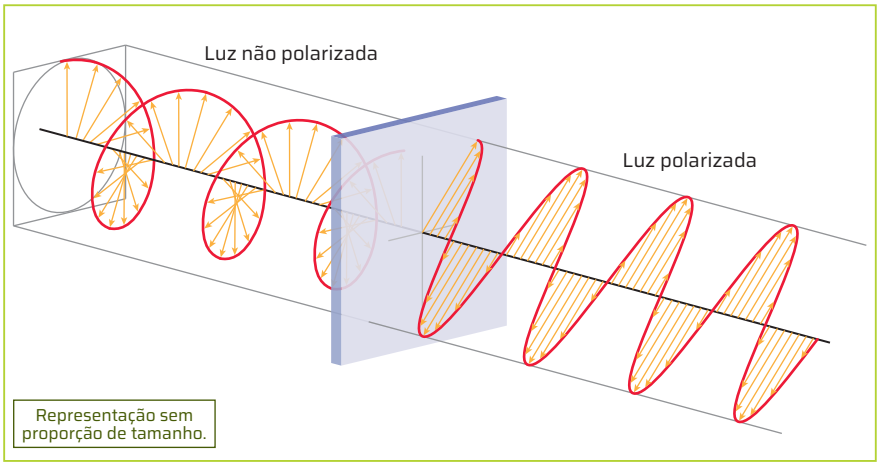
Roteador de internet *wi-fi*

Uma das aplicações atuais da difração está relacionada ao espalhamento das ondas eletromagnéticas emitidas por um roteador de internet *wi-fi*. De fato, as ondas emitidas por esse dispositivo podem incidir em aberturas como vãos de portas ou janelas. Caso elas sofram difração, mais o sinal se espalha pelos cômodos da casa e, portanto, o acesso à internet é facilitado.

POLARIZAÇÃO DA LUZ

Segundo o modelo ondulatório, a luz é uma onda eletromagnética cujos campos elétricos e magnéticos oscilam em planos perpendiculares à direção de propagação da onda. Na luz não polarizada, esses planos de oscilação do campo elétrico estão distribuídos aleatoriamente em várias direções perpendiculares à propagação da onda.

Caso o campo elétrico oscile em um único plano definido, dizemos que a luz é polarizada. Esse processo ocorre por meio do fenômeno da polarização, que pode ser causado por reflexões, dispersões ou ao passar por um filtro polarizador, como ilustrado a seguir.



OracicArt/ID/BR

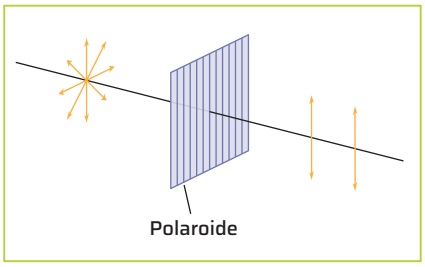
Representação de uma onda eletromagnética após ser polarizada. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Luz polarizada. Sala de Demonstrações de Física, [20--]. Disponível em: http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/100/17.-Polarizacao-da-luz. Acesso em: 11 out. 2024.

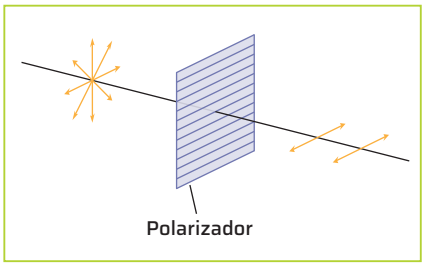
A **polarização** da luz pode ser definida como o fenômeno no qual os campos elétricos e magnéticos oscilam em planos definidos e que ocorre apenas em ondas transversais.

Em nosso dia a dia, há diversas fontes que emitem luz polarizada, como *lasers* e a luz emitida pelas telas de cristal líquido (LCD), como as de TVs, de monitores e de visores de calculadoras. O dispositivo capaz de polarizar a luz é chamado de **polaroide** ou **filtro polarizador**; ele permite a passagem de apenas uma das direções de oscilação da onda, enquanto as outras são absorvidas, como ilustrado nas imagens a seguir.

Representações sem proporção de tamanho.



Representação da luz sendo polarizada na direção vertical. Cores-fantasia.

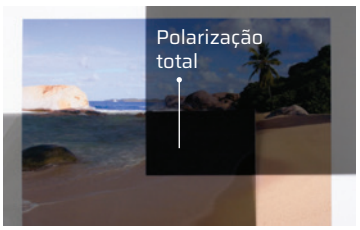


Representação da luz sendo polarizada na direção horizontal. Cores-fantasia.

Ilustrações: OracicArt/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

A



LLC/Alamy/Fotoarena

Imagem obtida com duas lentes polarizadoras perpendiculares entre si.

Algumas lentes polarizadoras de óculos de sol são feitas de material que permite apenas a passagem de ondas cujos campos elétricos estejam orientados em determinada direção, bloqueando as ondas com campos nas outras direções. Assim, reduz-se a intensidade da luz que atinge os olhos, pois apenas uma fração da luz incidente atravessa os óculos. Caso duas lentes polarizadoras fossem colocadas com seus eixos de polarização perpendiculares entre si, ocorreria a polarização total da luz e, portanto, toda a luz incidente nas lentes seria bloqueada, como representado na imagem **A**.

Não escreva no livro.

RESSONÂNCIA

Quando um sistema oscilante recebe estímulos de uma fonte externa na mesma frequência com que ele oscila (ou em uma frequência muito próxima disso), as amplitudes de oscilação do corpo aumentam consideravelmente. Esse aumento resulta da acentuada transferência de energia da fonte externa para o sistema, caracterizando um fenômeno conhecido como **ressonância**.

Ressonância é o fenômeno no qual um corpo oscilante (alvo) sofre aumento considerável em suas amplitudes de vibração características ao absorver a energia emitida por outro corpo (fonte) que vibra em frequência igual ou próxima à do alvo.

Quando uma criança oscila em um balanço de um parque, por exemplo, a própria criança (ou quem a empurra) pode determinar a amplitude, mas não a frequência de oscilação. Esse fato ocorre porque a frequência e, consequentemente, o período de oscilação só dependem das características do balanço, como o comprimento de suas cordas.

Supersizer/iStock/Getty Images

O período de oscilação de um balanço é previamente definido.

O mesmo fato ocorre com um sistema massa-mola, ou seja, sua frequência de oscilação só depende das características desse sistema (da constante elástica k e da massa m). Esses exemplos permitem concluir que todo sistema (macroscópico ou microscópico) possui uma frequência própria de vibração, que denominamos **frequência natural de vibração**. Na prática, diversos sistemas físicos possuem várias frequências naturais de vibração, sendo elas múltiplos inteiros de uma frequência conhecida como frequência fundamental.

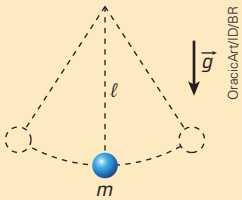
DE OLHO NO CONCEITO

Pêndulo simples e sistema massa-mola

Alguns sistemas físicos possuem uma frequência de vibração ou oscilação própria. Entre eles, dois sistemas oscilatórios possuem relevância para nosso estudo: o pêndulo simples e o sistema massa-mola.

- **Pêndulo simples:**

O pêndulo simples é constituído de um corpo de massa m e preso a um fio de comprimento ℓ.



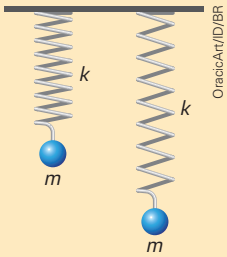
OracicArt/ID/BR

Ao colocar esse sistema para oscilar em um plano vertical, é possível demonstrar que o período de oscilação desse sistema pode ser determinado por meio da seguinte expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

- **Sistema massa-mola:**

O sistema massa-mola é formado por um corpo preso a uma mola e que pode oscilar sem atrito em qualquer plano, tanto horizontal quanto vertical.



OracicArt/ID/BR

Ao se colocar esse sistema para oscilar em um plano vertical, é possível demonstrar que o período de oscilação desse sistema pode ser determinado por meio da seguinte expressão:

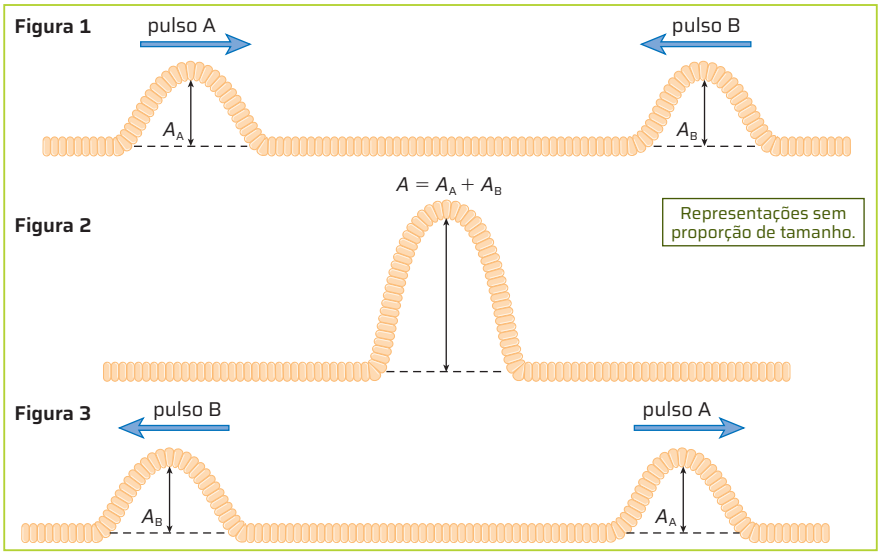
$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Interferência de ondas

Quando duas ondas se cruzam, uma interfere na outra. Essa interferência pode ser de dois tipos: **construtiva** ou **destrutiva**.

Interferência construtiva

Nesse tipo de interferência, as amplitudes de duas ondas que se cruzam, quando em concordância de fase, são somadas. A amplitude da onda resultante é igual à soma das amplitudes de cada onda original. Se as ondas que se cruzam tiverem mesma amplitude, a amplitude da onda resultante corresponderá ao dobro da amplitude de cada onda original. As figuras a seguir representam os momentos principais de uma interferência construtiva.

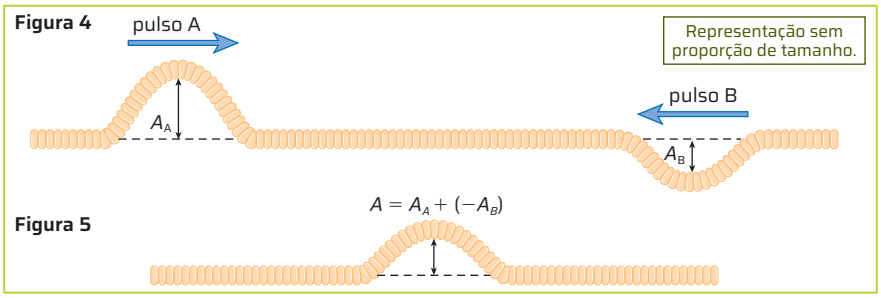


Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

A figura **1** representa a situação em que, em cada extremidade de uma corda, são provocados dois pulsos, ambos para cima e simultaneamente. Durante a propagação, os pulsos se cruzam e, então, as perturbações na corda se reforçam, propiciando, em certo instante, uma **interferência construtiva**, isto é, um pulso resultante cuja amplitude é a soma das amplitudes dos pulsos A e B (figura **2**). Após o cruzamento, os pulsos se separam e continuam a se propagar da mesma maneira que antes do encontro (figura **3**). Cores-fantasia.

Interferência destrutiva

Quando duas ondas em posição de fase se cruzam, a amplitude da onda resultante corresponde à **diferença** entre as amplitudes das ondas iniciais. Se as ondas tiverem amplitudes iguais, as amplitudes se cancelarão, e a onda resultante terá amplitude nula. Se as amplitudes não forem iguais, a amplitude da onda resultante será menor que a da onda que tiver maior amplitude, como mostram as figuras a seguir.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

A figura **4** representa a situação em que os pulsos, defasados em 180°, propagam-se em uma corda, em sentidos contrários. Ao se cruzarem, os pulsos se sobrepõem (figura **5**), propiciando uma **interferência destrutiva**, isto é, um pulso resultante cuja amplitude é a diferença entre as amplitudes dos pulsos originais. Cores-fantasia.

ROTEIRO

2. É possível uma onda cancelar a amplitude de outra onda, de maneira que a onda resultante tenha amplitude nula? Justifique.

Sim, isso é possível, desde que haja duas ondas com amplitudes iguais e invertidas. Quando elas interferirem destrutivamente uma na outra, a onda resultante será nula.

AÇÃO E CIDADANIA

Radiocomunicação e interferência de ondas eletromagnéticas

Radiocomunicação refere-se a todos os sistemas de comunicação sem fio que usam o espectro eletromagnético de radiofrequências.

No contexto de rádios e canais de TV, cada emissora opera em uma faixa exclusiva do espectro eletromagnético, para que se evitem as superposições de sinais. Os sinais, se combinados, geram interferências mútuas, que chegam a inviabilizar a comunicação e a provocar acidentes.

Um exemplo clássico é o naufrágio do Titanic, em 1912, que resultou na morte de 1 523 pessoas. O desastre foi consequência indireta da interferência nas comunicações de rádio. Havia navios próximos da embarcação acidentada, mas eles não chegaram a tempo para socorrer os passageiros porque as emissões de rádio com pedido de socorro não puderam ser captadas com clareza. Até a época do Titanic, ainda não havia regras para a ocupação do espectro eletromagnético.

1. **Qual é a importância de haver leis e acordos internacionais que regulem as telecomunicações?**
2. **Pesquise: O que são as chamadas rádios comunitárias?**

1. As leis e os acordos internacionais são importantes porque definem a área de atuação de cada país e suas respectivas telecomunicações, por exemplo.
2. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

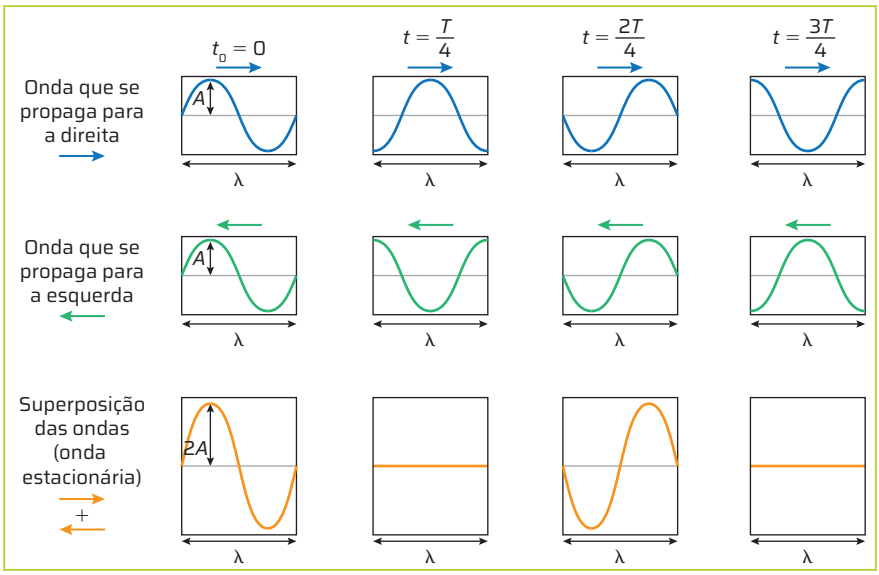
ONDA ESTACIONÁRIA

Quando duas ondas idênticas se propagam em um mesmo meio em sentidos opostos, elas interferem mutuamente uma na outra. O resultado dessa superposição pode ser um fenômeno conhecido como onda estacionária. Apesar dessa denominação, a onda estacionária não é uma onda propriamente dita, mas, sim, o fenômeno resultante da interferência de duas ondas:

Onda estacionária é o efeito resultante da interferência de duas ondas idênticas que se propagam em um mesmo meio em sentidos opostos.

Para melhor entender esse fenômeno, considere duas ondas que se propagam em uma corda em sentidos opostos, com uma de suas extremidades fixas. Apesar de essas ondas se propagarem na corda inteira, vamos analisar o encontro dessas ondas em um mesmo trecho da corda em instantes sucessivos, sendo que o intervalo de tempo entre esses instantes corresponde a um quarto do período. Observe as imagens a seguir.

OracicArt/ID/BR



O resultado da superposição de duas ondas idênticas que se propagam em sentidos opostos é conhecido como onda estacionária.

Representação sem proporção de tamanho.

À medida que a onda se propaga para a direita, ela avança um quarto do comprimento de onda ($\lambda/4$) nos intervalos de tempo considerados ($T/4$). Sendo assim, pode-se perceber que uma crista (ou um vale) avança uma distância que corresponde a um quarto do comprimento de onda. Esse mesmo fato ocorre com a onda que se propaga para a esquerda. A partir do último instante ($3T/4$), outras cristas e outros vales atingirão a região considerada.

Após esse instante, a forma da corda se repetirá para as duas ondas que se propagam em sentidos opostos e, ao se considerar o efeito da superposição, pode-se identificar que a corda adotará um padrão específico de oscilação. Como a forma da corda se repetirá para as duas ondas que se propagam em sentidos opostos, o padrão de oscilação resultante da corda também se repetirá após $3T/4$, sendo que a amplitude resultante será a soma das amplitudes das ondas consideradas. Esse padrão de oscilação é conhecido como onda estacionária.

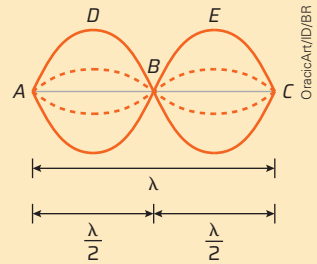
Das figuras acima, pode-se perceber que, como as ondas possuem amplitude A (instante inicial e no instante $t = 2T/4$), a amplitude resultante da superposição dessas ondas corresponde a $2A$.

Ao se visualizar continuamente uma corda que vibra em configuração de onda estacionária, como representado nesta página, a percepção que se tem é de regiões contínuas, como na imagem **A**.

DE OLHO NO CONCEITO

Nós e ventres

Com base na própria visualização apresentada, a representação de uma onda estacionária é feita considerando a superposição das infinitas posições ocupadas pelos pontos do meio, como ilustrado na figura a seguir.



OracicArt/ID/BR

Os pontos **A**, **B** e **C** mantêm a mesma posição em todos os instantes porque esses são pontos em que ocorre interferência destrutiva. Eles são conhecidos como **nós** ou **nodos** da onda estacionária.

Já os pontos **D** e **E** têm maior amplitude de oscilação e, quando passam pela posição central, possuem a maior energia cinética associada. Isso acontece porque nesses pontos ocorre interferência construtiva e eles são conhecidos como **ventres** da onda estacionária.

Representação sem proporção de tamanho.

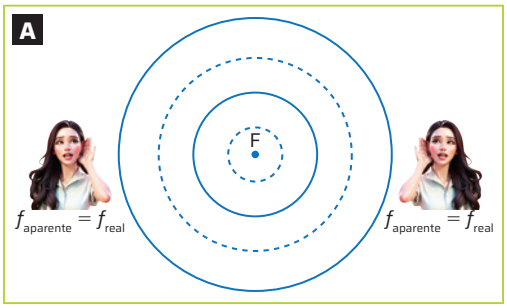
Andrew Lambert Photography/SPL/Fotoarena

Assim como ocorre em fotografias de alto tempo de exposição, a visualização de uma onda estacionária formada em uma corda nos dá a impressão de que os pontos preenchem regiões contínuas.

Representações sem proporção de tamanho.

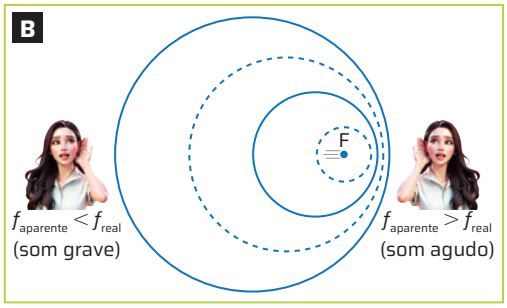
EFEITO DOPPLER

OracicArt/ID/BR



Quando a fonte está em repouso, um observador identifica a mesma frequência emitida pela fonte.

OracicArt/ID/BR



Detecção de frequências aparentes diferentes da frequência real devido ao movimento da fonte.

Como vimos, há fenômenos ondulatórios nos quais a frequência da onda não se altera, já que a onda está diretamente associada a uma fonte emissora. No caso das ondas sonoras, se um detector de ondas (observador) estiver nas proximidades de uma fonte em repouso, ele será atingido por sons com a mesma frequência do som gerado pela fonte. Nessa situação, a frequência aparente ($f_{aparente}$) identificada pelo observador é igual à frequência real (f_{real}) da fonte, como na imagem **A**.

Suponha agora que a fonte sonora se movimente com velocidade inferior à do som e constante, em um único sentido. As linhas de onda à direita da fonte ficam mais próximas quando comparadas ao caso em que a fonte está em repouso, como representado na imagem **B**. Sendo assim, se um observador estiver à direita da fonte, o intervalo de tempo entre a incidência de cristas e vales será menor em relação ao intervalo de tempo em que elas foram geradas. Como consequência, a frequência aparente identificada por um observador será maior que a frequência real e o observador identificará um som mais agudo em relação ao som emitido pela fonte. Esse fenômeno é conhecido como efeito Doppler-Fizeau ou, simplesmente, efeito Doppler.

O **efeito Doppler** é o fenômeno em que a frequência identificada por um observador ou um detector de ondas é diferente da frequência real emitida pela fonte devido ao movimento relativo entre a fonte e o observador. O efeito Doppler pode ocorrer com ondas mecânicas ou ondas eletromagnéticas.

Note que as linhas de onda à esquerda da fonte ficam mais afastadas e que o observador recebe menos frentes de ondas; por consequência, a frequência aparente identificada por um observador é menor que a frequência real. Assim, o observador identifica um som mais grave em relação ao originalmente emitido.

Há diversas situações cotidianas em que o efeito Doppler pode ser verificado. Por exemplo, se uma ambulância com a sirene ligada vai se aproximando de uma pessoa parada em um ponto de ônibus, a frequência sonora observada por essa pessoa será mais alta (som mais agudo) que durante o afastamento, quando o som da sirene será percebido como mais grave.

Equação do efeito Doppler

É possível determinar a frequência aparente identificada por um observador por meio de uma expressão matemática, conhecida como equação do efeito Doppler, considerando ondas mecânicas, que o meio esteja em repouso e a velocidade da fonte seja menor que a velocidade da onda. A utilização dessa expressão pressupõe uma orientação da trajetória que, por regra, deve ser positiva no sentido do observador para a fonte.

$$f_{aparente} = f_{real} \cdot \frac{v_{onda} \pm v_{observador}}{v_{onda} \pm v_{fonte}}$$

Na equação acima, o sinal positivo ou negativo da velocidade está relacionado ao fato de a fonte ou o observador se movimentar a favor ou contra a orientação da trajetória preestabelecida. A depender do sentido do movimento, deve-se determinar esse sinal e aplicá-lo na equação.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Como sabemos que o Universo está em expansão?

O efeito Doppler também acontece com outros tipos de onda, como as ondas eletromagnéticas emitidas por corpos celestes.

Em 1929, o astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953) observou experimentalmente que a luz emitida por algumas galáxias era detectada na Terra com frequências menores, com deslocamento da faixa de frequências detectadas para o vermelho. Esse fenômeno, denominado *redshift* ("desvio para o vermelho"), pode ser explicado pelo efeito Doppler, considerando-se objetos que estão se afastando de nós em escalas menores (como estrelas ou galáxias próximas). O *redshift* é uma das primeiras evidências de que o Universo está em expansão e uma das teorias mais aceitas entre os cientistas para explicar sua origem, que foi chamada Big Bang.

1. **Em sua opinião, qual é a importância das evidências para o desenvolvimento do conhecimento científico?**

Resposta pessoal. Os estudantes podem responder, por exemplo, que as evidências ajudam a sustentar teorias, que, por sua vez, confrontadas por novas evidências, podem ser modificadas e alteradas.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

O RÁDIO NO MUNDO

[...]

Até que o primeiro aparato de transmissão e recepção radiofônica fosse colocado efetivamente em operação, cientistas como o norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790) e o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) exerceram papel preponderante para o fortalecimento dos princípios tecnológicos que baseiam esse meio de comunicação.

Desde 1753, Franklin já defendia a tese de que a eletricidade poderia ser usada para transmitir mensagens à distância. Já em fins da década de 1820, Oersted conseguiu provar a conexão existente entre eletricidade e magnetismo ao constatar que a corrente elétrica de um condutor conseguia movimentar a agulha de uma bússola. Surgia então uma nova área de estudos que passou a se ocupar do *eletromagnetismo*. Os estudos sobre ondas eletromagnéticas resultaram na invenção de dois novos meios de comunicação: o *telefone* e o *telégrafo*. [...]

O rádio, portanto, começa sua história bem antes de sua invenção propriamente dita. É em invenções como o telégrafo e o telefone que o meio de comunicação radiofônico vai buscar a origem de sua estrutura tecnológica e dela se beneficia para sua expansão.

Em 1863, [...] o professor inglês de Física Experimental James Clerck Maxwell (1831-1879) forneceu um dos marcos da história do rádio no mundo, desencadeando o interesse de outros pesquisadores pelo assunto. Seguiram-se diversos cientistas a estudar a propagação das ondas eletromagnéticas, hoje também chamadas de *ondas de rádio*.

Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894), alemão, foi um deles. Em 1887, Hertz deu início a estudos sobre o princípio da propagação radiofônica. [...] Em sua homenagem, as ondas de rádio passaram a ser chamadas de *ondas hertzianas*, usando-se também o hertz (Hz) como unidade de frequência.

A entrada do rádio em um esquema coordenado de produção industrial ocorreu com a fundação da primeira companhia de rádio na Inglaterra pelo cientista italiano Guglielmo Marconi (1874-1937). [...]

As contribuições do padre gaúcho Roberto Landell de Moura (1861-1928) também rivalizam com os feitos de Guglielmo Marconi [...].

Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos. Fac-símile: ID/BR

Selo de 2011 em homenagem ao padre Roberto Landell de Moura.

[...] em 1916, Lee Forest instalou a primeira estação-estúdio de radiodifusão, em Nova Iorque. Foi quando teve-se notícia do primeiro programa de rádio, que consistia em conferências, música de câmara e gravações. [...]

Desde o início do século XX, já era tecnicamente possível a transmissão de sons complexos, entre os quais estão incluídos elementos como a música e a voz humana. O rádio havia atingido um nível que permitia a transmissão de boletins informativos sonoros, quando teve início a I Guerra Mundial. [...]

RODRIGUES, A. C. *Jornalismo nas ondas do rádio*. Estudo de caso: análise crítica do programa "O Ministério Público e a Cidadania". 2006. 98 p. Monografia de conclusão de curso (Bacharelado em Jornalismo) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2006. p. 11-16. Disponível em: bocc.ubi.pt/pag/rodrigues-adriano-jornalismo-ondas-radio.pdf. Acesso em: 1º set. 2024.

Para discutir

3. Resposta esperada: Sim, porque, apesar de as ondas mecânicas e as ondas eletromagnéticas terem naturezas diferentes, podem ser estudadas por suas características: amplitude, frequência, comprimento de onda e velocidade em um meio.

1 **Por que a unidade de medida de frequência foi nomeada hertz?**
Em homenagem ao cientista alemão Heinrich Rudolph Hertz, que estudou as ondas eletromagnéticas.

2 **Pesquise a contribuição do padre Roberto Landell de Moura para o desenvolvimento do rádio.**
Resposta pessoal. É importante destacar que o padre Landell de Moura foi o pioneiro da radiotelefonia no mundo.

3 **As ondas eletromagnéticas foram objeto de estudo por séculos, até que Hertz e outros cientistas conseguiram apresentar mais evidências de sua existência. Em sua opinião, a observação das ondas mecânicas favoreceu o conhecimento das ondas eletromagnéticas? Justifique.**

4 **Com relação à transmissão radiofônica no Brasil, pesquise e escreva:** Resposta pessoal. Atividade de pesquisa.

- qual foi a primeira transmissão radiofônica oficial;
- quais foram as primeiras grandes rádios;
- qual foi o primeiro jornal brasileiro transmitido por rádio.

Como determinar a velocidade da luz usando uma barra de chocolate

Um dos parâmetros mais relevantes da Física é considerar o fato de que a luz, uma onda eletromagnética, ao se propagar no ar, tem valor de velocidade próximo do valor de quando ela se propaga no vácuo.

O valor para a velocidade da luz foi obtido cientificamente de diferentes maneiras, mas seria possível determiná-lo com coisas simples do dia a dia? Nesta atividade, você e os colegas vão usar um forno de micro-ondas (as micro-ondas são ondas eletromagnéticas) para medir a velocidade da luz.

Material

- aparelho de micro-ondas
- uma barra de chocolate inteira
- um prato ou recipiente fundo e liso, que possa ir ao micro-ondas
- um prato raso e liso, que comporte a barra de chocolate e possa ir ao micro-ondas
- régua ou trena

Como fazer

1. Para usar o aparelho de micro-ondas, primeiramente retire o prato giratório (é possível também retirar as rodas que ficam embaixo do prato giratório e usar esse mesmo prato para colocar o chocolate). Em seguida, coloque a barra de chocolate em um recipiente e leve-o para o micro-ondas, conforme representado na imagem **A**.

2. Ligue o micro-ondas por um tempo de, aproximadamente, 20 segundos, observando se em algumas regiões da barra de chocolate apareceram pequenos furos (ou regiões em que o chocolate derreteu) e outras regiões em que ele está frio.

3. Para finalizar, localize os pontos em que o chocolate derreteu e meça a distância entre eles, usando uma régua ou trena, conforme representado na imagem **B**. Anote o valor no caderno.

ATENÇÃO!

Cuidado ao manusear os materiais de vidro e com a temperatura dos recipientes ao retirá-los do aparelho!

Fernando Favoretto/ID/BR

Barra de chocolate inserida no aparelho de micro-ondas.

Fernando Favoretto/ID/BR

Distância entre os pontos de derretimento da barra de chocolate ao ser retirada do micro-ondas.

Para concluir

1 **Identifique o fenômeno ondulatório responsável por ocasionar regiões em que o chocolate está frio e regiões em que o chocolate está derretido.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **De acordo com o fenômeno de onda estacionária, relacione as regiões derretidas e as regiões frias do chocolate como sendo nós ou ventres.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

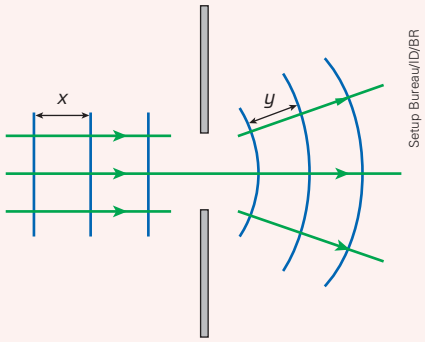
3 **Usando o valor obtido entre os pontos de derretimento da barra de chocolate, determine o comprimento da onda emitida pelo aparelho.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

4 **Analise o manual do fabricante do forno de micro-ondas e identifique a frequência das ondas eletromagnéticas emitidas pelo equipamento; em seguida calcule a velocidade das ondas eletromagnéticas dentro do forno de micro-ondas.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Em um tanque com água, uma fonte produz ondas com frequência de 2 Hz. No meio desse tanque, existe um orifício pelo qual as ondas podem passar, como mostra o esquema a seguir. A velocidade de propagação das ondas no tanque é 0,4 m/s.**



a) Identifique o fenômeno ilustrado no esquema.

b) De acordo com os conceitos da ondulatória, nomeie e relacione as grandezas *x* e *y* indicadas no esquema.

c) Calcule o comprimento de onda.

d) Analise o comportamento da frequência, do comprimento de onda e da velocidade das ondas antes e depois de passarem pelo orifício.

e) Caso o tamanho do orifício seja muito grande quando comparado ao comprimento de onda, explique o que acontecerá com a onda na situação apresentada no esquema. Justifique.

Resolução

a) O fenômeno ilustrado é a difração.

b) *x* e *y* são os comprimentos de ondas incidentes e difratadas.

c) $v = \lambda \cdot f \Leftrightarrow 0{,}4 = \lambda \cdot 2 \Leftrightarrow \lambda = 0{,}2$ m

d) No caso da difração, a frequência, o comprimento de onda e a velocidade permanecem constantes, só se alterando a direção de propagação das frentes de onda.

e) Caso o tamanho do orifício seja muito maior que o comprimento de onda, a difração não acontece, e a onda passa mantendo todas as suas características.

2 **Indique se cada afirmação a seguir é verdadeira (V) ou falsa (F) e corrija as falsas.**

a) É por causa do fenômeno da difração que uma onda se espalha quando contorna uma barreira que a bloqueia parcialmente. Verdadeira.

b) Uma onda do mar sempre é formada exclusivamente por ondas longitudinais.
Falsa. As ondas no mar têm cristas, portanto, são transversais.

c) Quando uma onda passa de um meio para outro, ocorre a mudança de algumas de suas variáveis, mas sua frequência permanece constante. Verdadeira.

d) Uma onda de frequência 20 Hz e comprimento de onda 5 cm move-se com velocidade de 5 m/s.
Falsa. A velocidade dessa onda é $v = \lambda \cdot f \Leftrightarrow v = 20 \cdot 0{,}05 \Leftrightarrow v = 1$ m/s.

e) No fenômeno da reflexão de uma onda, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
Verdadeira.

3 **Uma fonte vibratória de frequência 10 Hz provoca ondas que se propagam na superfície da água contida em um tanque. As ondas se propagam com velocidade de 0,5 m/s. Ao atingir uma região mais rasa, a velocidade da onda é reduzida para 0,1 m/s.**

Determine o comprimento de onda nas duas regiões do tanque. 0,05 m e 0,01 m.

4 **Analise as afirmações a seguir julgando-as como verdadeiras ou falsas e corrigindo as falsas.**

a) Ondas transversais não podem ser polarizadas.
Falsa. Apenas ondas transversais podem ser polarizadas.

b) Ondas luminosas podem ser polarizadas.
Verdadeira.

c) Ondas longitudinais não podem ser polarizadas.
Verdadeira.

d) Ondas eletromagnéticas podem ser polarizadas.
Verdadeira.

5 **Uma cabine antissom ou antirruído é um ambiente pequeno em que se pode fazer uso de um fenômeno ondulatório para reduzir os ruídos. Nessa cabine, a onda sonora correspondente a um ruído é captada por microfones. Um circuito eletrônico recebe essa informação e envia, por meio de alto-falantes, uma onda sonora oposta à recebida (como mostra o esquema a seguir). Essas duas ondas, propagando-se no mesmo meio, superpõem-se, resultando em uma terceira onda.** **5. a)** e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) Identifique o principal fenômeno ondulatório presente no funcionamento da cabine antirruído.

b) Imagine situações em que o princípio de funcionamento dessa cabine poderia ser utilizado para uma melhor qualidade de vida das pessoas.

6 **Um pedestre em repouso observa uma viatura policial que se aproxima a 20 m/s com a sirene ligada. A frequência original do som emitido é 1 000 Hz, e a velocidade do som no ar é de 340 m/s. Determine a frequência da onda sonora que o pedestre captará.** $f_{obs} = 1\,062{,}5$ Hz

PENSANDO CIÊNCIAS

COMO TORNAR A ESCOLA MAIS INCLUSIVA E ACESSÍVEL?

No Brasil, a educação é um direito garantido pela Constituição Federal para toda a população. É essencial, portanto, que as escolas sejam acessíveis e incluam as pessoas com deficiência (PCD). Pensando nisso, reúnam-se em grupos de até quatro integrantes e imaginem que vocês são os responsáveis por uma escola na qual existe um grupo diverso de estudantes e que até o momento não apresenta projeto ou infraestrutura para acessibilidade. Como tornar essa escola mais inclusiva e acessível?

SeventyFour/Shutterstock.com/ID/BR

Diversidade estudantil em ambiente escolar. A valorização da diversidade é fundamental para a promoção da inclusão social, do respeito e do acolhimento de todos os estudantes.

Decompondo o problema

Pensar em meios de tornar a escola mais inclusiva e acessível e propor estratégias para isso pode ser uma tarefa de muitas ações, o que torna o desafio complexo. Por essa razão, vocês vão dividir o problema em partes menores e mais simples para analisar cada uma separadamente e, por fim, resolver o problema como um todo.

Em grupo, estabeleçam quais serão as perguntas que poderão nortear o projeto. Por exemplo:

- Quais leis brasileiras regulamentam os direitos das PCD e as regras para sua inclusão?
- O que essas leis dizem sobre acessibilidade em escolas públicas?
- A estrutura atual de nossa escola possui alguma forma de acessibilidade?
- Quais medidas podem ser tomadas para tornar nossa escola mais acessível às pessoas com deficiências visuais, auditivas, de mobilidade, entre outras?

Reconhecendo padrões

Considerem, por exemplo, a questão: "Que medidas podem ser tomadas para tornar a escola mais acessível a deficientes visuais?". Para imaginar e organizar soluções para isso, vocês podem começar pesquisando o que outras escolas adotaram como medidas de inclusão e acessibilidade para deficientes visuais (meios para locomoção eficiente e segura no espaço escolar, materiais didáticos adaptados, etc.). Analisem as soluções encontradas e se elas seriam aplicáveis na escola de vocês. Por exemplo, o piso tátil, que é fixado no chão com o objetivo de guiar os passos de cegos e pessoas com baixa visão, seria algo viável e funcional para os diferentes espaços da escola? Segundo a pesquisa de vocês, a experiência das outras escolas foi positiva na instalação desse tipo de equipamento?

Não escreva no livro.

Abstraindo o problema

Agora vocês devem identificar quais pontos são relevantes para a solução do problema. Aqueles que vocês considerarem irrelevantes devem ser descartados. Por exemplo, no caso do piso tátil, a marca do material é importante? (Talvez não.) As especificações técnicas são importantes? (Sim.) O preço é relevante? (Sim.) Para ajudar a sistematizar essa análise, vocês podem elaborar uma tabela com os dados coletados. Veja um exemplo:

TIPO DE ACESSIBILIDADE	SOLUÇÃO	FORNECEDOR	CUSTO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
Deficiência visual	Instalação de piso tátil	A	R$ 100,00 por metro quadrado	De acordo com a legislação
//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////
//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////
//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////	//////////////////////

Veja alguns exemplos de pisos táteis instalados em ambientes para auxiliar na locomoção de pessoas cegas ou com baixa visão.

Dirceu Portugal/Fotoarena

Piso tátil de acessibilidade para pessoas cegas ou com baixa visão, em uma escola municipal em Campo Mourão (PR). Foto de 2017.

FG Trade/iStock/Getty Images

O piso tátil permite que pessoas cegas ou com baixa visão se locomovam com segurança e autonomia em diferentes ambientes, como em uma estação de metrô.

Buscando soluções

Uma vez estabelecidas e organizadas as ideias para tornar a escola mais acessível e inclusiva, façam uma relação de todo o material necessário, pensem em campanhas de divulgação e criem testes para verificar se as propostas apresentadas podem funcionar de forma adequada. É importante compartilhar as ideias com o(a) professor(a) a fim de que ele(a) avalie a pertinência e a operacionalidade delas.

Elaborando o algoritmo

Vamos agora elaborar o algoritmo para a solução do problema, isto é, o passo a passo do que deve ser feito e a sequência necessária de etapas.

Agora, com tudo pesquisado, discutido e organizado, criem um algoritmo para viabilizar o projeto de vocês para tornar a escola mais inclusiva e acessível.

Para discutir

1 **Compartilhem com os demais grupos os dados obtidos e o algoritmo que vocês desenvolveram e respondam: Há diferenças entre eles? Se sim, quais?**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

2 **As eventuais diferenças podem servir para melhorar algum algoritmo produzido? Discutam de que maneira essas trocas de informações e experiências podem ser feitas.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 **Vocês acham que os algoritmos produzidos pela turma tornariam a escola mais acessível e inclusiva? Justifique.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

QUESTÕES GLOBAIS

1 **(Furg-RS)** Dos seguintes objetos, qual deles é visível em uma sala perfeitamente escura? Alternativa **e**.

a) Um gato preto.
b) Um espelho.
c) Uma lâmpada desligada.
d) Qualquer superfície de cor clara.
e) Um fio aquecido ao rubro.

2 **(Uespi)** Ao observar o espelho retrovisor do carro que dirige, um motorista vê a imagem direita e reduzida de uma moto. Sabe-se que o espelho usado no carro é esférico. Denotando por D_m a distância da moto ao espelho, e por D_i, a distância da imagem ao espelho, podemos afirmar que o espelho é: Alternativa **a**.

a) convexo e $D_i < D_m$.
b) côncavo e $D_i < D_m$.
c) convexo e $D_i > D_m$.
d) côncavo e $D_i > D_m$.
e) convexo e $D_i = D_m$.

3 **(FGV-SP)**

LUA NA AGUA
ALGUMA LUA
LUA ALGUMA

Ilustrações: FGV-SP. Fac-símile: Setup Bureau/ID/BR

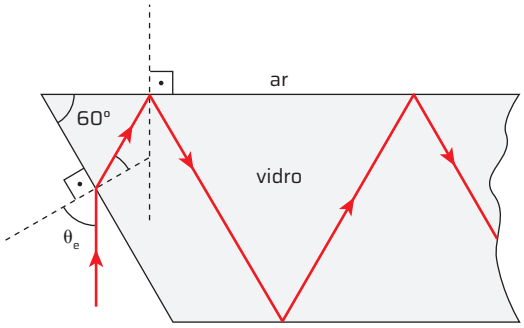
Nesse poema, Paulo Leminski brinca com a reflexão das palavras, dando forma e significado a sua poesia ao imaginar a reflexão em um espelho de água. Para obter o mesmo efeito de inversão das letras, se os dizeres da primeira linha estiverem sobre o eixo principal de um espelho esférico côncavo, com sua escrita voltada diretamente à face refletora do espelho, o texto corretamente grafado e o anteparo onde será projetada a imagem devem estar localizados sobre o eixo principal, nesta ordem: Alternativa **e**.

a) no mesmo lugar e sobre o foco.
b) no mesmo lugar e sobre o vértice.
c) no centro de curvatura e sobre o foco.
d) no foco e sobre o centro de curvatura.
e) no mesmo lugar e sobre o centro de curvatura.

4 **(Uespi)** A respeito do fenômeno da refração de um feixe de luz monocromática, é correto afirmar que:

a) quando a luz refrata para um meio com índice de refração maior, a sua frequência aumenta. Alternativa **c**.
b) quando a luz refrata para um meio com índice de refração maior, a sua frequência diminui.
c) a velocidade da luz pode aumentar ao mudar de meio.
d) a velocidade da luz permanece com o seu valor constante ao mudar de meio.
e) quando a luz refrata para um meio com índice de refração maior, o seu comprimento de onda aumenta.

5 **(ITA-SP)** A figura mostra uma placa de vidro com índice de refração $n_v = \sqrt{2}$ mergulhada no ar, cujo índice de refração é igual a 1,0. Para que um feixe de luz monocromática se propague pelo interior do vidro através de sucessivas reflexões totais, o seno do ângulo de entrada, (sen θ_e), deverá ser menor ou igual a: Alternativa **b**.



ITA-SP. Fac-símile: Setup Bureau/ID/BR

a) 0,18
b) 0,37
c) 0,50
d) 0,71
e) 0,87

6 **(Enem)**

Quando adolescente, as nossas tardes, após as aulas, consistiam em tomar às mãos o violão e o dicionário de acordes de Almir Chediak e desafiar nosso amigo Hamilton a descobrir, apenas ouvindo o acorde, quais notas eram escolhidas. Sempre perdíamos a aposta, ele possui o ouvido absoluto.

O ouvido absoluto é uma característica perceptual de poucos indivíduos capazes de identificar notas isoladas sem outras referências, isto é, sem precisar relacioná-las com outras notas de uma melodia.

Lent, R. O cérebro do meu professor de acordeão. Disponível em: http://cienciahoje.uol.com.br. Acesso em: 15 ago. 2012 (adaptado).

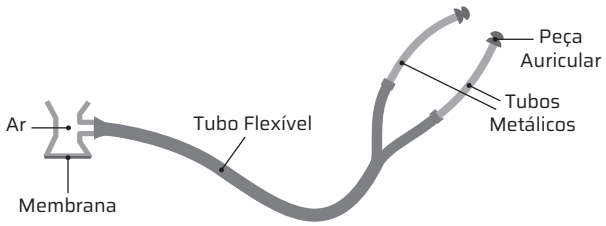
Alternativa **a**.

No contexto apresentado, a propriedade física das ondas que permite essa distinção entre as notas é a

a) frequência.
b) intensidade.
c) forma da onda.
d) amplitude da onda.
e) velocidade de propagação.

Não escreva no livro.

7 **(UFSM-RS)** O estetoscópio é um instrumento utilizado pelos médicos para escutar sons corporais e consiste de uma peça auscultadora, tubos condutores de som e peças auriculares, que se adaptam ao canal auditivo do médico.



UFSM-RS. Fac-símile: Setup Bureau/ID/BR

Então, analise as afirmativas:

I. Toda onda com frequência entre 20 Hz e 20 000 Hz é uma onda sonora.

II. Onda é energia que se propaga vibratoriamente.

III. Numa onda longitudinal, a energia se propaga ao longo da direção de propagação da onda.

Está(ão) corretas(s) Alternativa **d**.

a) apenas I.
b) apenas II.
c) apenas I e II.
d) apenas III.
e) I, II e III.

8 **(PUC-RS)** Nossos sentidos percebem de forma distinta características das ondas sonoras, como: frequência, timbre e amplitude. Observações em laboratório, com auxílio de um gerador de áudio, permitem verificar o comportamento dessas características em tela de vídeo e confrontá-las com nossa percepção. Após atenta observação, é correto concluir que as características que determinam a altura do som e a sua intensidade são, respectivamente, Alternativa **b**.

a) frequência e timbre.
b) frequência e amplitude.
c) amplitude e frequência.
d) amplitude e timbre.
e) timbre e amplitude.

9 **(Enem)** Alguns cinemas apresentam uma tecnologia em que as imagens dos filmes parecem tridimensionais, baseada na utilização de óculos 3D. Após atravessar cada lente dos óculos, as ondas luminosas, que compõem as imagens do filme, emergem vibrando apenas na direção vertical ou apenas na direção horizontal.

Com base nessas informações. o funcionamento dos óculos 3D ocorre por meio do fenômeno ondulatório de Alternativa **e**.

a) difração.
b) dispersão.
c) reflexão.
d) refração.
e) polarização.

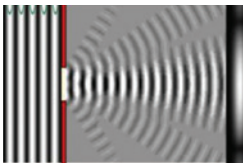
10 **(Enem)** É comum em viagens de avião sermos solicitados a desligar aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas, como celulares. A justificativa dada para esse procedimento é, entre outras coisas, a necessidade de eliminar fontes de sinais eletromagnéticos que possam interferir nas comunicações, via rádio, dos pilotos com a torre de controle.

Essa interferência poderá ocorrer somente se as ondas emitidas pelo celular e as recebidas pelo rádio do avião Alternativa **c**.

a) forem ambas audíveis.
b) tiverem a mesma potência.
c) tiverem a mesma frequência.
d) tiverem a mesma intensidade.
e) propagarem-se com velocidades diferentes

11 **(Uneb-BA)** Os fenômenos ilustrados a seguir, **A**, **B** e **C**, são, respectivamente: Alternativa **d**.

A

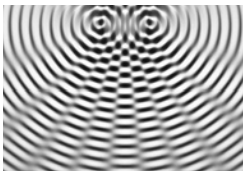


Uneb-BA, 2022. Fac-símile: ID/BR

B

Jaime Villate/Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

C



Arquivo/David D. Chinellato. UNEB, 2022. Fac-símile: ID/BR

a) refração, efeito Casimir, Doppler-Fizeau.
b) polarização, reflexão, refração.
c) Doppler-Fizeau, interferência, polarização.
d) difração, polarização, interferência.
e) efeito Casimir, polarização, refração.

12 **(UEL-PR)** As ambulâncias, comuns nas grandes cidades, quando transitam com suas sirenes ligadas, causam ao sentido auditivo de pedestres parados a percepção de um fenômeno sonoro denominado efeito Doppler. Sobre a aproximação da sirene em relação a um pedestre parado, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, o efeito sonoro percebido por ele causado pelo efeito Doppler. Alternativa **c**.

a) Aumento no comprimento da onda sonora.
b) Aumento na amplitude da onda sonora.
c) Aumento na frequência da onda sonora.
d) Aumento na intensidade da onda sonora.
e) Aumento na velocidade da onda sonora.

ELETRICIDADE E MAGNETISMO

1. Respostas pessoais. Espera-se que os estudantes percebam que a vida na sociedade moderna, principalmente em ambientes urbanos, é bastante dependente da energia elétrica.

Apesar de os fenômenos elétricos serem observados há muito tempo, os estudos relacionados à eletricidade são recentes.

Antes do século XX, as residências brasileiras não eram equipadas com aparelhos elétricos, entre eles, lâmpadas, geladeira, lavadora de roupas, como são atualmente.

Até mesmo os automóveis – ainda predominantemente movidos a combustível fóssil – estão começando a rodar com energia exclusivamente elétrica. Hoje, esse tipo de energia desempenha um papel essencial na vida humana, promovendo o desenvolvimento social e econômico em nível mundial.

Nesta unidade, você vai estudar os fenômenos eletromagnéticos envolvidos desde a produção até o consumo de energia elétrica.

2. Para realizar o cálculo do consumo de energia elétrica de um aparelho doméstico, deve-se multiplicar sua potência pelo tempo que ele foi usado, pois $E = P \cdot \Delta t$.

OBJETIVOS

- Compreender os conceitos de campo, força e corrente elétrica e suas aplicações em circuitos elétricos.
- Identificar soluções para demandas que envolvam a geração, a distribuição e o consumo de energia elétrica, bem como avaliar seus impactos socioambientais.
- Compreender o eletromagnetismo e o funcionamento de motores elétricos.
- Descrever os fundamentos do magnetismo como fenômeno natural e compreender algumas de suas aplicações tecnológicas.
- Comparar os diferentes tipos de usina geradora de eletricidade.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Observe a imagem e responda: Como você imagina que seria viver sem energia elétrica? Justifique.**
2. **Como é realizado o cálculo do consumo de energia elétrica de um aparelho elétrico residencial? Explique.**
3. **Cite alguns cuidados que devemos ter com o uso de energia elétrica. Esses cuidados já fazem parte do seu cotidiano?**

3. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é resgatar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o uso da energia elétrica no cotidiano. Eles podem responder, por exemplo, não ligar diversos equipamentos elétricos em uma mesma tomada usando dispositivos multiplicadores de tomada.

Vista aérea do centro histórico de Salvador (BA). Foto de 2023. ▸

UNIDADE 6

1 Força elétrica e campo elétrico

2 Corrente elétrica e circuitos elétricos

3 Produção e consumo de energia elétrica

4 Magnetismo e indução eletromagnética

Cavan-Images/Shutterstock.com/ID/BR

CAPÍTULO 1

FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO

1. Resposta pessoal. Nesta questão, é importante ouvir as respostas dos estudantes e anotá-las para que, ao finalizar a unidade, seja feita uma reavaliação delas, pois o senso comum confunde o significado de alguns conceitos, como eletricidade e corrente elétrica, por exemplo.
2. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

PARA COMEÇAR

1. Explique com suas palavras o que é eletricidade.
2. Experimente passar um pente plástico algumas vezes no cabelo e tente atrair pequenos pedaços de papel com ele. Por que os pedaços de papel são atraídos pelo pente?

ELETRICIDADE

A eletricidade tem papel fundamental na sociedade moderna. Não é possível imaginar a vida sem o conforto proporcionado pelos mais diversos equipamentos elétricos.

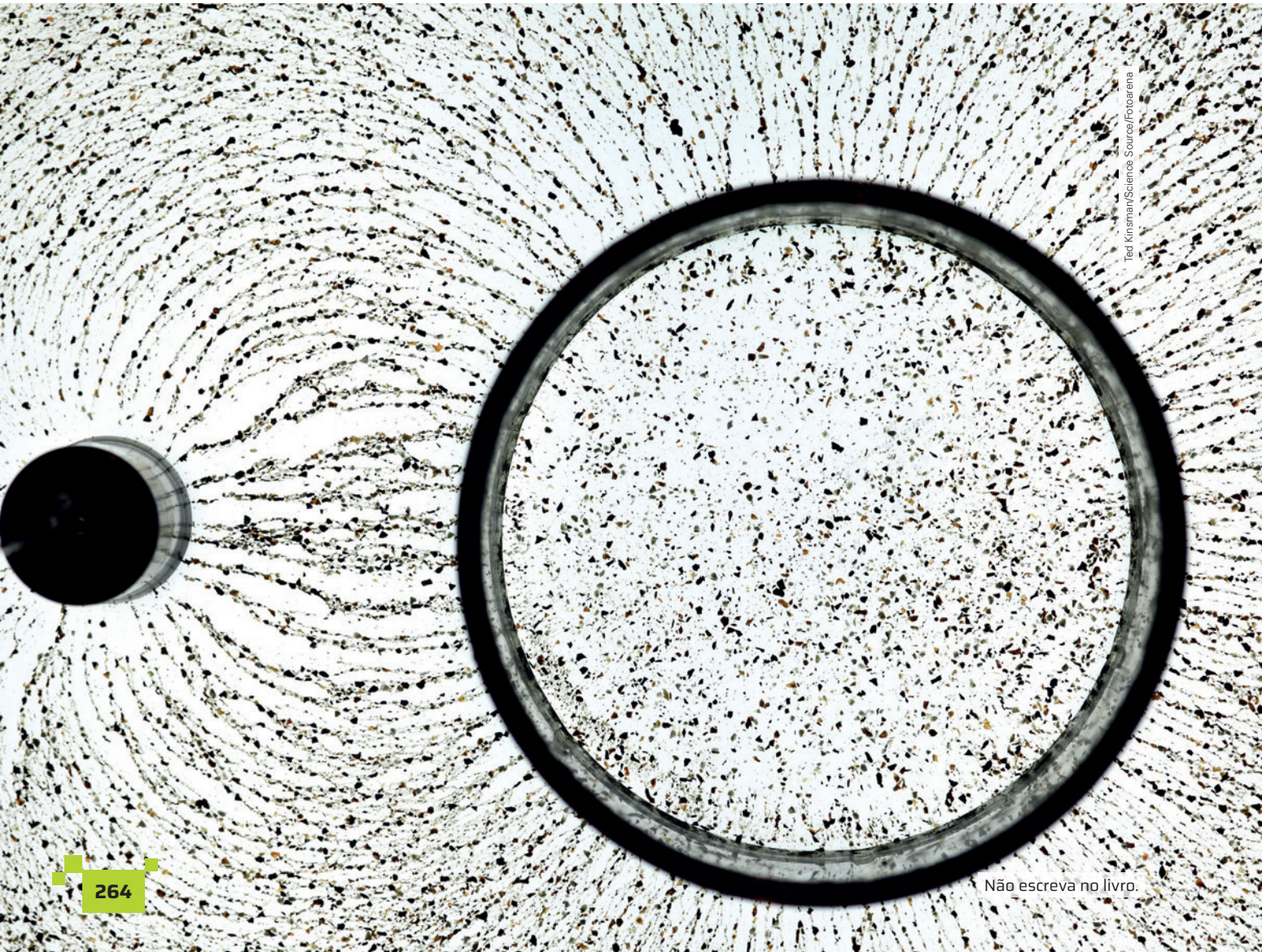
Os equipamentos elétricos são máquinas destinadas a transformar energia elétrica em outros tipos de energia (mecânica, térmica, luminosa, entre outras).

A eletricidade e a gravidade, a princípio, podem parecer fenômenos bem distintos, porém, existem algumas similaridades entre elas.

Uma delas é a interação a distância. Assim como a massa dos corpos interage a distância pela força de atração gravitacional, duas cargas elétricas interagem a distância devido à **força elétrica**, com a diferença de que essa força pode ser de atração ou de repulsão.

Outra similaridade é que, em ambos os fenômenos, ocorre a geração de campos. Da mesma maneira que a massa de um corpo gera um campo gravitacional, a carga elétrica gera no espaço um **campo elétrico**.

Neste capítulo, você vai estudar a força elétrica e o campo elétrico.



Nesta imagem, é possível observar, por meio de limalhas de ferro, linhas de campo geradas por uma carga pontual (à esquerda) presentes externamente a um cilindro de metal (à direita).

Ted Kinsman/Science Source/Fotoarena

Não escreva no livro.

1. O cátion Ca^{2+} tem dois prótons a mais que elétrons. A carga elétrica desse cátion corresponde ao módulo da carga de dois elétrons e pode ser calculada por: $Q = |n \cdot e|$, em que $n = 2$ e $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Assim:
$Q = |2 \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19})|$
$Q = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C

INTRODUÇÃO À FORÇA ELÉTRICA

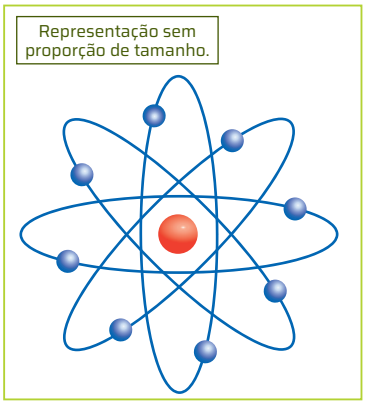
O conceito de átomo foi representado por diferentes modelos ao longo da história da ciência. A cada experimento, novas características eram acrescentadas e modificavam um pouco a maneira como eram descritas as interações entre as partículas. No entanto, a partir do modelo de Rutherford, o entendimento sobre algumas propriedades do átomo acabou por se consolidar: a separação entre uma região central formada por prótons e nêutrons, a existência de uma região periférica chamada de eletrosfera, formada pelos elétrons, e o modo como as cargas elétricas interagem (por meio de uma força elétrica).

Observe, a seguir, alguns modelos de átomos.

ROTEIRO

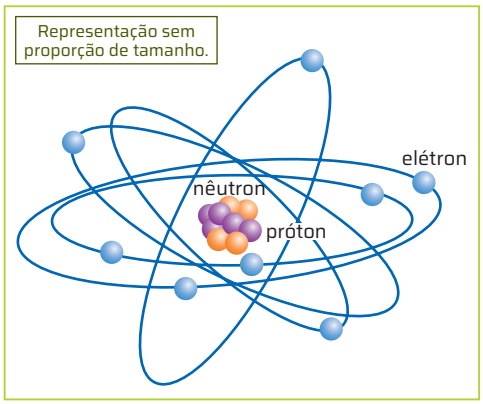
1. Na dissociação do fluoreto de cálcio (CaF_2), o átomo de cálcio perde dois elétrons (Ca^{2+}). Qual é a carga desse cátion, em coulomb?

Pode ser interessante recordar com a turma que a dissociação iônica é o processo que ocorre nas pilhas em geral e nas baterias, como as de íon lítio dos telefones celulares.



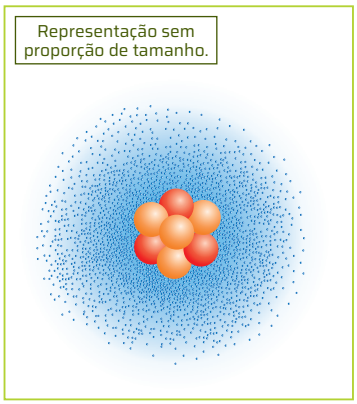
Setup Bureau/ID/BR

Modelo de Rutherford. Cores-fantasia.



Setup Bureau/ID/BR

Modelo de Rutherford-Bohr. Cores-fantasia.



Setup Bureau/ID/BR

Modelo de nuvem eletrônica. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Nunes, M. Átomo e modelos atômicos. Instituto Federal de Santa Catarina, 2016. Disponível em: https://docente.ifsc.edu.br/michael.nunes/MaterialDidatico/Analises%20Quimicas/Quimica%20Geral/Evolucao_modelos_atomicos.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

Os **prótons**, partículas com carga elétrica positiva, e os **nêutrons**, partículas sem carga elétrica, estão juntos no núcleo atômico. A interação entre nêutrons e prótons se dá por meio da chamada força nuclear forte e garante a estabilidade do núcleo. Os **elétrons**, partículas de carga elétrica negativa, orbitam o núcleo.

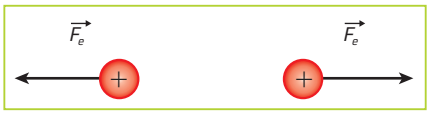
A **força elétrica** é a interação entre cargas elétricas, ou seja, a força elétrica ocorre entre cargas elétricas de mesmo sinal e entre cargas elétricas de sinais opostos. Dependendo das cargas, a força elétrica poderá ser atrativa ou repulsiva. Uma regra simples que permite saber se a força elétrica será de atração ou de repulsão é:

> Partículas com cargas de mesmo sinal se repelem, e partículas com cargas de sinais diferentes se atraem.

Portanto, têm-se as seguintes representações das forças elétricas entre duas cargas:

- Dois prótons:

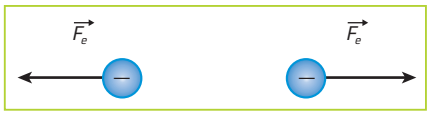
ID/BR



Força elétrica de repulsão entre duas cargas de mesmo sinal. Cores-fantasia.

- Dois elétrons:

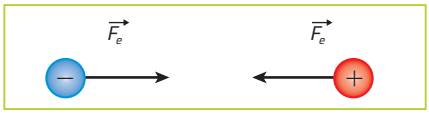
ID/BR



Força elétrica de repulsão entre duas cargas de mesmo sinal. Cores-fantasia.

- Um próton e um elétron:

ID/BR



Representações sem proporção de tamanho.

Força elétrica de atração entre duas cargas de sinais opostos. Cores-fantasia.

Não conseguimos observar as cargas elétricas diretamente, mas apenas seus efeitos nos objetos – quando há excesso ou falta de elétrons em objetos próximos, surge a força elétrica entre eles.

DE OLHO NO CONCEITO

A carga elementar

A carga elementar, cujo símbolo é e, recebe esse nome porque se refere à carga elétrica de prótons ($+e$) e elétrons ($-e$).

A determinação do valor de e foi realizada pelo físico estadunidense e ganhador do Prêmio Nobel Robert Millikan (1868-1953). Para determinar o valor da carga elétrica, ele analisou o movimento de gotas de óleo eletricamente carregadas submetidas a um campo elétrico. Millikan constatou que as cargas elétricas das gotas eram múltiplas de um mesmo valor, a carga elementar.

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

No SI, a unidade de medida de carga é o coulomb (C).

Para determinar a quantidade de carga Q de qualquer corpo, usamos a seguinte expressão:

$$Q = n \cdot e$$

Nessa expressão, n é um número natural.

FORÇA ELÉTRICA

Consideraremos apenas cargas elétricas pontuais, ou seja, aquelas cujas dimensões podem ser desprezadas em comparação com as demais dimensões dos corpos da situação.

Para calcular o módulo da força elétrica, utilizamos a lei de Coulomb. Essa lei estabelece a relação da força elétrica entre duas cargas pontuais e estacionárias e caracteriza a força elétrica como uma grandeza vetorial, com módulo, direção e sentido. Neste livro, no entanto, optamos por definir o sentido da força elétrica pela análise dos sinais das cargas em interação, de modo que a expressão matemática da lei de Coulomb, apresentada a seguir, será utilizada para determinar a intensidade da força elétrica entre as cargas.

$$|\vec{F}| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

Nessa expressão, q_1 e q_2 são os valores das cargas, que entram em módulo na fórmula, e d é a distância entre elas. O símbolo K é a constante de Coulomb, que depende do meio onde estão as cargas. Para o vácuo, pelo Sistema Internacional de Unidades, temos: $K = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$. Para utilizar esse valor de K, é preciso que as outras grandezas envolvidas também estejam nas unidades do SI: as cargas, em coulomb; a distância, em metro; e a força, em newton.

Princípio da superposição

De maneira geral, o princípio da superposição é utilizado para analisar o resultado da soma de vários efeitos simultâneos produzidos por fontes diferentes. Essa soma será escalar se as grandezas representantes forem escalares e será vetorial se as grandezas forem vetoriais.

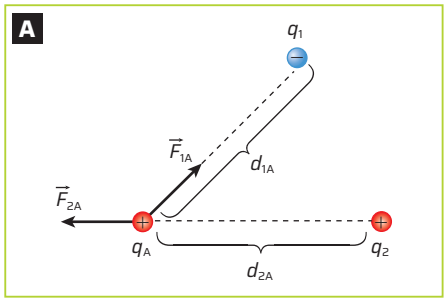
Um dos efeitos simultâneos ocorre pela presença de diversas forças elétricas em um único corpo. Essas forças se superpõem, de maneira que os efeitos dessa superposição são explicitados pela análise da força resultante. Para determinar a força elétrica resultante da ação entre uma carga q_A (imagem **A**) e várias outras cargas próximas q_1, q_2, etc., utiliza-se o princípio da superposição, aplicando-se aos pares de força a expressão matemática da lei de Coulomb:

$$|\vec{F}_{1A}| = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_1|}{d_{1A}^2}$$

$$|\vec{F}_{2A}| = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_2|}{d_{2A}^2}$$

Nessa expressão, $|\vec{F}_{1A}|$ é o módulo da força elétrica de interação entre as cargas q_A e q_1, distantes d_{1A} entre si, e $|\vec{F}_{2A}|$ é o módulo da força elétrica de interação entre as cargas q_A e q_2, distantes d_{2A} entre si.

A mesma aplicação desse princípio pode ser feita para analisar a alteração provocada em um ponto do espaço devido à existência de vários campos elétricos e de cargas associadas próximas a esse ponto.



Setup Bureau/ID/BR

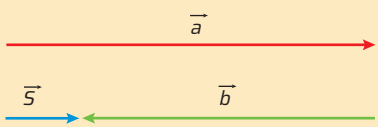
Representação sem proporção de tamanho.

De acordo com o princípio da superposição, uma mesma carga q_A fica submetida à força elétrica devido à carga $q_1(\vec{F}_{1A})$ e à força elétrica devido à carga $q_2(\vec{F}_{2A})$.

DE OLHO NO CONCEITO

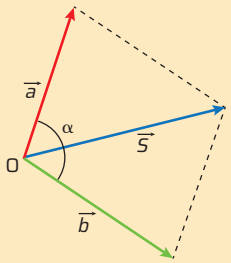
Soma vetorial

- **Vetores na mesma direção**
  Quando os vetores apresentam a mesma direção, adicionam-se algebricamente seus valores.
  No exemplo a seguir, observam-se dois vetores com mesma direção (horizontal) e sentidos opostos. Nesse caso, a resultante $\vec{S}$ terá direção horizontal e sentido para a direita. A intensidade é calculada por: $S = a - b$.



ID/BR

- **Vetores em diferentes direções**
  Para determinar o vetor resultante de dois vetores cujas direções formam um ângulo α entre si, usamos a regra do paralelogramo e calculamos sua intensidade por meio da seguinte expressão:
  $S^2 = a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \alpha$



ID/BR

Um caso particular da soma de dois vetores em diferentes direções é a ocorrência de vetores perpendiculares. Nesse caso, também utilizamos a regra do paralelogramo, e a resultante é calculada pelo teorema de Pitágoras:
$S^2 = a^2 + b^2$

Não escreva no livro.

CAMPO ELÉTRICO

Para descrever as interações nas quais não ocorre contato físico entre os corpos envolvidos, criou-se o conceito de campo.

O **campo elétrico** é gerado por cargas elétricas no espaço ao redor delas e possibilita a interação entre essas cargas com outras na região.

O campo elétrico é um campo vetorial, com módulo, direção e sentido, representado por $\vec{E}$. O módulo mede a intensidade do campo, que diminui conforme aumenta a distância até a carga que o produz.

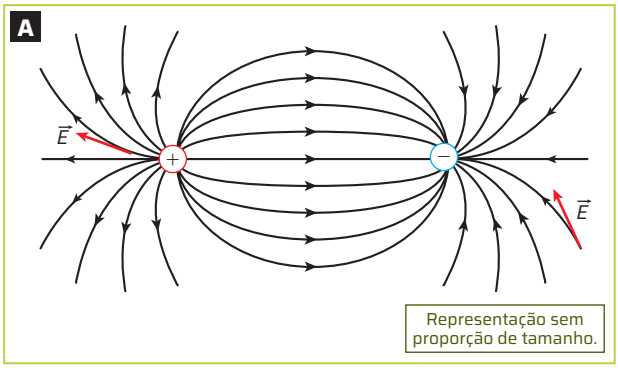
Uma maneira de representar um campo elétrico consiste em desenhar linhas ao redor da carga (indicando a direção e o sentido delas), as quais são chamadas de **linhas de campo**. O campo $\vec{E}$ em cada ponto tem direção tangente às linhas.

O sentido das linhas de campo ao redor de cargas positivas ou negativas é definido em função do sentido da força que age sobre uma pequena carga ***q*** positiva.

Assim, os campos gerados por cargas positivas são representados por setas que apontam para fora, e campos gerados por cargas negativas são representados por setas direcionadas para dentro da carga.

A distribuição das linhas de campo depende da forma do corpo eletrizado e da própria intensidade (módulo) do campo elétrico. Quanto maior a densidade de linhas, ou seja, quanto mais próximas umas das outras, maior é a intensidade do campo elétrico naquela região.

Quando há outras cargas ao redor, as formas das linhas de campo se alteram segundo o princípio da superposição, possibilitando a representação da "soma" das linhas de campo na região localizada entre duas ou mais cargas (imagem **A**).



Setup Bureau/ID/BR

Representação das linhas de campo elétrico de um par de cargas elétricas com sinais opostos. Cores-fantasia.

Quando isso ocorre, há uma interação entre as cargas, intermediada pelo campo elétrico, que se manifesta na forma da força elétrica.

Campo elétrico de uma carga pontual

Uma carga pontual gera um campo a seu redor, de maneira que, para cada ponto do espaço, há um vetor campo elétrico $\vec{E}$. A direção desse vetor em cada ponto do espaço é a da reta que une o ponto à carga pontual. O sentido depende do sinal da carga: se a carga for positiva, o vetor campo elétrico tem o sentido de afastar-se da carga; se for negativa, o vetor aponta para ela.

A intensidade do vetor campo elétrico em um ponto *P*, que está a uma distância *d* de uma carga pontual *Q*, é dada por:

$$|\vec{E}| = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

Se houver outra carga *q* na região do campo, haverá entre as duas cargas uma força elétrica $\vec{F}$ cuja intensidade pode ser calculada pela expressão da lei de Coulomb:

$$|\vec{F}| = K \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Substituindo a expressão do campo elétrico de uma carga pontual nessa expressão, o campo elétrico $\vec{E}$ gerado pela carga *Q* relaciona-se à força elétrica $\vec{F}$ recebida pela carga *q* e é representado pela seguinte expressão:

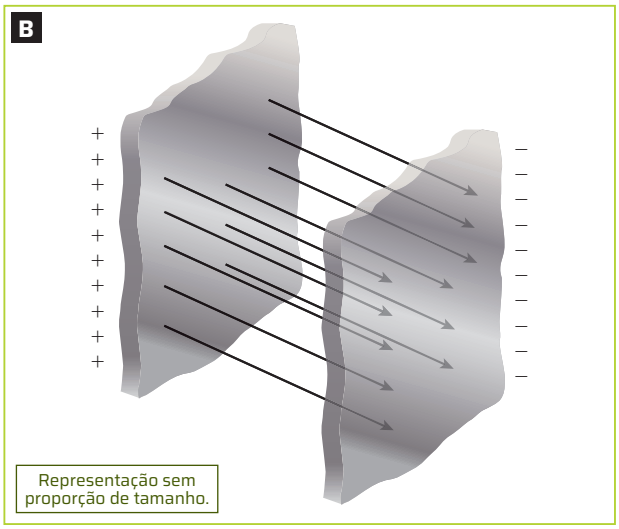
$$|\vec{F}| = |q| \cdot |\vec{E}|$$

Considerando que $|\vec{F}|$ é medida em newton (N) e *q* é medida em coulomb (C), concluímos que a unidade de campo elétrico no SI é N/C.

Campo elétrico uniforme

Um campo elétrico em uma região do espaço é considerado uniforme quando seu módulo, sua direção e seu sentido são constantes em todos os pontos da região considerada. Essa situação é representada pela distribuição uniforme de linhas de campo, com retas paralelas igualmente espaçadas.

Uma maneira de gerar um campo uniforme é eletrizar duas placas de metal paralelas de sinais opostos (imagem **B**).



Setup Bureau/ID/BR

Campo elétrico uniforme entre duas placas condutoras paralelas. Cores-fantasia.

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

O trabalho realizado para deslocar uma carga em um campo elétrico armazena energia potencial elétrica e é assim expresso:

$$W_F = E_{P_i} - E_{P_f}$$

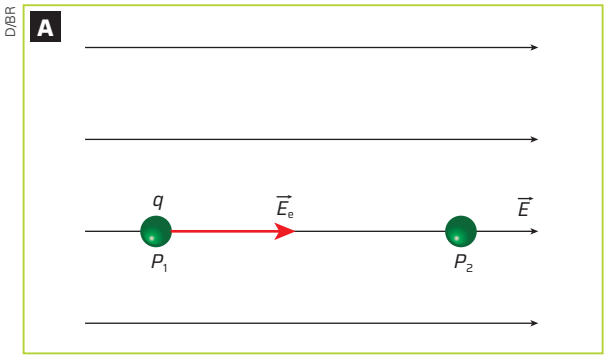
Nessa equação, W_F é o trabalho realizado pela força elétrica F; E_{P_i} é a energia potencial elétrica na posição inicial da carga elétrica; e E_{P_f} é a energia potencial elétrica na posição final da carga elétrica.

Assim como a força gravitacional, a força elétrica é conservativa. Desse modo, a energia potencial elétrica (como a energia potencial gravitacional) não depende da trajetória da partícula, mas somente de suas posições inicial e final.

Uma carga q adquire energia potencial ao ser colocada no ponto P_1 em repouso por uma ação externa. Ao se deslocar de P_1 até P_2, a energia cinética varia, pois sofre a ação de uma força elétrica F, o que resulta em um trabalho W, proporcional ao deslocamento da carga.

Observe as situações a seguir.

- Carga q (pontual) solta em repouso em uma região na qual há campo elétrico uniforme (imagem **A**).



O campo elétrico é uniforme, F é constante. A energia potencial elétrica é dada por:

$$E_{P_i} = q \cdot E \cdot d$$

Nessa equação, q é a carga, E é o campo uniforme e d é o deslocamento entre P_1 e P_2.

- Carga q solta em repouso em uma região na qual há um campo elétrico de outra carga pontual Q.

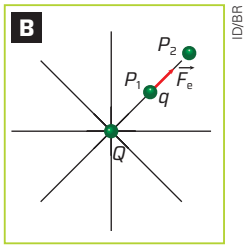
  O campo elétrico **não** é uniforme. A energia potencial é dada em relação ao infinito por:

$$E_P = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d}$$

Nessa equação, K é a constante do meio e d é a distância entre as cargas que interagem (a carga geradora do campo Q e a carga de prova q).

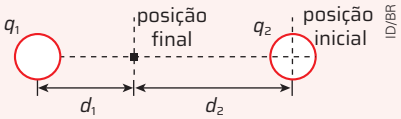
Nessa situação:

- caso as cargas tenham sinais diferentes, a energia potencial elétrica final do sistema é negativa (imagem **B**).



ATIVIDADE RESOLVIDA

Duas cargas, $q_1 = 1\ \mu C$ e $q_2 = 2\ \mu C$, são dispostas como mostra a figura. Depois, a carga q_2 é deslocada até a posição final indicada na mesma figura. A distância d_1 é 4 cm, e a distância d_2 é 8 cm. Considere: $K = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$.



Calcule:

a) a energia potencial do sistema quando q_2 está na posição inicial;

b) a energia potencial do sistema quando q_2 está na posição final;

c) o trabalho realizado pela força externa para deslocar a carga q_2 da posição inicial à posição final.

Resolução

a) A distância entre q_1 e q_2 na posição inicial é:

$d_i = d_1 + d_2 = (4 + 8)\ cm = 12\ cm = 12 \cdot 10^{-2}\ m$

Para calcular a energia potencial inicial, aplicamos a equação: $E_{P_i} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_i}$

Substituindo os valores, temos:

$$E_P = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{12 \cdot 10^{-2}} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 1{,}5 \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-2}} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2$$

Portanto: $E_{P_i} = 1{,}5 \cdot 10^{-1}\ J$

b) A distância entre q_1 e q_2 na posição final é:

$d_f = 4\ cm = 4 \cdot 10^{-2}\ m$

Para calcular a energia potencial final, usamos a equação $E_{P_f} = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_f}$ e substituímos os valores.

$$E_{P_f} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-2}} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 4{,}5 \cdot \frac{10^{-3}}{10^{-2}} = 4{,}5 \cdot 10^{-1}$$

Portanto: $E_{P_f} = 4{,}5 \cdot 10^{-1}\ J$

c) O trabalho realizado pela força externa para deslocar q_2 entre a posição inicial e a final é dado por:

$W = E_{P_i} - E_{P_f}$

$W = 1{,}5 \cdot 10^{-1} - 4{,}5 \cdot 10^{-1} = -3{,}0 \cdot 10^{-1}\ J$

Não escreva no livro.

POTENCIAL ELÉTRICO

O potencial elétrico é uma grandeza escalar que indica a quantidade de trabalho que deve ser realizado sobre uma carga unitária para movê-la de um referencial no infinito até um ponto na região do campo elétrico. Em uma região com campo elétrico, cada ponto do espaço está associado um potencial elétrico, o que resulta em uma diferença de potencial entre dois pontos.

A **diferença de potencial elétrico (ddp)** entre dois pontos, também chamada **tensão elétrica** ou **voltagem**, é igual ao trabalho (por unidade de carga) necessário para deslocar uma carga unitária *q* entre dois pontos localizados em uma região com campo elétrico.

Essa definição é expressa pela seguinte equação matemática:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

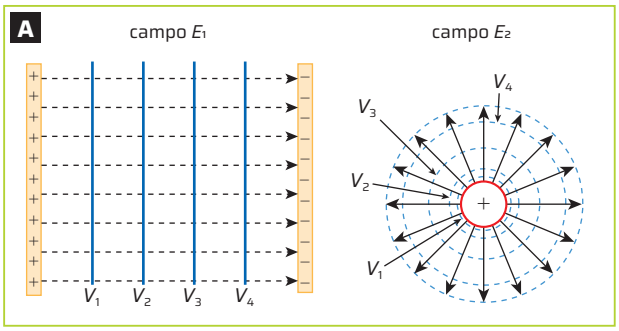
Isto é, a diferença de potencial entre os pontos *A* e *B*, devido ao campo elétrico, é definida como a razão entre o trabalho realizado pela força elétrica ao deslocar *q* de *A* até *B* e o valor da carga *q*.

A unidade de medida da diferença de potencial no SI é o volt (V), e 1 V = 1 J/C.

Essa equação pode ser reescrita na forma $W_{AB} = q \cdot U_{AB}$. Ou seja, o trabalho para levar a carga *q* do ponto *A* ao ponto *B* é obtido ao se multiplicar a carga *q* pela diferença de potencial entre esses pontos.

Superfícies equipotenciais

Da mesma maneira que se usam linhas para representar o campo elétrico, é possível traçar linhas e superfícies que representem pontos do espaço onde o potencial elétrico tem o mesmo valor. Essas linhas e superfícies, denominadas equipotenciais, são sempre perpendiculares às linhas de campo (imagem **A**) e têm valores correspondentes ao potencial ao longo de cada superfície. Quanto mais perto de cargas positivas, maior é o potencial.



Setup Bureau/ID/BR

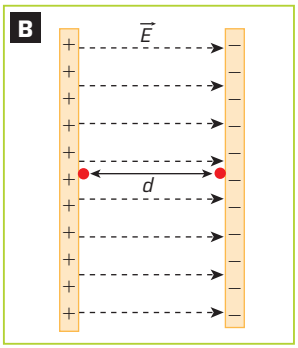
Superfícies equipotenciais em um campo elétrico uniforme (E_1) e em um campo elétrico não uniforme (E_2), produzido por carga pontual. Em E_1, as superfícies são planos paralelos às placas; em E_2, as superfícies são esféricas. Nos dois casos, as superfícies são perpendiculares ao campo elétrico. As marcações indicam o valor do potencial em cada superfície, sendo $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$.

Representações sem proporção de tamanho.

Para calcular a diferença de potencial entre dois pontos ao longo da direção de um campo uniforme (imagem **B**), parte-se da definição $U = \frac{W}{q}$. Uma vez que a força é constante, pode-se escrever $W = F_e \cdot d = q \cdot E \cdot d$. Substituindo a expressão para *U*, obtém-se $U = \frac{F_e \cdot d}{q} = \frac{q \cdot E \cdot d}{q}$ e chega-se, então, a:

$$U = E \cdot d$$

A diferença de potencial entre dois pontos ao longo de uma linha de campo elétrico uniforme é igual ao produto da intensidade do campo pela distância *d* que separa os dois pontos. Se forem assumidos dois pontos sobre as placas, *d* será a distância entre as duas placas, e *U* será a diferença de potencial entre elas.



Setup Bureau/ID/BR

Esquema mostrando dois pontos ao longo da direção de um campo elétrico uniforme, entre os quais se deseja medir a diferença de potencial.

PARA EXPLORAR

Leia

***Guia mangá de eletricidade*, de Kazuhiro Fujitaki. São Paulo: Novatec, 2010.**

Com exemplos do cotidiano, esse livro ajudará você a aprofundar seus conhecimentos sobre eletricidade. O capítulo 1 aborda aspectos da eletricidade na vida cotidiana, e sua leitura auxilia na compreensão de alguns dos conceitos que foram trabalhados até o momento.

Blindagem eletrostática

O campo elétrico resultante no interior de superfícies metálicas fechadas é nulo, fenômeno que é conhecido como blindagem eletrostática ou gaiola de Faraday. Corpos localizados no interior desse tipo de condutor não sofrem ação de interações elétricas externas, já que o campo elétrico no local é nulo e o potencial elétrico é constante. Na imagem da página 264, não se formam linhas de campo dentro do cilindro de metal por causa dessa propriedade.

Peter Menzel/SPL/Fotoarena

Gaiola de Faraday, no Museu de Ciência de Boston, Estados Unidos.

Não escreva no livro.

Interagindo com o campo elétrico

Em diversas situações do cotidiano, o uso de equipamentos elétricos pode gerar efeitos elétricos que são imperceptíveis. Mas é possível observar fenômenos elétricos gerados por objetos eletricamente carregados? Nesta atividade, você e os colegas vão fazer um experimento para observar fenômenos que envolvem campos elétricos.

Material

PARTE A

- uma embalagem longa vida de 1 L
- um prego
- um canudo plástico de refresco
- um balão de festa
- água

PARTE B

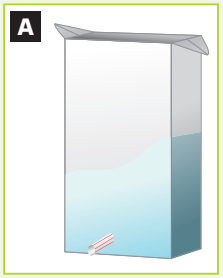
- base de madeira
- massa de modelar
- um canudo plástico de refresco (dobrável)
- disco de papel-alumínio de 1 cm de diâmetro
- um balão de festa
- uma lata metálica

ATENÇÃO! Tenham cuidado ao manusear o prego.

Como fazer

Parte A: Controlando a direção de um filete de água

1. Forme um grupo com os colegas. Abram completamente a parte de cima da caixa longa vida e encham-na com água. Utilizando o prego, façam um furo na parte mais baixa da caixa e introduzam nele um pedaço do canudo de refresco, de modo que direcione o fluxo da água (imagem **A**).



2. Encham um balão de festa com ar e tornem a encher com água a embalagem longa vida, impedindo com o dedo que a água escoe pelo canudo. Enquanto isso, peçam a um colega que eletrize o balão cheio atritando-o no cabelo.
3. Coloquem a embalagem longa vida sobre uma mesa e deixem a água escoar. Em seguida, aproximem o balão eletrizado do filete de água, movendo-o em torno do filete, e observem o que acontece. Procurem elaborar, com o grupo, uma explicação para o fenômeno observado usando os conceitos de carga elétrica e de campo elétrico.

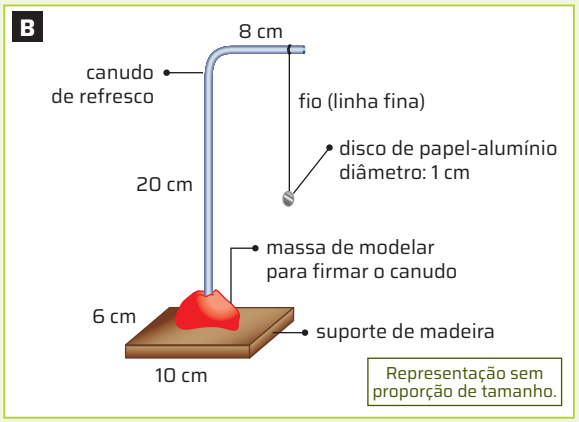
1. Quando um balão eletrizado é aproximado da água, o fluxo de água se desvia em direção ao balão. Esse fenômeno ocorre porque a carga elétrica do balão induz uma separação de cargas nas moléculas polares da água, atraindo-as para o balão devido à força de atração eletrostática.

2. Tanto na parte **A** como na parte **B** do experimento, ocorre uma força eletrostática devido à interação de objetos carregados. Na parte **A**, o balão, depois de atritado no cabelo, fica carregado. Quando esse balão é aproximado do filete de água, as moléculas de água se polarizam, isto é, se orientam de tal forma que as cargas de sinal oposto à carga do balão ficam mais próximas a este, ocorrendo o contrário com as cargas das moléculas de mesmo sinal que as do balão. Assim, a força que prevalece entre o balão e as moléculas de água polarizadas é de atração.

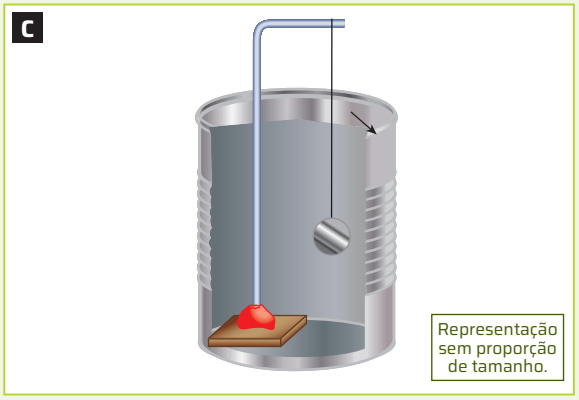
3. Ao aproximar o balão do pêndulo, ocorre a indução de cargas no disco, gerando uma força de atração que move o disco. Quando o pêndulo é colocado dentro da lata, ocorre a eletrização da lata. Mas, como o campo elétrico no interior da lata é nulo, o pêndulo não é mais afetado pela carga. A lata funciona como uma gaiola de Faraday.

Parte B: Blindagem eletrostática

4. Com a base de madeira, o canudo, a massa de modelar, a linha e o disco de papel-alumínio, montem um pêndulo eletrostático conforme a imagem **B**.



5. Atritem o balão cheio de ar no cabelo para eletrizá-lo. Em seguida, aproximem-no lentamente do disco de papel-alumínio, sem deixar que se toquem. Caso haja contato entre eles, neutralizem o disco de papel-alumínio tocando-o com os dedos.
6. Em seguida, coloquem o pêndulo eletrostático dentro da lata metálica (imagem **C**) e aproximem o balão da lata. Observem atentamente o que ocorre.



Para concluir

1 **Descreva em detalhe o que foi observado na parte A desse experimento. Qual é a explicação para o fenômeno observado?**

2 **O que há em comum, fisicamente, entre a experiência da parte B e a da parte A? O que há de diferente entre elas?**

3 **Com relação à parte B, procure explicar o que acontece com o pêndulo eletrostático em termos de cargas e campos elétricos.**

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 A intensidade da força elétrica entre duas cargas elétricas, uma de $+3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C e outra de $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, é $4{,}6 \cdot 10^{-8}$ N. Sabendo que as cargas estão no vácuo ($K = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²), responda ao que se pede.

a) Calcule a distância entre as duas cargas.

b) O que ocorrerá com a intensidade da força elétrica caso a carga positiva seja reduzida à metade?

c) Considerando o que está descrito no item **b** para a carga positiva, qual será a nova intensidade da força elétrica de atração se a distância entre as cargas for reduzida à metade?

Resolução

a) Para calcular a distância entre as duas cargas, substituem-se os dados na expressão da lei de Coulomb:

$$|\vec{F}| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

$$4{,}6 \cdot 10^{-8} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{d^2}$$

$$d^2 = \frac{46 \cdot 10^{-29}}{4{,}6 \cdot 10^{-8}} = 10 \cdot 10^{-21} = 10^{-20}$$

$$d = \sqrt{10^{-20}} = 10^{-10} \cdot d = 10^{-10} \text{ m}$$

b) A força também será reduzida à metade, ou seja, será de $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ N.

c) Como a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância, se a distância entre as cargas for reduzida à metade, a força aumentará quatro vezes em relação ao valor obtido no item **b**. Isto é, $4 \cdot 2{,}3 \cdot 10^{-8} = 9{,}2 \cdot 10^{-8}$ N.

2 A intensidade da força elétrica entre duas cargas elétricas, uma de $+4{,}0 \cdot 10^{-10}$ C e outra de $-3 \cdot 10^{-10}$ C, é $12 \cdot 10^{-5}$ N. **Dado**: as cargas estão no vácuo ($K = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²).

a) Calcule a distância entre as duas cargas. $d = 3 \cdot 10^{-3}$ m

b) O que ocorrerá com a intensidade da força elétrica caso a carga negativa seja reduzida à metade?

c) Considerando o que está descrito no item **b** com a carga negativa, qual será a nova intensidade da força elétrica de atração se a distância entre as cargas dobrar? $|F| = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ N

2. b) $|F'_R| = 6 \cdot 10^{-5}$ N

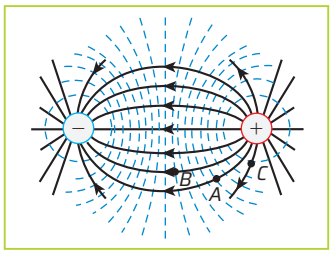
3 Considere uma carga pontual de -4 C e um ponto P a uma distância de 2 m da carga, no vácuo. Adote $K = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C². **3. b)** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) Calcule a intensidade do campo elétrico gerado pela carga no ponto P. $E = 9 \cdot 10^9$ N/C

b) Desenhe a representação gráfica da situação descrita, indicando os valores da carga, da distância e da intensidade do campo elétrico.

4 Duas cargas elétricas de mesma intensidade e de sinais opostos são colocadas próximas, como mostra a figura a seguir.

4. a) *C, A, B.* A intensidade do campo em *C* é maior que em *A*, que, por sua vez, é maior que em *B*.



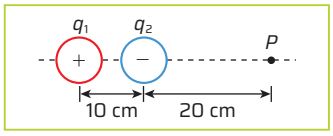
Setup Bureau/ID/BR

a) Coloque os pontos *A*, *B* e *C*, indicados na figura, em ordem decrescente de intensidade de campo.

b) Explique o critério utilizado.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 Uma carga q_1 de +6 nC e uma carga q_2 de −2 nC estão a 10 cm de distância, no vácuo, conforme mostra a figura a seguir. **Dado**: $K = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C².



Setup Bureau/ID/BR

No ponto P, não há carga elétrica, e P está a 20 cm da carga q_2.

a) Calcule a intensidade do campo elétrico no ponto P devido à carga q_1. $E_1 = 6 \cdot 10^2$ N/C

b) Calcule a intensidade do campo elétrico no ponto P devido à carga q_2. $E_2 = -4{,}5 \cdot 10^2$ N/C

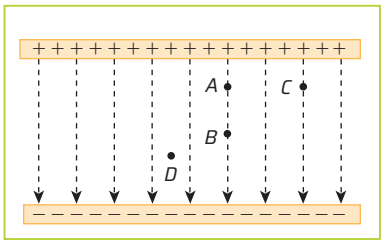
c) Represente graficamente os campos elétricos existentes no ponto P. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

d) Calcule o valor do campo elétrico resultante no ponto P. $E_R = 1{,}5 \cdot 10^2$ N/C

e) Represente, no caderno, o campo elétrico resultante. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 Considere o campo elétrico uniforme representado pela figura a seguir.

6. a) Os pontos com o mesmo potencial estão a distâncias iguais em relação às placas. São os pontos *A* e *C*.



Setup Bureau/ID/BR

a) Identifique dois pontos com o mesmo potencial.

b) Coloque os pontos em ordem crescente de potencial. $U_D < U_B < U_A = U_C$ **6. b)** Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 É possível calcular a diferença de potencial entre duas placas que estão carregadas com cargas de sinais opostos, sabendo que há um campo elétrico constante e igual a 2 V/m no interior delas? Justifique.

7. Sabendo que $U = \frac{W}{q}$ e que $W = F \cdot d$, temos $U = \frac{(F \cdot d)}{q}$. Como $\frac{F}{q} = E$, temos $U = E \cdot d$. Como não conhecemos a distância entre as placas, não é possível calcular a diferença de potencial entre elas.

Não escreva no livro.

CORRENTE ELÉTRICA E CIRCUITOS ELÉTRICOS

2. Respostas variáveis. Um circuito elétrico simples é composto de uma fonte de energia (por exemplo, pilhas, baterias ou geradores elétricos), aparelhos elétricos e um interruptor para ligar e desligar o aparelho. Ao ligar, o circuito elétrico está fechado e uma corrente elétrica passa por ele, e a energia elétrica passa a alimentar o aparelho.

PARA COMEÇAR

1. Você já levou um choque elétrico? Sabe por que ele acontece?
2. Você já viu algum circuito elétrico? Sabe como ele funciona?

1. Resposta pessoal. O choque elétrico é uma lesão que ocorre quando dois pontos distintos do corpo são submetidos a uma diferença de potencial, de forma que uma corrente elétrica circula por ele.

CORRENTE ELÉTRICA E CONDUTIVIDADE EM METAIS

Você já observou alguma ave pousada em fios da rede elétrica urbana, como mostra a foto a seguir? Em caso afirmativo, já se perguntou por que esses animais pousam nos fios e não são eletrocutados?

Sabe-se que esse tipo de fio é percorrido por corrente elétrica e, por isso, seria muito perigoso encostar nele. Mesmo profissionais das companhias elétricas, ao realizar qualquer manutenção, devem utilizar equipamentos de proteção individual, como luvas, capacete, óculos, entre outros.

Para entender as razões de as aves não serem eletrocutadas, devemos entender o que é preciso para uma corrente elétrica percorrer um circuito, quais são os tipos de elementos do circuito e como eles devem ser conectados corretamente.

Neste capítulo, você vai estudar a corrente elétrica e os circuitos elétricos, que são a base de funcionamento de aparelhos como geladeiras, ventiladores, máquinas de lavar roupa, televisores, computadores, celulares, entre outros.

Muitas aves costumam pousar em fios da rede elétrica. Ribeirão Preto (SP). Foto de 2024.

Claudio Morini/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

O movimento dos elétrons

Antigamente, imaginava-se a corrente elétrica como um fluido que escoasse de modo similar ao escoamento da água em tubulações. Essa ideia foi superada, mas ainda se reconhece que a carga elétrica pode deslocar-se de um ponto a outro pelo movimento de elétrons ou de outros portadores de carga elétrica, como os íons.

Parte dos elétrons que constituem um fio de cobre tem movimentação livre e ligação fraca com os átomos do metal, movendo-se desordenadamente entre os átomos em uma certa região e em todas as direções, de forma aleatória. Na média, não há deslocamento, e a velocidade média do coletivo desses elétrons é nula.

Essa situação de equilíbrio ocorre porque as colisões entre os elétrons e os átomos transferem energia de movimento (em média na mesma quantidade) tanto dos elétrons para os átomos de cobre quanto dos átomos para os elétrons. Em metais como o cobre, os átomos formam uma rede cristalina, mas não permanecem totalmente imóveis, apresentando vibrações em torno de posições de equilíbrio. É o que chamamos de agitação térmica, que macroscopicamente pode ser associada à temperatura do corpo.

Quando se estabelece um campo elétrico $\vec{E}$ ao longo do fio de cobre, surgem forças elétricas $\vec{F}$ que agem sobre os elétrons, na mesma direção do campo elétrico $\vec{E}$, mas em sentido oposto, uma vez que as cargas dos elétrons são negativas. Embora os elétrons ainda apresentem certa aleatoriedade em seus movimentos individuais, a presença do campo elétrico faz que, coletivamente, esse movimento apresente um certo ordenamento (imagens **A** e **B**). Esse movimento razoavelmente ordenado é chamado **corrente elétrica**.

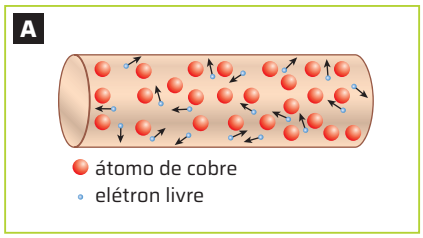
DE OLHO NO CONCEITO

Tipos de corrente elétrica

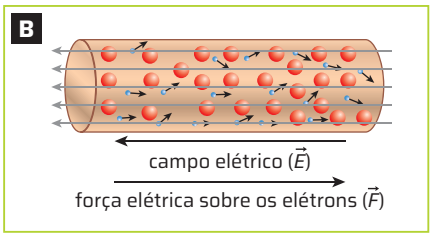
A corrente elétrica pode ser classificada em corrente contínua e corrente alternada.

- **Corrente contínua (CC)** é o tipo de corrente elétrica em que os elétrons fluem no mesmo sentido. O campo elétrico mantém sua direção e sentido. Esse tipo de corrente elétrica é comum em equipamentos ligados a pilhas ou baterias.
- **Corrente alternada (CA)** é o tipo de corrente elétrica em que os elétrons fluem alternando periodicamente o sentido. O campo elétrico oscila, invertendo seu sentido periodicamente. Essa modalidade de corrente elétrica é utilizada na rede elétrica que fornece eletricidade a residências e indústrias.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



Fio de cobre sem corrente elétrica: movimento aleatório dos elétrons. Cores-fantasia.



Fio de cobre com corrente elétrica: movimento dos elétrons, submetidos ao campo elétrico, em direção e sentido resultantes. Cores-fantasia.

Representação sem proporção de tamanho.

Um exemplo do estabelecimento de campo elétrico $\vec{E}$ ao longo de um fio de cobre ocorre na ligação entre as suas extremidades e os polos de uma pilha, com a formação de corrente elétrica e o acendimento de uma lâmpada.

Corrente elétrica é o resultado do movimento relativamente ordenado dos portadores de carga elétrica em determinado meio.

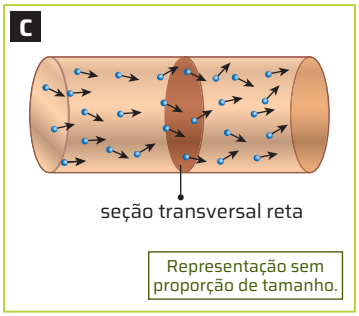
A intensidade da corrente elétrica tem relação direta com a quantidade de carga elétrica transportada. Para quantificar o fluxo, considera-se a quantidade de carga que passa por uma seção transversal reta do condutor em determinado intervalo de tempo (imagem **C**).

A intensidade de corrente elétrica i é dada pela razão entre a quantidade Q de carga elétrica transportada que atravessa uma seção transversal reta do condutor e o intervalo de tempo Δt dessa travessia.

Matematicamente, essa razão é expressa da seguinte maneira:

$$i = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

Nessa expressão, observamos que a intensidade de corrente elétrica é dada em C/s, que também é chamado ampere (A), sendo 1 A = 1 C/s.

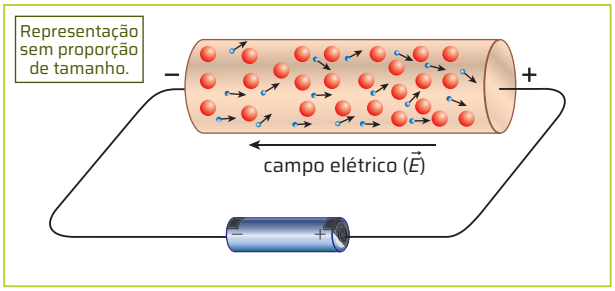


Setup/Bureau/ID/BR

É possível quantificar esse fluxo, considerando-se a quantidade de carga que passa por uma seção transversal reta do condutor em determinado intervalo de tempo. Cores-fantasia.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA E A PRIMEIRA LEI DE OHM

O esquema a seguir representa uma pilha elétrica ligada a um fio de cobre, situação que estabelece um campo elétrico do qual resulta uma corrente elétrica. O sentido desse campo elétrico no interior do fio está indicado na figura.



Setup Bureau/ID/BR

O sentido do campo elétrico em um fio orienta-se do polo positivo para o negativo. Esse campo promove um movimento coletivo ordenado dos elétrons e faz com que eles adquiram certo alinhamento ou direção preferencial. Cores-fantasia.

Durante a travessia dos elétrons livres pelo condutor, ocorrem diversos choques entre eles e deles com os átomos do metal. Como esses choques dificultam a passagem dos elétrons, podemos dizer que o fio condutor apresenta resistência, identificada pela letra ***R***, à passagem da corrente elétrica.

O circuito formado por uma pilha ligada aos terminais de um fio condutor de resistência *R*, por exemplo, apresenta uma diferença de potencial (*U*) – também chamada ddp ou tensão elétrica – aplicada a esses terminais. Ligada a condutores diferentes, porém, a mesma pilha estabelece correntes elétricas de intensidades diferentes em cada um desses condutores. A resistência elétrica de um condutor desempenha importante papel no circuito em que ele está instalado. Em geral, nesses casos, os condutores passam a ser chamados resistores.

Para um resistor de resistência *R* ligado a um circuito com tensão *U* variável, podemos estabelecer uma relação entre *U* e a intensidade da corrente elétrica *i*. Um modo de fazer isso é alterar o número de fontes no circuito. Por exemplo, se um resistor *R* for submetido à tensão *U* de uma pilha de 1,5 V, a intensidade da corrente *i*, medida no resistor, será 0,3 A. Se mais uma pilha de 1,5 V for ligada na sequência, a nova tensão *U* será 3 V, e a corrente *i* passará a ser 0,6 A. Dessa maneira, a cada valor de tensão aplicada, estabelece-se, no resistor *R*, uma corrente elétrica *i* cuja intensidade é diretamente proporcional a *U*. Definimos a resistência elétrica *R* por:

$$R = \frac{U}{i}$$

Essa relação é conhecida como **primeira lei de Ohm**. Para determinados condutores, a relação entre a tensão e a intensidade de corrente elétrica é constante, ou seja, sua resistência elétrica é constante. Tais dispositivos são denominados **ôhmicos**.

Concluímos, então, que, para o exemplo apresentado, a resistência elétrica é constante e é dada por:

$$R = \frac{1{,}5}{0{,}3} = \frac{3{,}0}{0{,}6} = 5\ \Omega$$

No SI, *U* é dado em volt (V), em homenagem ao químico e físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), e *i* em ampere (A), em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère (1775-1836). A unidade de resistência é o **ohm** (Ω), em homenagem ao físico e matemático alemão Georg Simon Ohm (1789-1854), que verificou experimentalmente essa relação.

Com base no conceito de resistência elétrica, podemos também definir seu inverso, a **condutância elétrica *G***, em que $G = \frac{1}{R}$, sendo *G* medido em siemens (S ou Ω^{-1}), em homenagem ao inventor e industrial alemão Ernst Werner von Siemens (1816-1892), que inventou, entre outras coisas, o elevador elétrico.

Velocidade dos elétrons em um fio metálico

Devido à agitação térmica, os elétrons livres em um metal viajam a grandes velocidades (≈ 100 000 m/s). Mas, com a aplicação de um campo elétrico externo, o movimento coletivo dos elétrons apresenta uma velocidade muito pequena.

Em um fio de comprimento *L* e área da seção circular *A* ($\pi \cdot r^2$), a intensidade da corrente elétrica pode ser calculada do seguinte modo:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{(n \cdot A \cdot L) \cdot e}{\Delta t},$$

Nessa expressão, *n* é a densidade volumétrica de elétrons e *e* é a carga elementar. Assim:

$$i = n \cdot A \cdot e \cdot \frac{L}{\Delta t}$$

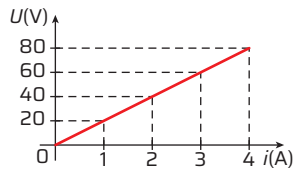
$$i = n \cdot A \cdot e \cdot v,$$

Nessa expressão, *v* é a velocidade média de avanço dos elétrons.

Em uma situação típica, temos: fio de cobre de 1,0 mm de raio, corrente de 1 A, $n \approx 10^{-22}$ elétron/cm³, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Substituindo esses dados na equação, tem-se $v \approx 0{,}2$ mm/s.

ROTEIRO

1. Um resistor apresenta esta curva característica:



ID/BR

a) Calcule sua resistência elétrica para $U = 60$ V. $R = 20\ \Omega$

b) Identifique se ele é ou não um resistor ôhmico e justifique sua resposta.

c) Calcule a intensidade da corrente elétrica que circulará por ele quando submetido a uma ddp de 120 V. $i = 6$ A

1. b) O resistor é ôhmico. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

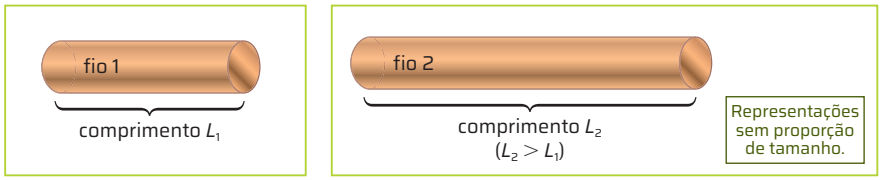
Não escreva no livro.

RESISTIVIDADE ELÉTRICA E A SEGUNDA LEI DE OHM

A resistência elétrica de determinado dispositivo condutor de eletricidade (como um pedaço de fio, por exemplo) certamente depende do material que o constitui. No entanto, há outras informações acerca do condutor que precisam ser levadas em consideração para identificar sua resistência elétrica e compará-lo adequadamente com outro condutor. As análises a seguir ajudam a compreender quais são essas variáveis e como elas podem ser relacionadas entre si no caso de fios condutores.

1) Comparando dois pedaços de fio de mesma resistividade (ρ, propriedade de cada material que o caracteriza eletricamente, sem depender de sua geometria) e mesma espessura, sendo um mais longo e outro mais curto:

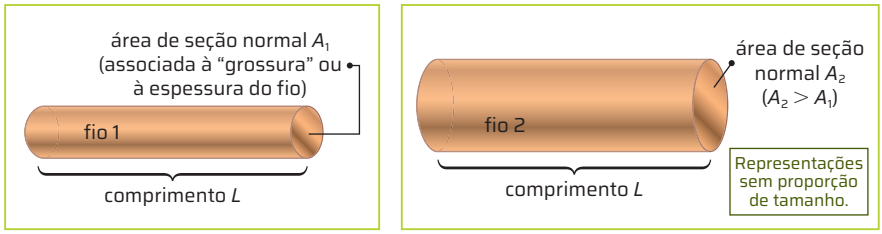
Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



Para que a corrente atravesse o fio mais longo, o número de colisões entre os elétrons livres e os átomos da rede será maior. Pode-se verificar experimentalmente que a resistência é maior para o comprimento maior de fio, ou seja, a resistência depende diretamente do comprimento do fio. Cores-fantasia.

2) Comparando dois pedaços de fio de cobre de mesma resistividade e mesmo comprimento, sendo um mais "fino" e outro mais "grosso":

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



O fio de maior seção apresentará menor resistência elétrica, pois o número de colisões entre os elétrons livres e os átomos da rede tende a ser menor. Portanto, a resistência elétrica é inversamente proporcional à área de seção normal à passagem da corrente elétrica. Cores-fantasia.

3) Comparando dois pedaços de fio de mesmo comprimento e mesma espessura, sendo um de cobre (ρ_1) e outro de ferro (ρ_2):

Setup Bureau/ID/BR

Nesse caso, sendo o comprimento e a área de seção idênticos nos dois fios, a resistência elétrica deles será determinada exclusivamente pelas resistividades dos materiais de que são feitos. O material de maior resistividade acarretará maior dificuldade à corrente elétrica. Experimentalmente, verifica-se que a resistência elétrica é proporcional à resistividade do material de que são feitos os fios. Cores-fantasia.

Todas essas observações podem ser agrupadas em uma relação conhecida como **segunda lei de Ohm**, dada por:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Nessa relação, R é a resistência elétrica (em Ω), L é o comprimento do fio (em m), A é a área de seção (em m²) e ρ é a resistividade do material (em $\Omega \cdot$ m).

Tabela de resistividade

A resistividade de um material ou de uma substância é obtida indiretamente por medições feitas no condutor. As medições são geométricas (comprimento e área de seção) e elétricas (ddp em seus terminais e intensidade da corrente elétrica). Além disso, a resistividade pode não ser constante, dependendo, entre outros fatores, da temperatura do material no momento da medição.

Vale observar que a resistividade é uma "assinatura elétrica" que caracteriza a substância ou o material que constitui o condutor.

A tabela a seguir apresenta o valor de resistividade elétrica de materiais e substâncias à temperatura de 20 °C.

Resistividade de materiais a 20 °C (em $\Omega \cdot$ m)

Material	Resistividade
prata	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
cobre	$1{,}7 \cdot 10^{-8}$
ouro	$2{,}4 \cdot 10^{-8}$
alumínio	$2{,}65 \cdot 10^{-8}$
ferro	$\cong 1{,}0 \cdot 10^{-7}$
platina	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$
borracha	$\cong 1{,}0 \cdot 10^{13}$
vidro	10^{11} a 10^{15}

ROTEIRO

2. Um cabo elétrico tem comprimento L, diâmetro d e resistência elétrica R. Por meio de alguns processos técnicos, seu comprimento é reduzido à metade e seu diâmetro é aumentado duas vezes.

a) Por meio de comparações mentais, elabore uma previsão do que vai ocorrer com a resistência elétrica desse cabo com a mudança descrita. A resistência reduz sensivelmente.

b) Calcule a razão entre a nova resistência elétrica e seu valor anterior. $\frac{1}{8}$

ELETRICIDADE, RESISTÊNCIA E CHOQUES ELÉTRICOS

Danilo Verpa/Folhapress

Alto risco: ligações clandestinas (os chamados "gatos") na rede elétrica e telefônica revelam os efeitos da exclusão econômica em que vive parte da população e o difícil acesso a serviços básicos. Essas ligações clandestinas podem causar graves acidentes. São Paulo (SP). Foto de 2023.

Dudu Contursi/Pulsar Imagens

Risco calculado: no rio Tramandaí, em Tramandaí (RS), embarcações podem passar entre torres de alta tensão, proporcionando uma viagem "emocionante", pois é preciso muito cuidado ao navegar próximo à rede elétrica. Foto de 2021.

Ao longo dos séculos, o ser humano passou do fascínio e do temor em relação a descargas elétricas na natureza (como os raios em uma tempestade) a um bom domínio da eletricidade. A tecnologia resultante desse conhecimento espalhou-se por quase todas as partes do mundo, e podemos dizer que a sociedade atual é muito dependente de sua utilização. A eletricidade proporciona conforto às pessoas por meio da iluminação elétrica, do aquecimento de água, do lazer (cinema, parques de diversão, *shows*, etc.) e das comunicações (celular, internet, rádio, televisão, entre outros meios), por exemplo. Mas esse conforto tem um alto custo, que não é apenas financeiro.

Entre outros problemas, a população das grandes cidades vive imersa em uma rede de fios e cabos elétricos. A imagem **A** destaca a proximidade entre redes elétricas e atividades humanas, o que desperta cuidados com a segurança das pessoas e de animais. Ela mostra um emaranhado de fios de energia e de cabos, que, infelizmente, é comum ver nos grandes centros urbanos. Já a imagem **B** mostra que, mesmo que as torres de alta tensão estejam na água, elas foram projetadas e planejadas para que exista o menor risco possível para as embarcações que naveguem por ali.

No entanto, a rede elétrica parece não causar nenhum dano às aves que pousam nela, como se vê na foto da abertura do capítulo. Isso porque a tensão elétrica nas extremidades do corpo propicia a passagem de uma corrente elétrica cuja intensidade depende da resistência elétrica oferecida por esse corpo. Assim, para uma tensão fixa, se a resistência elétrica for grande, a intensidade da corrente elétrica será pequena, e os danos que ela pode causar são mínimos. Acidentes por superaquecimento dos fios e faíscas elétricas, que podem causar queimaduras e graves lesões aos seres vivos, estão associados à intensidade da corrente elétrica, e não necessariamente à tensão elétrica entre as extremidades do corpo analisado.

Para as aves pousadas em fios da rede elétrica, a resistência elétrica apresentada pelo trecho de fio sob seus pés é muito pequena. Já a resistência do corpo do animal, por sua vez, é muito grande quando comparada a esse trecho de fio. Como a ave toca apenas em um fio, a diferença de potencial entre as duas patas é quase nula e a corrente flui apenas pelo fio, que tem resistência elétrica muito menor. Portanto, a corrente elétrica que flui pelo corpo da ave é desprezível.

AÇÃO E CIDADANIA

Choques elétricos: em casa, toda prevenção é pouca

Veja algumas dicas de prevenção de acidentes elétricos em residências.

- Com crianças pequenas e animais de estimação em casa, utilize tampões nas tomadas e redobre a atenção com os aparelhos elétricos.
- Não desconecte os aparelhos puxando o fio elétrico; retire o plugue da tomada.
- Limpe aparelhos elétricos somente quando estiverem desligados e desconectados da tomada.
- Se um aparelho elétrico cair dentro da água, retire o plugue da tomada antes de tocar na água.
- Mantenha, sempre que possível, cabos e fios fora da área de circulação de pessoas.
- Nunca utilize faca ou outra ferramenta metálica para desconectar um equipamento da rede elétrica.
- Não mexa na rede elétrica sem desconectar a chave-geral no quadro de eletricidade.

1. Pergunte aos colegas quem já levou um choque elétrico e faça uma pesquisa a respeito dos riscos de sofrer acidentes elétricos em casa.

1. Resposta pessoal. É importante orientar a turma sobre as fontes de pesquisa. Recomende aos estudantes priorizar as buscas de informações em *sites* de instituições como corpo de bombeiros e empresas fornecedoras de energia elétrica. Se julgar oportuno, sugira a eles a elaboração de uma campanha na escola sobre os riscos de choques elétricos e os cuidados a serem tomados em casa, em especial com crianças.

Não escreva no livro.

POTÊNCIA ELÉTRICA

Você já deve ter observado que muitos aparelhos elétricos transformam em energia térmica parte da energia elétrica recebida, o que causa seu aquecimento. Em alguns deles, a energia térmica liberada é apenas um efeito secundário, como no caso dos televisores e do celular. Essa energia não é utilizada, mas pode interferir no funcionamento do aparelho, se resultar em superaquecimento. Já em outros aparelhos, como os chuveiros elétricos, por exemplo, o que se deseja utilizar é exatamente a energia térmica – no caso do chuveiro, ela aquece a água.

Toda situação que acarreta transformação ou simplesmente transferência de energia envolve o conceito físico de potência, que pode assim ser definido:

EC Design/Shutterstock.com/ID/BR

Nas embalagens de chuveiro, a potência é indicada em watt (W).

Potência é a medida da taxa de transformação ou transferência de energia em determinado intervalo de tempo.

A análise aqui apresentada é a transformação de energia elétrica em outros tipos de energia; portanto, trata-se da potência elétrica.

Em linguagem matemática, podemos escrever a expressão:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

De acordo com o SI, E é a energia transformada, expressa em joule (J); Δt, o intervalo de tempo, expresso em segundo (s); e P, a potência, em watt (J/s = W).

A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de transformação de energia elétrica.

TRANSFORMADORES DE ENERGIA ELÉTRICA EM OUTROS TIPOS DE ENERGIA						
Dispositivo	lâmpada fluorescente	chuveiro elétrico	aparelho de som	televisor	telefone celular	ventilador
Tipo(s) de energia resultante	luminosa e térmica	térmica	sonora e térmica	luminosa, sonora e térmica	sonora, luminosa e térmica	mecânica e térmica

Relação entre potência e intensidade de corrente elétrica

Quando um aparelho elétrico é ligado a uma fonte de energia elétrica, ele fica submetido a uma diferença de potencial U, e estabelece-se uma corrente elétrica de intensidade i.

O campo elétrico que se estabelece ao longo do circuito é responsável pelo transporte da carga elétrica Q, dada por meio da relação $Q = i \cdot \Delta t$.

A energia recebida por essa quantidade de carga elétrica Q pode ser obtida por $E = Q \cdot U$, que expressa o trabalho realizado pelo campo elétrico.

Considerando que toda a energia seja transferida para o aparelho elétrico, podemos escrever:

$$E = Q \cdot U \Rightarrow E = i \cdot \Delta t \cdot U$$

Dividindo ambos os membros da equação por Δt, temos:

$$\frac{E}{\Delta t} = \frac{i \cdot \Delta t \cdot U}{\Delta t}$$

Assim, obtemos a expressão da potência elétrica:

$$P = i \cdot U$$

Nessa expressão, P é dado em watt (W), i, em ampere (A) e U, em volt (V).

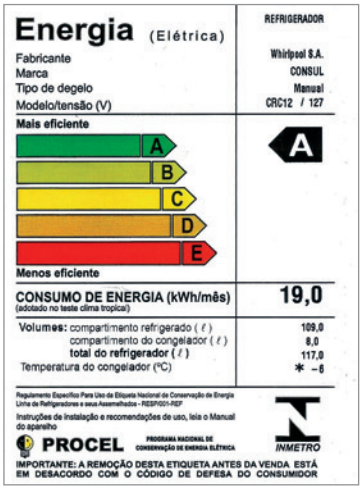
ROTEIRO

3. Uma lâmpada de LED tem as seguintes especificações técnicas: 15 W e 127 V. Calcule a intensidade da corrente elétrica que circula na lâmpada.
$i = 0{,}12$ A

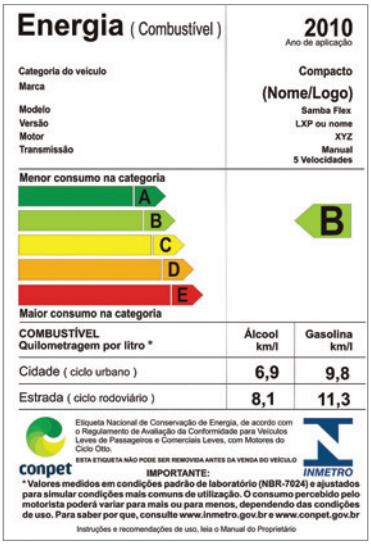
Eficiência energética

No Brasil, existe uma lei que estabelece que os fabricantes de aparelhos elétricos coloquem em seus produtos uma etiqueta que identifique algumas especificações, como a nota de eficiência energética.

Ilustrações: Inmetro/ID/BR



Etiqueta de eficiência energética de uma geladeira.



Etiqueta de eficiência energética de um automóvel *flex*.

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) iniciou programas para a racionalização do uso da energia no Brasil com base na divulgação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional.

Inicialmente pensados para o setor automotivo, por causa das crises do petróleo que afetaram o mundo na década de 1970, alguns projetos foram redirecionados e ampliados e ganharam o nome de Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

Fazem parte do PBE os programas de Avaliação da Conformidade, que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) para prestar informações sobre o desempenho dos produtos de acordo com sua eficiência energética.

ROTEIRO

4. Com relação à etiqueta de eficiência energética da geladeira, reproduzida nesta página, faça o que se pede.

a) Identifique a tensão de funcionamento. 127 V

b) Identifique também o consumo médio mensal de energia elétrica estimado para esse aparelho. 19 kWh/mês

c) Qual é a unidade de energia utilizada para apresentar esse consumo mensal? kWh

RESISTÊNCIA ELÉTRICA E EFEITO JOULE

Nos exemplos de dispositivos elétricos dados na tabela "Transformadores de energia elétrica em outros tipos de energia", todos os aparelhos mencionados apresentam certa resistência elétrica. Devido à presença de corrente elétrica, eles se aquecem, evidenciando que parte da energia elétrica se transforma em energia térmica (calor).

A transformação específica de energia elétrica em energia térmica, que ocorre pela passagem de corrente elétrica em um dispositivo, é chamada **efeito Joule**.

Uma explicação para o fenômeno: os elétrons livres, impulsionados pelo campo elétrico, percorrem o condutor de uma extremidade a outra. Os átomos da rede cristalina que compõem o metal já têm energia associada, por exemplo, à própria agitação térmica. Com a passagem dos elétrons livres, ocorre um aumento significativo do número de colisões entre os elétrons e os átomos do material condutor. A cada colisão, há uma transferência de energia dos elétrons para a rede, aumentando ainda mais a oscilação da rede e a energia de vibração dos átomos. Esse aumento contínuo da energia de vibração dos átomos se manifesta como um aumento da temperatura do condutor, ou seja, seu aquecimento.

O aquecimento do condutor comumente aumenta sua resistência elétrica, o que costuma prejudicar o desempenho de alguns dispositivos mais sensíveis, como os equipamentos eletrônicos em geral. Daí a necessidade de resfriamento externo. Mas há casos, como o dos aquecedores e o dos ferros de passar roupa, em que a energia térmica obtida é aproveitada externamente.

Não escreva no livro.

5. Significa que sua resistência elétrica, responsável pelo aquecimento da água, se rompeu, impedindo a passagem de corrente elétrica. O procedimento adotado nesse caso é a troca da resistência elétrica por uma nova.

Utilizando a relação dada pela primeira lei de Ohm, $U = R \cdot i$, podemos relacionar os dois resultados e chegar a duas expressões para a potência térmica associada ao seu funcionamento, também denominada potência dissipada:

$$P = R \cdot i^2 \text{ ou } P = \frac{U^2}{R}$$

ROTEIRO

5. Quando um chuveiro elétrico deixa de funcionar, costuma-se dizer que sua resistência "queimou". Explique essa ocorrência do ponto de vista da Física e o tipo de conserto que se pode fazer para que o chuveiro volte a funcionar.

Algumas aplicações do efeito Joule

A tabela a seguir apresenta alguns equipamentos cujo funcionamento se vale do efeito Joule.

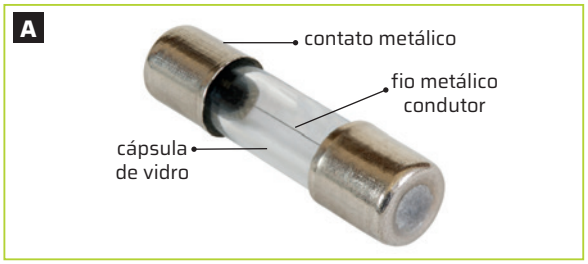
EQUIPAMENTOS QUE FUNCIONAM PELO EFEITO JOULE					
Ferro de passar	**Chuveiro elétrico**	**Secador de cabelo**	**Forno elétrico**	**Pistola de cola de silicone**	**Ferro de solda**
A base de metal do ferro é aquecida para passar a roupa.	A água é aquecida para o banho.	O ar é aquecido e soprado contra os cabelos, secando-os.	A bandeja metálica é aquecida para aquecer os alimentos.	O bastão de silicone é derretido pelo calor e utilizado como cola.	O estanho derretido pelo calor é usado para soldar partes metálicas em circuitos eletrônicos.

Fusíveis e disjuntores

Em circuitos elétricos, há dispositivos de segurança cuja principal função é interromper determinado trecho do circuito, protegendo equipamentos elétricos que estejam ligados a esse trecho. Os dois principais dispositivos que cumprem essa função são o fusível (imagem **A**) e o disjuntor (imagem **B**). O principal elemento do fusível é um fio metálico, que se aquece e funde quando percorrido por uma corrente elétrica muito intensa decorrente de uma sobrecarga elétrica, interrompendo o trecho do circuito e garantindo a proteção do equipamento. Quando um fusível desse tipo se funde, precisa ser substituído por um novo, tendo como vantagem seu baixo custo comparado com o dos demais elementos do circuito.

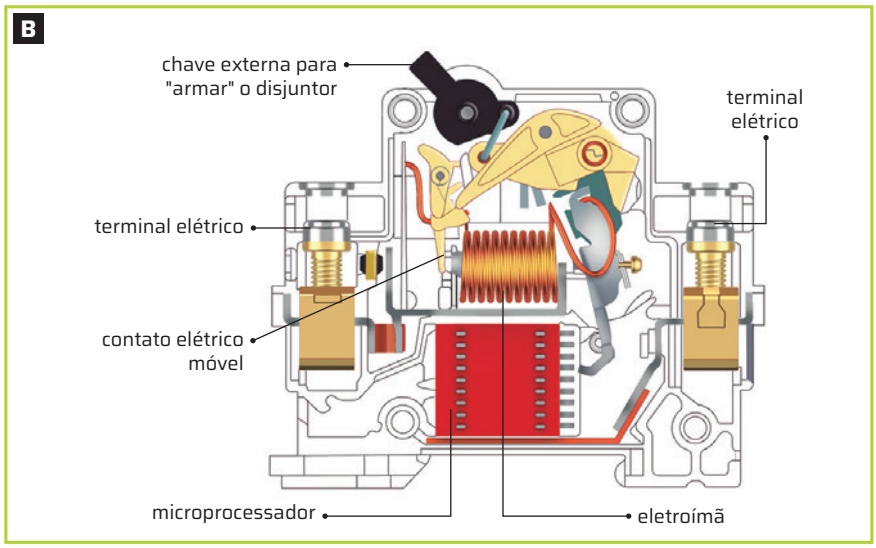
O disjuntor é um dispositivo de proteção mais complexo que o fusível, pois conta com a presença de eletroímãs e até mesmo microprocessadores que, ao detectar uma sobrecarga elétrica, rapidamente desconectam seus contatos, abrindo o trecho de circuito – ou desarmando-se, interrompendo, assim, a corrente elétrica naquele trecho.

Embora o disjuntor seja mais caro que o fusível, ele é reutilizável, podendo novamente ser armado e voltar a funcionar. Veja um esquema simplificado de um tipo de disjuntor muito comum em residências.



iZhenya/iStock/Getty Images

Fusível de vidro.



Cris Alencar/ID/BR

Parte interna de um disjuntor.

Fonte de pesquisa: Farias, E. S. *et al.* Desenvolvimento de um sistema de proteção utilizando disjuntor residual monofásico controlado por arduino. *In*: Congresso Brasileiro de Automática, 21., 2016, Vitória. *Anais* [...]. Vitória: Sociedade Brasileira de Automática, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/377230648_Desenvolvimento_de_um_sistema_de_protecao_utilizando_disjuntor_residual_monofasico_controlado_por_Arduino. Acesso em: 11 out. 2024.

CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O consumo de energia elétrica de um aparelho diz respeito à quantidade de energia elétrica que esse aparelho utiliza durante o período em que permanece ligado, e esse cálculo pode ser realizado com o auxílio das expressões de potência vistas anteriormente.

Vejamos, então, a análise de um chuveiro elétrico como exemplo.

Boa parte dos chuveiros elétricos costuma ter uma chave seletora entre duas potências, cujos valores variam conforme o modelo. Os chuveiros mais populares comumente apresentam as especificações 220 V e 2 200 W-5 500 W. Isso significa que o aparelho deve ser ligado a uma rede elétrica com tensão de 220 V. Sua chave seletora habilita o consumo da potência mínima (2 200 W) ou da máxima (5 500 W). Há modelos com uma chave que pode variar da potência mínima à máxima, passando por alguns valores intermediários.

A título de exemplo, considere um banho de 15 minutos na posição indicadora de potência máxima. Primeiramente, analisamos as unidades:

$$P = 5\,500 \text{ W } (5\,500 \text{ J/s})$$

$$\Delta t = 15 \text{ min } (15 \cdot 60 = 900 \text{ s})$$

Nessas condições, podemos calcular o consumo energético do chuveiro pela expressão:

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$5\,500 = \frac{E}{900}$$

$$E = 5\,500 \cdot 900$$

$$E = 4\,950\,000 \text{ J}$$

Esse resultado pode ser expresso por $4{,}95 \cdot 10^6$ J ou 4,95 MJ (megajoule).

Se o cálculo for aplicado para todos os equipamentos elétricos de uma residência utilizados por mais de uma pessoa, no intervalo de tempo de um mês, esse número será proporcionalmente maior.

Uma maneira de simplificar a apresentação desse resultado é utilizar unidades que representam sinteticamente valores maiores. Assim, a potência pode ser expressa em kilowatt (kW), e o tempo, em hora (h).

Dessa forma, o resultado do cálculo anterior pode ser simplificado:

$$P = 5{,}5 \text{ kW e } \Delta t = 0{,}25 \text{ h } (15 \text{ min})$$

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$5{,}5 \text{ kW} = \frac{E}{0{,}25 \text{ h}}$$

$$E = 5{,}5 \text{ kW} \cdot 0{,}25 \text{ h}$$

$$E = 1{,}375 \text{ kWh}$$

Os valores relativos ao consumo geral mensal de uma residência podem, então, ser expressos por números menores (o que facilita a leitura) e em kWh (quilowatt-hora), que é a unidade de medida utilizada nas faturas de consumo de energia elétrica.

Para calcular em reais o gasto com energia elétrica, devemos adicionar todos os consumos mensais dos aparelhos (em kWh) e multiplicar a soma pelo preço de 1 kWh, cujo valor, no Brasil, varia de um estado para outro e conforme o horário de utilização ou a faixa de consumo (quem consome mais paga mais).

Para obter o resultado dessa conta, é necessário também efetuar cálculos relativos a diversos tipos de impostos e taxas. Além dos tributos federais, há os tributos que variam de acordo com o estado e o município em que se encontra a residência.

Tipos de lâmpada

A lâmpada de filamento incandescente foi a primeira aplicação bem-sucedida da eletricidade para iluminação. No entanto, seu rendimento é baixo (cerca de 5%), pois a maior parte da energia elétrica é convertida em energia térmica, tornando essas lâmpadas ineficazes em termos de eficiência energética.

O rendimento das lâmpadas fluorescentes é bem maior que o das incandescentes. No entanto, embora consumam menos energia ao fornecer a iluminação de uma lâmpada incandescente de mesma potência, as lâmpadas fluorescentes contêm alguns materiais tóxicos em sua composição, que podem poluir o ambiente quando descartadas no lixo comum. Por isso, é importante devolver as lâmpadas fluorescentes queimadas para o fabricante ou para lojas de material de construção que dispõem do serviço, que as encaminharão para a reciclagem.

As lâmpadas LED (sigla em inglês para diodo emissor de luz) também denominadas lâmpadas de estado sólido, têm ganhado cada vez mais espaço no mercado. Apesar de não serem as mais baratas, essas lâmpadas são as mais econômicas e versáteis, podendo ser moldadas de diversas maneiras, até mesmo na forma de placas para revestir paredes. Além disso, a fabricação, a importação e a comercialização de lâmpadas incandescentes comuns são proibidas no Brasil, por força de lei, desde 2016, quando entrou em vigor definitivamente uma portaria interministerial de 2010.

A tecnologia de produção das lâmpadas LED vem se tornando mais barata ao longo dos anos, e elas já são empregadas em diversas aplicações residenciais e até mesmo nos faróis de automóveis e semáforos.

ROTEIRO

6. Um chuveiro elétrico cuja potência é de 3 200 W permanece ligado por 30 minutos todos os dias em uma residência. Esse tempo abrange os banhos de todos os moradores.

a) Calcule a quantidade de energia elétrica que esse chuveiro consome por dia em kWh (quilowatt-hora).
1,6 kWh

b) Determine o consumo desse chuveiro em um mês.
48 kWh

Não escreva no livro.

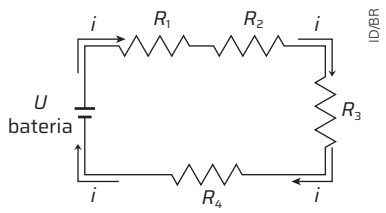
ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

O circuito elétrico de um aparelho qualquer é composto de vários elementos condutores. Dependendo do resultado desejado, os componentes são ligados de maneiras diferentes. Um elemento muito frequente em circuitos elétricos são os resistores, como lâmpadas e outros dispositivos.

Circuitos com resistores em série

Quando vários elementos de um circuito estão ligados de forma a caracterizar um caminho único por onde se estabelece uma mesma corrente elétrica, diz-se que estão ligados **em série**. Um exemplo é o uso de fusível conectado a determinado aparelho ou a um trecho de circuito que ele deve proteger.

Veja, na tabela a seguir, algumas características de um circuito em série.

CARACTERÍSTICAS DE UM CIRCUITO EM SÉRIE			
Representação	**Vantagens e desvantagens**	**Corrente elétrica**	**Tensão elétrica**
Para representar um circuito em série, utilizam-se alguns símbolos para os resistores (R) e a bateria com sua tensão de funcionamento (U). Os resistores estão em uma mesma linha, que representa os fios de ligação. 	Elementos em série têm várias aplicações e vantagens. Um exemplo é a possibilidade de se conectar várias lâmpadas a um interruptor. Porém, quando um elemento do circuito interrompe a corrente elétrica, todos os elementos ligados em série a ele deixam de funcionar.	Quando uma bateria estabelece uma ddp a uma associação em série de resistores, a corrente elétrica que se estabelece é a mesma em cada um deles. Logo, podemos escrever: $i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_n$	Pela análise da primeira lei de Ohm, $i = \frac{U}{R}$, podemos perceber que, como a corrente tem a mesma intensidade para cada resistor, a ddp nos terminais de cada um deles será diretamente proporcional ao valor de suas resistências.

Resistência equivalente de resistores em série

Considere quatro lâmpadas de resistências R_1, R_2, R_3 e R_4, ligadas em série a um gerador que fornece uma tensão U, estabelecendo, no circuito, uma corrente i.

A soma das tensões elétricas em cada resistor é igual à tensão U aplicada pela bateria, ou seja, $U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$, sendo U_1 a ddp no resistor 1, com resistência R_1; U_2 a ddp no resistor 2, com resistência R_2, e assim por diante. Cada uma dessas tensões (U_1, U_2, U_3 e U_4) é uma fração da tensão U aplicada pela bateria e é diretamente proporcional ao valor da resistência correspondente do resistor. Desse modo, em um circuito no qual, por exemplo, os resistores apresentam resistências diferentes, o resistor que tiver a maior resistência ficará sujeito à maior fração da tensão total estabelecida pela fonte.

Como a intensidade da corrente i é a mesma em todos os resistores, pela lei de Ohm, podemos escrever para cada resistor:

$$U_1 = R_1 \cdot i \qquad U_2 = R_2 \cdot i \qquad U_3 = R_3 \cdot i \qquad U_4 = R_4 \cdot i$$

Substituindo essas relações na expressão para a tensão elétrica, obtemos:

$U = i \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = i \cdot R_{eq}$, em que R_{eq} = resistência equivalente da associação. Se todos os resistores puderem ser substituídos por um único resistor cujo funcionamento seja equivalente à associação, esse será o resistor equivalente. Portanto, qualquer que seja o número de resistores de uma associação, é sempre possível calcular a resistência equivalente de um hipotético resistor cujo funcionamento equivale ao da associação. O cálculo dessa resistência equivalente é dado por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + ... + R_n$$

A resistência equivalente de resistores ligados em série sempre será maior que a resistência de qualquer um dos resistores tomado isoladamente.

Frank L. Junior/Shutterstock.com/ID/BR

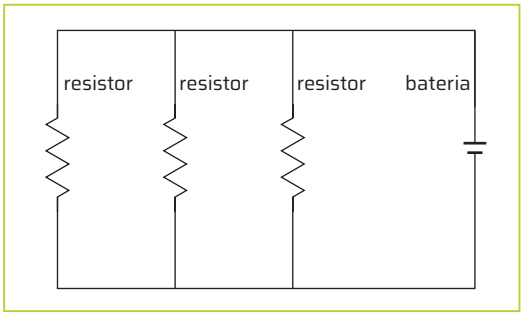
O cordão de iluminação simples de uma árvore de Natal é constituído de lâmpadas conectadas em série. Se, por exemplo, uma lâmpada queima, mais nenhuma lâmpada vai acender. Para que as lâmpadas voltem a funcionar, é necessário trocar a lâmpada queimada, a fim de que a corrente torne a fluir pelo circuito.

Circuitos com resistores em paralelo

Outra maneira de associar resistores é a associação **em paralelo**.

Um circuito tem resistores associados em paralelo quando eles são ligados de tal maneira que todos ficam submetidos à mesma diferença de potencial fornecida por uma fonte de tensão.

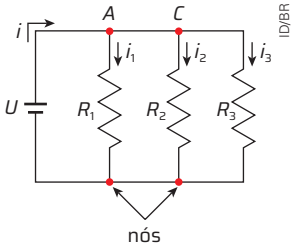
A seguir, veja um esquema de três resistores ligados em paralelo a uma fonte de tensão *U* e uma tabela de análise dessa associação.



Setup Bureau/ID/BR

Exemplo de circuito cujos resistores estão ligados em paralelo a uma bateria. Observe que todos os resistores têm um de seus terminais ligado a um mesmo ponto (no caso, o polo positivo da bateria) e os outros terminais encontram-se em outro ponto (no caso, o polo negativo).

Veja, na tabela a seguir, algumas características de um circuito em paralelo.

CARACTERÍSTICAS DE UM CIRCUITO EM PARALELO			
Representação	**Vantagens e desvantagens**	**Corrente elétrica**	**Tensão elétrica**
Nesse tipo de circuito, a diferença de potencial em cada um dos resistores é a mesma e igual à da bateria, diferentemente do caso da ligação em série, na qual a diferença de potencial aplicada pela bateria era dividida proporcionalmente entre os resistores.  ID/BR Esquema representativo de um circuito em paralelo com três resistores.	Nesse tipo de associação, cada resistor funciona de forma independente, pois a corrente elétrica que se estabelece em cada um não depende dos outros resistores. Assim, caso um deles deixe de funcionar, os demais continuarão funcionando, como se nada tivesse ocorrido ao circuito.	Observe no esquema que a corrente elétrica total *i* estabelecida pela bateria se divide em três partes i_1, i_2, e i_3, relativas a cada resistor. Suas intensidades poderão ou não ser iguais, dependendo dos valores das resistências. Tudo se passa como se, "ao atingir o ponto *A* (nó)", ela se dividisse, com i_1 "percorrendo" R_1 e o restante seguindo em frente. Em seguida, como se, ao atingir o ponto *C* (nó), houvesse nova divisão, com i_2 "percorrendo" R_2 e i_3 "percorrendo" R_3. Logo, a soma das intensidades de corrente $i_1 + i_2 + i_3$ deverá ser igual à intensidade total *i*.	Em uma associação em paralelo, a tensão elétrica tem a mesma intensidade para todos os resistores e é exatamente igual ao valor da tensão produzida pela fonte de energia do circuito. Assim: $U_1 = U_2 = U_3 = U$.

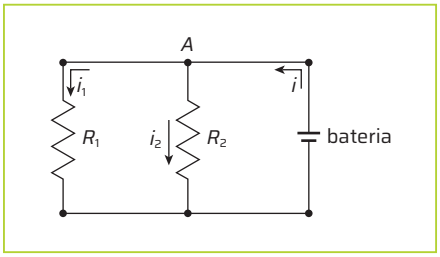
Como a tensão elétrica em cada resistor é a mesma, de acordo com a definição de resistência elétrica, a corrente que se estabelece em cada resistor terá intensidade inversamente proporcional à resistência de cada resistor.

Trata-se de um resultado previsível: se há um resistor com alta resistência elétrica associado em paralelo com outro de menor valor de resistência, como eles estão submetidos à mesma tensão, a intensidade de corrente elétrica será menor no resistor de maior resistência e vice-versa. A corrente elétrica será menor naquele que tiver maior resistência, pois, neste, o movimento dos elétrons será mais dificultado, comparativamente ao resistor de menor resistência; consequentemente, o fluxo de elétrons é maior no resistor que apresenta menor obstrução.

Não escreva no livro.

Resistência equivalente de resistores em paralelo

Seja um circuito com dois resistores, R_1 e R_2, ligados em paralelo a uma bateria, como mostrado na figura a seguir.



ID/BR

Esquema de um circuito com resistores associados em paralelo a uma fonte.

Podemos entender a intensidade de corrente elétrica i estabelecida pela bateria como sendo dividida em duas partes i_1 e i_2, relativas a cada resistor. Uma vez que tais correntes são associadas ao fluxo de elétrons que se conserva, podemos escrever:

$$i = i_1 + i_2$$

De acordo com a primeira lei de Ohm, as intensidades das correntes i_1 e i_2 são calculadas por:

$$i_1 = \frac{U_1}{R_1} \text{ e } i_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

Entretanto, em uma associação em paralelo, a tensão elétrica em cada resistor tem o mesmo valor que a tensão elétrica entre os polos da bateria conectada ao circuito, uma vez que não há nenhum elemento entre esses polos e as extremidades de cada resistor. Logo:

$$U_1 = U_2 = U$$

Substituindo esse resultado na expressão para a intensidade da corrente, obtemos:

$$i = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \Rightarrow i = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Comparando essa equação com a primeira lei de Ohm, $i = \frac{U}{R}$, podemos associar o inverso do termo entre parênteses ao inverso de uma resistência equivalente. Tal resistência seria a que um único resistor hipotético deveria ter para, ao ser colocado no lugar da associação e ligado à mesma ddp da fonte, ser submetido a uma corrente elétrica cuja intensidade seja a soma das intensidades das correntes em cada resistor de tal associação. Assim:

$$i = \frac{U}{R_{eq}}$$

Nessa expressão:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ ou } R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Para o caso de n resistores estarem conectados em paralelo, a resistência equivalente pode ser calculada por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$$

Podemos notar, pelas expressões para R_{eq}, que a resistência equivalente de dois ou mais resistores ligados em paralelo será sempre inferior ao menor valor da resistência. Um exemplo é a instalação elétrica das lâmpadas de uma residência: queremos que elas acendam de forma independente, iluminando diferentes cômodos. Observamos também que, caso uma das lâmpadas se queime, as demais, associadas em paralelo a ela, não têm seu funcionamento alterado.

ROTEIRO

7. Considere um circuito composto de cinco lâmpadas idênticas de resistência 1 Ω, ligadas em paralelo. Calcule:

a) a resistência equivalente; 0,2 Ω

b) a máxima tensão a ser fornecida para que a corrente total na associação não ultrapasse 15 A. 3 V

Associação de resistores

Componentes elétricos como celulares, televisores e interruptores contêm associações de resistores. Mas quais as diferenças que surgem quando associamos lâmpadas em paralelo ou em série? Existe alguma variação no brilho das lâmpadas, ou em seu consumo, de acordo com o tipo de associação? Nesta atividade, você e os colegas vão verificar as características dos circuitos em série e em paralelo.

Material

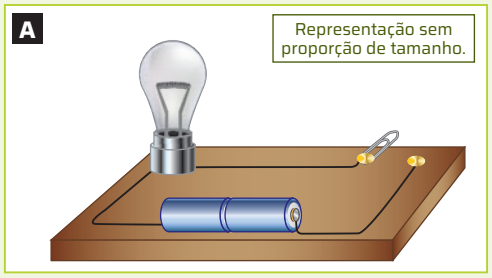
- 2 lâmpadas de 2,5 V com soquete
- 2 pilhas de 1,5 V
- fita adesiva
- 4 pedaços de fio de cobre encapado com 10 cm de comprimento
- 2 tachinhas metálicas sem nenhum tipo de pintura
- base de madeira
- 1 clipe metálico novo
- 1 alicate comum (para desencapar os fios)
- multímetro (para medir correntes e a tensão elétrica)

ATENÇÃO!

Tenha cuidado ao manusear as tachinhas. Retire quaisquer objetos metálicos (brincos, correntes, anéis, etc.) do corpo, faça o experimento sem encostar em superfícies metálicas e use calçado com solado de borracha.

Como fazer

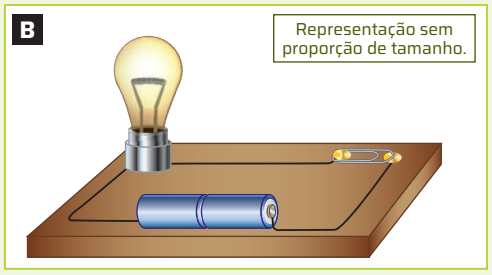
1. Monte o interruptor do circuito. Na base de madeira, fixe o clipe com uma tachinha, de modo que ele possa ser girado em torno dela. Fixe outra tachinha na base de modo que a ponta livre do clipe possa ser tocada por ela para fechar o circuito, quando necessário (figura **A**).



Setup Bureau/ID/BR

Circuito aberto. Cores-fantasia.

2. Com a fita adesiva, conecte em série as duas pilhas. Também com a fita adesiva, fixe o conjunto de pilhas na base de madeira.
3. Desencape as extremidades dos fios com o alicate. Com um dos pedaços de fio, conecte o polo positivo da pilha à tachinha livre, como se vê na figura **A**. Com outro pedaço, conecte o polo negativo da pilha a um dos terminais da lâmpada. Prenda uma das pontas de um novo fio ao outro terminal da lâmpada; a outra extremidade livre desse fio deve ser conectada à tachinha com o clipe.
4. Gire o clipe de metal até que ele toque a tachinha livre. O circuito então se fecha e a lâmpada acende, como mostra a figura **B**.



Setup Bureau/ID/BR

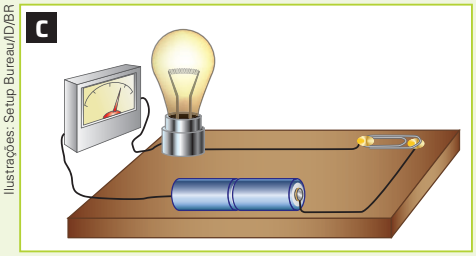
Circuito fechado. Cores-fantasia.

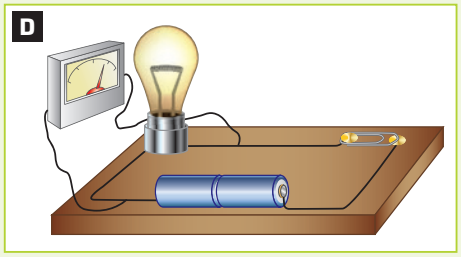
Não escreva no livro.

Utilizando um multímetro

Para utilizar corretamente um multímetro, é importante conhecer suas escalas e seus pontos de conexão. Vamos aprender como conectar um multímetro a um circuito elétrico para medir a intensidade da corrente ou a tensão elétrica. Para medir a intensidade da corrente elétrica em algum ponto do circuito, o multímetro deve ser ligado em série a esse ponto (figura **C**). Para medir a tensão elétrica, o multímetro deve ser ligado em paralelo ao ramo do circuito em que se vai medir a tensão (figura **D**).

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR





(**C**) Multímetro ligado em série, medindo a intensidade de corrente elétrica no circuito. (**D**) Multímetro ligado em paralelo, medindo a tensão elétrica nos terminais da lâmpada. Cores-fantasia.

5. Depois de fazer as respectivas montagens, meça a intensidade da corrente e a tensão elétrica do circuito simples. Anote no caderno os valores obtidos. Depois, abra novamente o circuito girando o clipe, interrompendo o contato dele com a tachinha livre.

6. Agora, você já pode construir um circuito em série e também um circuito em paralelo.

Procedimento para construir um circuito em série	Procedimento para construir um circuito em paralelo
Instale a segunda lâmpada no circuito simples, já montado com o multímetro, utilizando outros dois pedaços de fio conectados cada qual a um dos terminais da segunda lâmpada; conecte suas extremidades livres ao fio do circuito.	Instale a segunda lâmpada no circuito simples, já montado com o multímetro, utilizando outros dois pedaços de fio conectados, cada qual a um dos terminais da segunda lâmpada; conecte a extremidade livre de um dos fios a um polo da pilha e a outra extremidade à tachinha livre (o polo negativo da pilha e a tachinha já devem estar conectados à primeira lâmpada).

7. **Usando o circuito em série**. Feche o circuito e observe a intensidade do brilho das lâmpadas. Meça com o multímetro a corrente elétrica e a tensão elétrica em cada lâmpada. Retire, então, uma das lâmpadas do soquete e observe o que acontece com o brilho da que permanece no circuito. Anote as observações no caderno.

8. **Usando o circuito em paralelo**. Feche o circuito e volte a observar a intensidade do brilho das lâmpadas. Meça com o multímetro a corrente e a tensão elétrica nas lâmpadas. Depois, desconecte uma das lâmpadas do soquete e observe o que ocorre com a outra. Anote as observações no caderno.

1. e **2.** Respostas pessoais, que dependem da atividade experimental. Avalie se os estudantes trabalharam adequadamente com a tabela proposta e se representaram com clareza o esquema das configurações que construíram em grupo.

3. a) Quando o clipe de metal toca a tachinha, fechando o circuito, a lâmpada acende; quando o clipe de metal é afastado da tachinha, a corrente elétrica deixa de existir e a lâmpada apaga.

3. b) Ao se fechar o circuito, um campo elétrico é estabelecido dentro do fio metálico, movendo as cargas para determinada direção; esse movimento ordenado é a corrente elétrica do circuito, fazendo acender a lâmpada. Ao se abrir o circuito, o campo elétrico cessa, impedindo o movimento ordenado dos elétrons livres, eliminando a corrente e apagando a lâmpada.

Para concluir

1 **No caderno, construa uma tabela com os resultados obtidos nas três configurações de circuito: simples, em série e em paralelo.**

2 **Faça um esquema de cada configuração construída. Se for possível, documente essa etapa da tarefa fotografando os esquemas.**

3 **Recupere as observações feitas desde o início desta atividade experimental.**

a) Descreva o que acontece nas seguintes situações: quando o clipe de metal toca a tachinha, fechando o circuito; quando o clipe de metal é desconectado da tachinha, abrindo o circuito.

b) Elabore uma explicação, do ponto de vista microscópico, para as descrições feitas no item **a**.

c) Compare os valores de intensidade de corrente e de tensão medidos nas configurações. Explique se o resultado dessa comparação confirma os brilhos emitidos pelas lâmpadas nas ligações em série e em paralelo. Espera-se que os valores obtidos nas medidas confirmem as observações referentes ao brilho das lâmpadas em ambos os circuitos.

d) Como você explica o comportamento da lâmpada que permanece nas associações em série e em paralelo quando a outra é desconectada do circuito? Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

CIRCUITOS RESIDENCIAIS

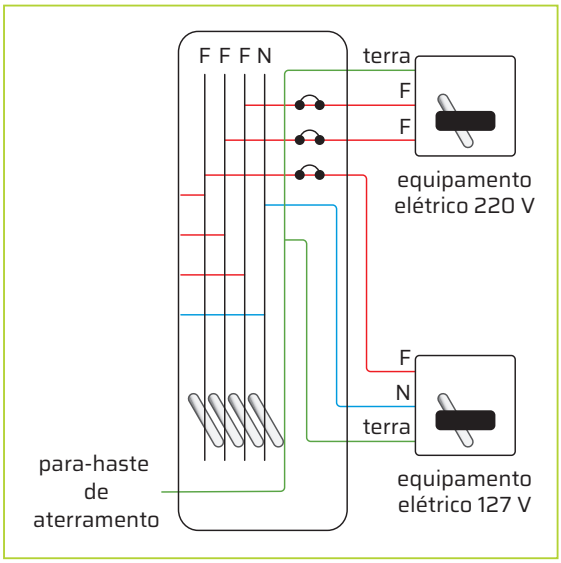
A rede distribuidora de eletricidade mantém tensões de 220 V ou 127 V. A distribuição da eletricidade é feita por cabos subterrâneos ou suspensos por postes. Em geral, a eletricidade é conduzida para as residências por três fios que são sustentados por postes e são conectados ao "relógio de luz". Esses relógios medem a energia elétrica consumida no local. Dentro de cada residência, há uma caixa de entrada, na qual é feita a ligação entre o circuito interno da casa e a rede externa.

Dos fios que chegam ao "relógio de luz", dois conduzem energia elétrica e são chamados **fase**, e o outro fio é chamado **neutro**. Nesse caso, a rede é chamada **bifásica**, e as tensões fornecidas podem ser de 127 V ou de 220 V. Em alguns municípios, apenas dois fios estão disponíveis – um fio fase e o neutro. Nesses lugares, a rede é dita **monofásica**, e a tensão é de apenas 127 V.

Em aparelhos elétricos projetados para uma tensão de 127 V, mesmo nas casas com rede bifásica, as tomadas têm uma ligação utilizando apenas um fio fase e o fio neutro. Nas tomadas em que a ligação é 220 V, utilizam-se os dois fios fase. Ligações de 220 V são utilizadas para aparelhos domésticos que consomem muita energia elétrica, como os chuveiros elétricos.

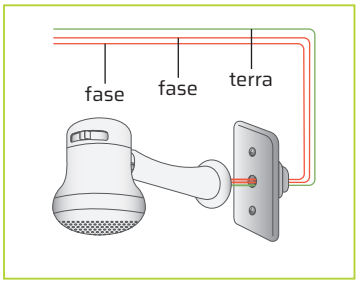
O fio terra se conecta diretamente ao solo, um grande absorvedor de cargas elétricas. O fio terra evita que os aparelhos sejam danificados no caso de descargas elétricas indesejadas. Toda casa e todo prédio devem ter um fio terra instalado.

ID/BR

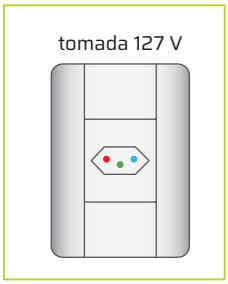


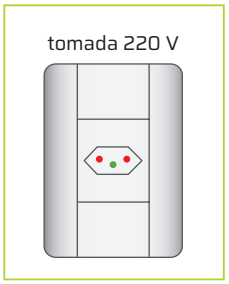
Esquema de uma caixa de entrada de uma residência. Em ligações de 220 V, há dois fios fase (vermelho), junto com o fio terra (verde). Em ligações de 127 V, há um fio fase associado a um fio neutro (azul), além do fio terra.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR



Exemplo de ligação elétrica de um chuveiro. Cores-fantasia.





Representações sem proporção de tamanho.

A figura mostra como é feita a ligação dos fios nos conectores das tomadas. Nos pontos em vermelho, são ligados os fios fase; no ponto em azul, é ligado o fio neutro (para o caso da tomada de 127 V); e, no ponto em verde, o fio terra. Cores-fantasia.

O fio terra geralmente é de cobre, um material que conduz eletricidade muito melhor que o corpo humano. Assim, quando um aparelho, principalmente um chuveiro ou uma torneira elétrica, estiver aterrado (isto é, com um fio ligado ao solo), uma descarga elétrica passará preferencialmente pelo fio terra em direção ao solo, em vez de passar pela pessoa. Assim, o risco de choque elétrico é reduzido, apesar de ocorrer, caso a pessoa entre em contato com as duas fases no momento do acidente. Da mesma forma, no caso de uma casa ser atingida por descargas elétricas provocadas por raios, a corrente elétrica excedente passará pelo fio terra, e não pelos aparelhos elétricos, que apresentam resistência elétrica maior, evitando que eles sejam danificados.

Mar de Palha/ID/BR

Fios da instalação elétrica de uma torneira elétrica. O fio verde é o fio terra, os vermelhos são as duas fases.

ROTEIRO

8. **É comum haver interrupção no fornecimento de energia elétrica durante tempestades. É provável que isso ocorra por causa de quebra nos fios, ocasionada por queda de árvores, por exemplo, o que interrompe a corrente elétrica que deveria fluir por eles.**

Algumas vezes, apenas um dos fios fase é danificado. Dizemos que "caiu a fase".

Nesse caso, explique o que acontece ao se tentar ligar um aparelho que deveria ser ligado em tensão de 220 V.

O equipamento não funcionará ou funcionará com menor potência. Alerte os estudantes sobre os cuidados necessários para verificar se um aparelho novo que será instalado está devidamente configurado para operar na tensão da rede elétrica local. Aproveite também para explicar a existência de alguns aparelhos bivolt, que, quando ligados à tomada, ajustam-se automaticamente à tensão da rede.

Não escreva no livro.

A variação na tensão entre diversos valores só é possível porque a corrente nos circuitos elétricos residenciais é alternada. O uso de transformadores de tensão – como aqueles empregados em carregadores de bateria de telefone celular, que transformam 127 V ou 220 V em 3,6 V – permite ampliar ou diminuir valores de tensão, conforme a necessidade.

Mar de Palha/ID/BR

Em um simples carregador de bateria de celular, há informações de tensão elétrica de entrada e saída. Veja que, nesse modelo, o carregador é multivolt, tendo de 100 V a 240 V de entrada e 5 V de saída.

GERADORES

Um circuito elétrico, quando fechado e submetido a uma tensão elétrica entre dois pontos, estará sujeito ao estabelecimento de uma corrente elétrica. Entretanto, para que as cargas que constituem a corrente elétrica se movimentem, é necessária uma fonte que forneça energia a elas. Essa energia é fornecida por um dispositivo chamado **gerador**. Quanto maior a tensão nos terminais do gerador, maior será a intensidade de corrente elétrica que ele será capaz de estabelecer para uma mesma resistência elétrica.

Um gerador, portanto, é um dispositivo elétrico que mantém uma tensão elétrica entre dois pontos de um circuito, alimentando-o com energia elétrica.

Os geradores transformam diferentes tipos de energia em energia elétrica. Veja alguns exemplos de geradores.

Billon Photos/Shutterstock.com/ID/BR

Pilhas e baterias transformam energia química em energia elétrica mediante reações químicas.

Rafapress/Shutterstock.com/ID/BR

O painel solar transforma energia luminosa em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas.

Sukra13/Shutterstock.com/ID/BR

O dínamo transforma energia mecânica em energia elétrica por meio de ímã e bobina.

Visions/Shutterstock.com/ID/BR

O gerador a gasolina transforma energia química em energia mecânica, que, por sua vez, é transformada em energia elétrica.

O gerador estabelece um campo elétrico nos condutores do circuito, e esse campo, por meio da força elétrica, organiza o movimento coletivo das cargas elétricas (corrente elétrica). É a diferença de potencial entre os polos do gerador que mantém a corrente elétrica em um circuito. Por convenção, a corrente elétrica estabelecida nos elementos do circuito é indicada como tendo um sentido do maior para o menor potencial elétrico. Já nos geradores elétricos é o oposto: do menor para o maior potencial.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Guerra das correntes

1. Espera-se que os estudantes comentem que Thomas Edison defendia o uso da corrente contínua, porque a tecnologia que ele havia desenvolvido funcionava para esse tipo de corrente.

Durante os primeiros anos de fornecimento de eletricidade, a corrente contínua (CC) foi determinada como padrão nos Estados Unidos, e Thomas Edison (1847-1931) não estava disposto a perder os rendimentos de sua patente. Edison, que era um inventor estadunidense famoso e bem-sucedido, havia desenvolvido um medidor que permitia que a energia fosse cobrada proporcionalmente ao consumo, mas o medidor funcionava apenas com corrente contínua.

Alguns anos mais tarde, o físico e engenheiro sérvio-estadunidense Nikola Tesla (1856-1943) aperfeiçoou um sistema de geração, transmissão e uso da energia elétrica proveniente de corrente alternada (CA), que tinha como principal vantagem a eficiência na transmissão a longas distâncias. Tesla fez um acordo comercial com o empresário e engenheiro estadunidense George Westinghouse (1846-1914) para comercializar esse sistema. Westinghouse comprou com antecedência os direitos das patentes do sistema polifásico de Tesla, driblando o monopólio de patentes reivindicado por Thomas Edison.

Hoje, a maioria das residências recebe energia elétrica em corrente alternada.

1. Em sua opinião, por que Thomas Edison defendia o uso da corrente contínua?

2. Em sua opinião, por que Westinghouse financiou os trabalhos de Tesla? Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem que Westinghouse acreditava nas ideias e invenções de Tesla, pelas quais tinha interesse comercial.

FORÇA ELETROMOTRIZ

Um gerador gera energia elétrica pela transformação de outros tipos de energia e, assim, é capaz de estabelecer a corrente elétrica em um circuito elétrico para diversos fins.

Para manter a corrente elétrica estabelecida em uma bateria, é necessário realizar um trabalho sobre os portadores de carga elétrica: elétrons, em condutores sólidos, ou íons, em condutores líquidos ou gasosos.

A razão entre o trabalho *W* realizado pela bateria e a quantidade de carga *q*, transportada por ocasião da realização desse trabalho, é denominada força eletromotriz (ε):

$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

O trabalho é dado em J (joule) e a quantidade de carga, em C (coulomb). O resultado da razão entre essas grandezas é o V (volt), ou seja, no Sistema Internacional, a força eletromotriz (ε) tem como unidade o volt (V), a mesma utilizada para tensão elétrica. Portanto, se a força eletromotriz de um gerador é 15 V, significa que o gerador realiza 15 J de trabalho para mover 1 C de cargas elétricas.

Equação de um gerador real

Nem toda a energia estabelecida em um gerador é fornecida ao circuito elétrico. Isso ocorre porque, em um gerador real (não idealizado), há perda de energia devido à sua resistência elétrica interna (*r*), que converte energia elétrica em energia térmica. Logo, a tensão útil do gerador é dada pela tensão elétrica gerada (força eletromotriz ε) menos a queda de tensão decorrente da resistência interna:

$$U_{\text{útil}} = U_{\text{gerada}} - U_r$$

A queda de tensão elétrica por causa da resistência interna é dada pela lei de Ohm; portanto, a tensão elétrica útil estabelecida entre os polos *A* e *B* de um gerador real disponível para o circuito é:

$$U_{AB} = \varepsilon - i \cdot r$$

Essa expressão é conhecida como **equação do gerador**.

No caso de o circuito estar aberto, não há corrente ($i = 0$), então o segundo membro do lado direito da equação acima é nulo, e a diferença de potencial entre os polos da fonte é a própria força eletromotriz (*fem*):

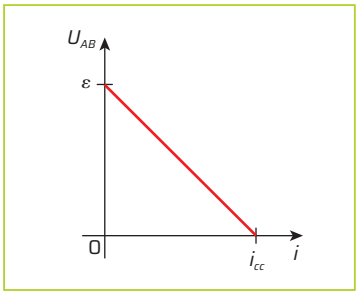
$$U_{AB} = \varepsilon$$

A *fem* (ε) de um gerador pode ser medida diretamente considerando esse princípio. Para isso, ligamos um voltímetro aos polos de uma fonte. Como a resistência do voltímetro é muito grande, praticamente não haverá corrente nesse sistema (fonte + voltímetro), e a diferença de potencial medida pelo voltímetro será aproximadamente igual à própria *fem* (ε).

A resistência interna *r* de uma pilha é pequena, mas não é desprezível. Gradativamente, sua tensão elétrica oferecida vai diminuindo, pois as reações químicas em seu interior vão consumindo os reagentes (eletrodos e eletrólito) e a pilha vai se tornando "fraca".

Corrente de curto-circuito

O gráfico ao lado mostra a tensão elétrica U_{AB} fornecida por um gerador a um circuito externo em função da corrente que o percorre. O gerador tem força eletromotriz ε e resistência interna *r*. A corrente de curto-circuito, representada por i_{cc}, ocorre quando os terminais da fonte estão conectados por um fio condutor com resistência praticamente nula. Portanto, a diferença de potencial fornecida ao circuito é nula, e a corrente de curto-circuito i_{cc} é máxima.



ID/BR

Curva característica do gerador real.

Não escreva no livro.

Potência de um gerador

No caso de um gerador, a potência total P_t por ele gerada é a razão entre a quantidade de trabalho realizado ΔW e o tempo Δt gasto no processo:

$$P_t = \frac{\Delta W}{\Delta t},$$

cuja unidade no SI é J/s, denominada watt (W). Como a *fem* é dada por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q} \Rightarrow \Delta W = \varepsilon \cdot \Delta q,$$

a potência total pode ser escrita como:

$$P_t = \varepsilon \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow P_t = \varepsilon \cdot i,$$

pois a corrente elétrica i indica a quantidade de carga Δq que passa pelo circuito em dado intervalo de tempo Δt.

Também podemos definir a potência elétrica total, a potência útil e a potência dissipada em um gerador:

- **Potência total** é a potência elétrica total gerada pelo gerador: $P_t = \varepsilon \cdot i$.
- **Potência útil** é a potência de fato fornecida ao circuito: $P_{útil} = U \cdot i = \varepsilon \cdot i - r \cdot i^2$
- **Potência dissipada** é a potência dissipada dentro do gerador: $P_{dissipada} = r \cdot i^2$

Estimamos a energia fornecida por um gerador a um circuito elétrico por meio de sua potência útil. Considerando que $P_{útil} = U \cdot i$ e que a potência relaciona a variação da energia útil transformada a cada unidade de tempo, temos:

$$P_{útil} = \frac{\Delta E_{útil}}{\Delta t}$$

A energia útil, portanto, é dada pela potência útil do gerador multiplicada pelo tempo em que ele permaneceu operando. Igualando as duas expressões, temos:

$$\frac{\Delta E_{útil}}{\Delta t} = U \cdot i \Rightarrow \Delta E_{útil} = U \cdot i \cdot \Delta t$$

Rendimento de um gerador

O rendimento (η) é obtido pela razão entre a potência útil $P_{útil}$ fornecida ao circuito elétrico e a potência total gerada P_t:

$$\eta = \frac{P_{útil}}{P_t}$$

Substituindo as expressões para as potências dadas acima, obtemos a seguinte expressão para o rendimento:

$$\eta = \frac{U \cdot i}{\varepsilon \cdot i} \Rightarrow \eta = \frac{U}{\varepsilon}$$

Portanto, o rendimento de um gerador é igual à razão entre a tensão estabelecida nos terminais do circuito e a força eletromotriz. O rendimento é um número entre 0 e 1; o valor 1 restringe-se ao caso de um gerador ideal, no qual a resistência interna é nula. Usualmente, multiplica-se o valor de η por 100 e o rendimento é expresso em número percentual.

PARA EXPLORAR

Leia

***Energia elétrica: a luz do consumidor*, de Irapuã de Oliveira Costa. São Paulo: Segmento Farma, 2004.**

Entre outras questões, nesse livro, o autor discute quanto se paga pelo uso da eletricidade. Sabe-se, por exemplo, que as "fugas" de energia por problemas de instalação elétrica – seja residencial, seja comercial – contribuem para o aumento do consumo e, portanto, da conta a ser paga. Com exemplos reais, extraídos da análise de diversas contas de luz, o autor ensina como podemos analisar e diminuir o consumo de energia elétrica.

ROTEIRO

9. Um gerador com *fem* igual a 12 V e resistência interna de 1,5 Ω está conectado a um circuito elétrico simples, contendo apenas um resistor de 10 Ω. Determine:

a) a potência elétrica total; $P_t \cong 12{,}52$ W

b) a potência útil; $P_{útil} \cong 10{,}89$ W

c) a potência dissipada dentro do próprio gerador;

d) o rendimento do gerador. $\eta \cong 0{,}87$

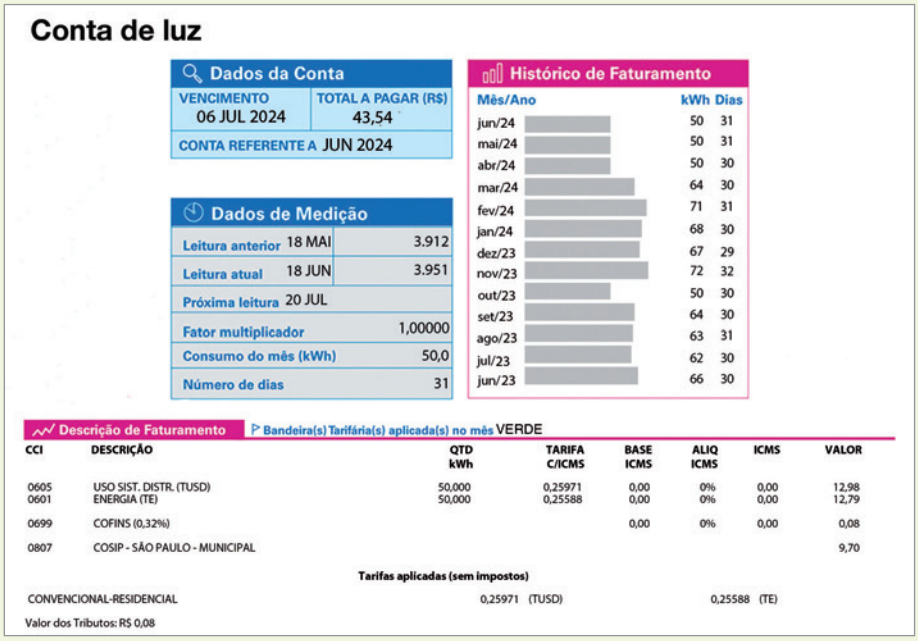
9. c) $P_{dissipada} \cong 1{,}63$ W

Leitura de uma “conta de luz” residencial

Todos os meses, chega às residências a chamada “conta de luz”, que é, na verdade, uma nota fiscal de consumo de energia elétrica. Nessa nota, são apresentadas diversas informações a respeito da unidade consumidora, permitindo, inclusive, que se acompanhe o histórico de consumo por um período de alguns meses, o que possibilita a previsão do consumo futuro e a implementação de ações de economia de energia.

Há diferentes empresas responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica no Brasil, de modo que os modelos de nota de consumo variam. No entanto, a maioria das informações aparece em todas elas, mesmo que dispostas de maneiras diversas.

A seguir, é reproduzida parte de uma dessas notas fiscais, fornecida pela empresa que atende a Grande São Paulo.



Conta de luz

Dados da Conta

VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R$)
06 JUL 2024	43,54

CONTA REFERENTE A JUN 2024

Dados de Medição

Leitura anterior	18 MAI	3.912
Leitura atual	18 JUN	3.951
Próxima leitura	20 JUL	
Fator multiplicador		1,00000
Consumo do mês (kWh)		50,0
Número de dias		31

Histórico de Faturamento

Mês/Ano	kWh	Dias
jun/24	50	31
mai/24	50	31
abr/24	50	30
mar/24	64	30
fev/24	71	31
jan/24	68	30
dez/23	67	29
nov/23	72	32
out/23	50	30
set/23	64	30
ago/23	63	31
jul/23	62	30
jun/23	66	30

Descrição de Faturamento — Bandeira(s) Tarifária(s) aplicada(s) no mês VERDE

CCI	DESCRIÇÃO	QTD kWh	TARIFA C/ICMS	BASE ICMS	ALIQ ICMS	ICMS	VALOR
0605	USO SIST. DISTR. (TUSD)	50,000	0,25971	0,00	0%	0,00	12,98
0601	ENERGIA (TE)	50,000	0,25588	0,00	0%	0,00	12,79
0699	COFINS (0,32%)			0,00	0%	0,00	0,08
0807	COSIP - SÃO PAULO - MUNICIPAL						9,70

Tarifas aplicadas (sem impostos)

CONVENCIONAL-RESIDENCIAL 0,25971 (TUSD) 0,25588 (TE)

Valor dos Tributos: R$ 0,08

Fac-símile: ID/BR

Na imagem dessa conta, é possível identificar informações relevantes como: o consumo total (em kWh) no período em cobrança; o custo total (em R$) do consumo do período; o preço da unidade de consumo (1kWh); e a data da próxima leitura e o histórico de consumo (em kWh), que permite acompanhar e comparar o consumo de vários meses.

Nesta atividade, você e os colegas vão aprender a verificar o consumo de energia elétrica informado na conta e no relógio medidor, bem como refletir sobre os hábitos de consumo de eletricidade, apresentando alternativas de consumo consciente desse recurso.

Material

- nota de consumo de energia elétrica de sua residência
- caderno e caneta para anotações
- calculadora

Como fazer

1. Esta atividade pode ser feita individualmente ou em grupo, em casa ou na escola.
2. Na conta que você está analisando, procure as informações, citadas anteriormente, que caracterizam o consumo da residência.
3. Verifique os meses de maior e de menor consumo. Discuta essas variações com os colegas e elabore hipóteses que possam justificar esses valores.

Não escreva no livro.

4. Calcule o consumo médio dessa residência somando todos os consumos informados na nota e dividindo esse valor pelo número de meses apresentados (média aritmética).
5. Faça uma estimativa do consumo (em kWh) da próxima conta. Para isso, proceda da seguinte forma:
   - anote a leitura anterior (em kWh) presente na conta;
   - verifique no relógio de luz (medidor de consumo de energia elétrica) a leitura atual e calcule a diferença entre esses valores;
   - verifique o dia em que essa leitura foi feita por você e contabilize o total de dias entre a leitura anterior e esse dia;
   - estabeleça uma proporção entre o consumo nesse período de dias e o consumo esperado até a data da próxima leitura, caso não haja nenhuma mudança nos hábitos de consumo até o momento.

   Esse cálculo é aproximado, mas apresenta uma estimativa do que esperar na próxima cobrança.
6. Compare esse valor esperado com o consumo médio calculado anteriormente.
7. Agora, reflita sobre os hábitos de consumo de sua família e as possíveis estratégias de economia de energia elétrica em sua residência.
   - Elabore uma tabela listando os principais aparelhos elétricos (os que são usados com frequência) em sua residência.
   - Essa tabela deverá ter ao menos quatro colunas: a primeira, com o nome de cada aparelho; a segunda, com sua respectiva potência (em kW); a terceira, com o tempo de utilização diário (em h) do aparelho; e a quarta, com o consumo de cada aparelho em um período de 30 dias (em kWh).
   - Uma quinta coluna pode listar algumas possíveis estratégias para reduzir ou racionalizar a utilização de cada aparelho.

   Veja um exemplo:

Aparelho	Potência (kW)	Uso diário (h)	Consumo mensal (kWh)	Ação de uso consciente
ferro de passar	0,8	2	48	Acumular certa quantidade de roupas para utilizar o ferro de passar menos vezes.

8. Uma vez criada essa tabela e listadas as estratégias de consumo consciente de energia, converse com sua família sobre essas ideias.
9. Com os moradores de sua casa, estabeleça uma data para o início da aplicação dessas estratégias e refaça a leitura do relógio após 15 dias (ou em um período menor, contanto que seja antes da próxima leitura).
10. Estime novamente o consumo (após a implementação das estratégias) e compare-o com a leitura oficial na próxima conta.
11. Elabore um cartaz ou uma apresentação em meios digitais para mostrar esses resultados aos colegas. Se possível, faça gráficos para representar a participação de cada aparelho no consumo total de sua residência.

Para concluir

3. Além de motivar a pesquisa e o debate, a proposta trabalha a comunicação envolvendo a criação do discurso, a escolha do meio, as estratégias de divulgação, a conscientização coletiva e a prática da cidadania.

1 **Mesmo que você não tenha realizado esta atividade em grupo, compare seus resultados e suas conclusões com os dos colegas. Que diferenças e semelhanças você identificou?**
Respostas variáveis. A similaridade entre os resultados depende da semelhança entre as realidades de consumo do grupo de estudantes.

2 **Uma vez implementadas as ações de consumo consciente, quais estratégias deram mais resultado em sua residência?** Resposta pessoal, que dependerá dos aparelhos elétricos mais utilizados.

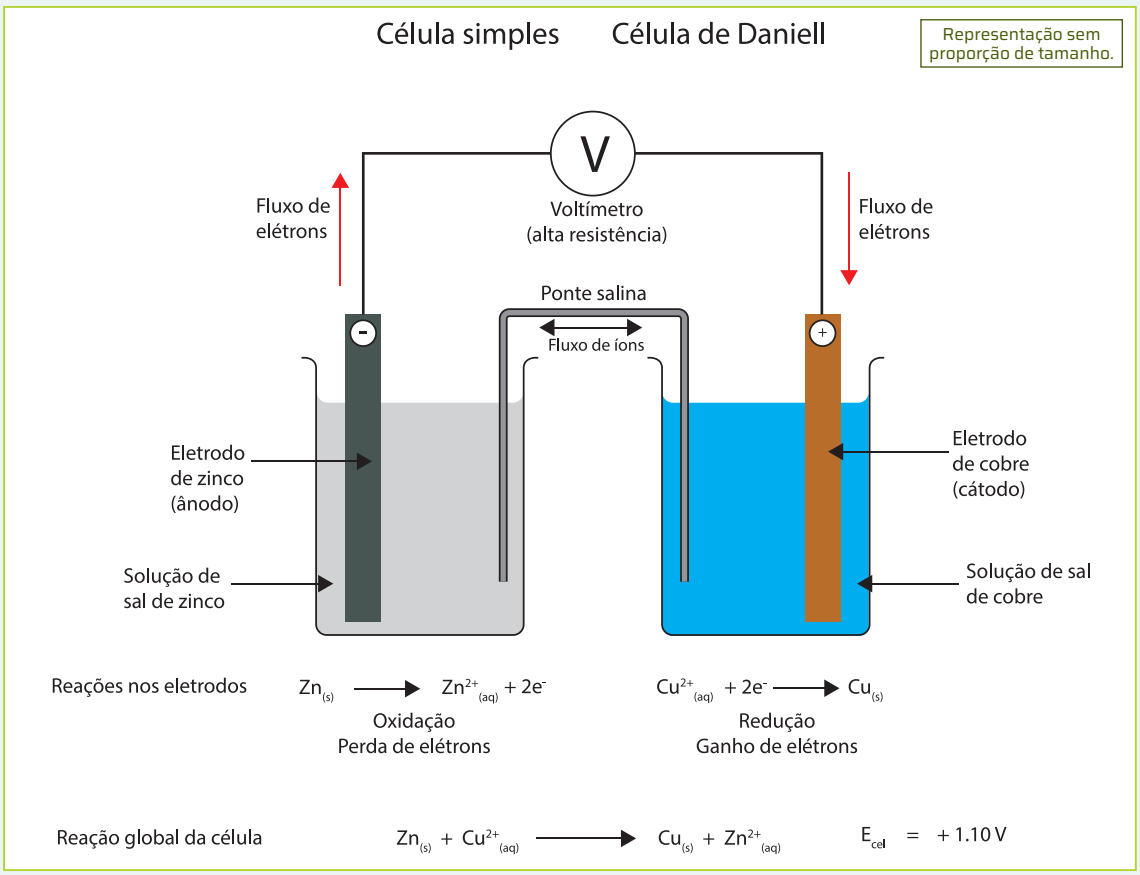
3 **Discuta com os colegas a importância de as famílias e a sociedade como um todo adotarem hábitos de consumo de energia elétrica conscientes. Em grupos, elaborem cartazes ou materiais de divulgação por qualquer meio (apresentação eletrônica, vídeo, *podcast*, etc.) para difundir essa ideia.**

BATERIAS E PILHAS

Baterias e pilhas são dispositivos essenciais para mantermos em funcionamento muitos dos equipamentos que utilizamos no nosso cotidiano. Mas como esses dispositivos conseguem armazenar energia? Nas pilhas e baterias, em geral, a energia é armazenada em forma de energia química e, quando o dispositivo é acionado, reações químicas convertem a energia química em energia elétrica, ou seja, uma corrente elétrica é estabelecida.

Na Física, estudamos que a corrente elétrica é o fluxo ordenado de elétrons. Esse fluxo se estabelece por meio de reações químicas que acontecem na pilha, quando o circuito elétrico é fechado, e é o responsável por levar a energia elétrica até os dispositivos, onde será convertida em outros tipos de energia.

Existem diferentes tipos de pilhas. Por exemplo, existem pilhas de solução aquosa, como a pilha de Daniell. Na figura a seguir, temos a representação dessa pilha, que é formada por um ânodo e um cátodo. No ânodo, ocorre a reação de oxidação, processo no qual o zinco perde elétrons, e no cátodo ocorre a redução, processo no qual o cobre recebe elétrons.



Steve Cymro/Shutterstock.com/ID/BR

Representação esquemática da pilha construída em 1836 pelo físico e químico britânico John Frederic Daniell (1790-1845). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Azellini, G. C.; Marson, G. A.; Kasseboehmer, A. C. Eletroquímica: reações de oxirredução. *In*: *Licenciatura em Ciências USP/Univesp*: módulo 2. [*S. l.*]: Cepa, [20--]. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/plc/plc0013/impressos/plc0013_11.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

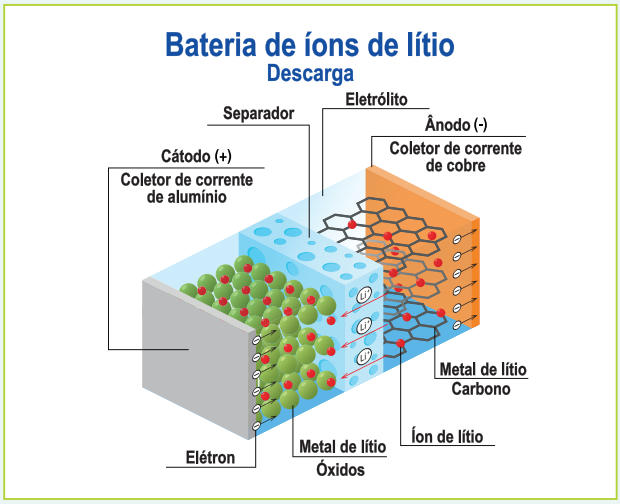
No cotidiano, as baterias com solução aquosa foram amplamente utilizadas nos automóveis, mas o uso diminuiu devido a dificuldades técnicas, como o crescimento de pequenos corpos metálicos pontiagudos no interior da bateria, chamados dendritos, que podem causar curtos-circuitos.

As baterias de íons de lítio são as mais utilizadas nos dispositivos atuais – comumente encontradas em celulares, *notebooks*, *drones*, carros elétricos, entre outros.

Não escreva no livro.

Anaken2012/Shutterstock.com/ID/BR

Exemplo de bateria de íons de lítio.



SivVector/Shutterstock.com/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Representação esquemática da bateria de íons de lítio. Cores-fantasia.

Nas baterias de lítio, o ânodo, em geral, é de grafite com lítio intercalados, e o cátodo é composto de óxido de lítio e cobalto. A solução eletrolítica é não aquosa, ou seja, não é dissolvida em água, mas em solventes orgânicos que permitem a condução de íons de lítio. A corrente elétrica é gerada pelo movimento dos íons de lítio do ânodo para o cátodo.

O desenvolvimento da bateria de íons de lítio rendeu o Prêmio Nobel de Química de 2019 ao físico estadunidense John B. Goodenough (1922-2023) e aos químicos britânico-estadunidense M. Stanley Whittingham (1941-) e japonês Akira Yoshino (1948-).

As pilhas e baterias são dispositivos que necessitaram da colaboração dos conhecimentos da Física e da Química para sua invenção e para o posterior desenvolvimento da tecnologia.

PARA EXPLORAR

Leia

O bicentenário da invenção da pilha elétrica

O artigo da revista *Química Nova na Escola* (ed. 11, maio 2000), escrito por Mario Tolentino e Romeu C. Rocha Filho para a comemoração dos 200 anos da invenção da pilha elétrica, apresenta o contexto histórico envolvido na invenção do dispositivo no final do século XVIII por Alessandro Volta, incluindo a célebre controvérsia com Luigi Galvani (1737-1798).

Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a08.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

Conecte as ideias

1 **Quais são as reações químicas que ocorrem nos eletrodos de uma bateria de solução aquosa?** Em uma bateria de solução aquosa, ocorrem reações de oxidação e de redução nos eletrodos, fundamentais para a geração de corrente elétrica.

2 **Como a corrente elétrica é estabelecida na pilha de Daniell e nas baterias de íons de lítio?**

3 **Pesquise as vantagens e as desvantagens da bateria de íons de lítio.**

4 **Como vimos, as pilhas apresentam dois polos, geralmente indicados pelo sinal positivo (+) e pelo sinal negativo (−). Por que é importante observar essa polaridade ao utilizar uma ou mais pilhas em um dispositivo?**

2. Nos dois casos, a corrente elétrica é estabelecida pelo movimento de elétrons e íons na solução: na pilha de Daniell, em solução aquosa, e, nas baterias de lítio, em solução não aquosa.

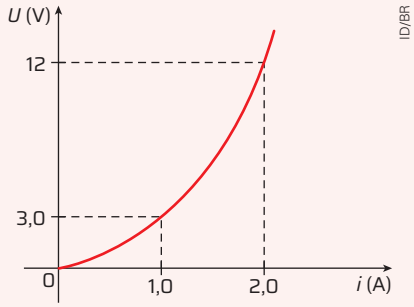
3. As baterias de íons de lítio têm alta densidade de energia e baixa taxa de autodescarga e são capazes de passar por muitos ciclos de carga e descarga. Uma das desvantagens é o alto custo em comparação com outros tipos de bateria.

4. No dispositivo, estabelece-se um fluxo de elétrons do ânodo em direção ao cátodo. Os dispositivos eletrônicos são feitos com componentes que só funcionam com a corrente elétrica nesse sentido.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 A curva característica de um resistor está representada no gráfico a seguir.



a) Determine o valor da resistência para $i = 1$ A e $i = 2$ A.

b) Justifique por que esse resistor não é ôhmico.

Resolução

a) Sabe-se que a relação da resistência com a corrente elétrica e a diferença de potencial é dada pela equação $U = R \cdot i$:

Em $i = 1$ A, temos: $U = R \cdot i \Rightarrow 3 = R \cdot 1 \Rightarrow R = 3\ \Omega$

Em $i = 2$ A, temos: $U = R \cdot i \Rightarrow 12 = R \cdot 2 \Rightarrow R = 6\ \Omega$

b) Esse resistor não é ôhmico porque o valor de sua resistência não permanece constante com a variação da corrente.

2 Condutância é o inverso de resistência elétrica $\left(G = \frac{1}{R}\right)$. Condutividade σ é o inverso de resistividade ρ, em que $\sigma = \frac{1}{\rho}$.

- Reescreva as expressões da primeira e da segunda lei de Ohm utilizando a condutância e a condutividade elétrica como parâmetros. $G = \frac{A \cdot \sigma}{L}$; $U = \frac{i}{G}$.

3 Um aparelho elétrico ligado a uma fonte de 500 V é percorrido por uma corrente elétrica de 2,5 A.

- Determine o valor da potência elétrica necessária para seu funcionamento. $P = 1\,250$ W

4 Dois aparelhos desenvolvem a mesma potência elétrica de 1000 W. O aparelho *A* está ligado à rede de 127 V; o aparelho *B*, à rede de 250 V.

- Calcule a razão entre as correntes elétricas que percorrem os aparelhos *A* e *B*. 1,97

5 Um aparelho tem potência elétrica nominal de 1000 W e funciona normalmente em 127 V. Seus circuitos se danificam e o aparelho deixa de funcionar quando a corrente que circula por ele atinge um valor 2,5 vezes maior que a corrente nominal.

- Determine qual é a potência máxima que esse aparelho desenvolve. $P_{máx} = 2\,500$ W

6 Uma resistência de chuveiro tem 20 Ω e foi fabricada para funcionar sob tensão de 220 V. Calcule a potência dissipada por essa resistência se ela for ligada de acordo com as especificações originais. $P = 2\,420$ W

7 Cite três exemplos de aplicação do efeito Joule, além do chuveiro elétrico.
Resposta pessoal. Exemplos: aquecedor de água, fusível, ferro de passar roupa. Esses aparelhos foram desenvolvidos com a finalidade de aquecer com a passagem de corrente elétrica pela resistência, o que se deve ao efeito Joule.

8 Um chuveiro funciona originalmente em uma rede elétrica de tensão 220 V, dissipando uma potência de 4 400 W. Foi necessário ligar esse chuveiro a uma rede elétrica de tensão 110 V (a tensão da rede é 127 V, mas vamos usar 110 V para simplificar as contas). Como se deseja manter a potência elétrica original, sua resistência deverá ser trocada.

Calcule:

a) o valor da resistência elétrica original; $R = 11\ \Omega$

b) o valor da nova resistência elétrica. $R = 2{,}75\ \Omega$

Não escreva no livro.

10. Esses equipamentos consomem uma potência muito alta para funcionar; assim, eles precisam de uma tensão alta para reduzir a intensidade da corrente que os alimenta.

9 A iluminação de uma sala é feita por três lâmpadas de 40 Ω conectadas em série. Sabendo que cada lâmpada tem seu melhor brilho quando a corrente é igual a 1 A, determine a diferença de potencial que deve ser aplicada a esse circuito de lâmpadas. $U = 120$ V

10 Explique por que aparelhos como chuveiros elétricos, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar louça ou secadores de cabelo requerem, geralmente, tensão elétrica de 220 V.

11 Calcule a corrente elétrica total para uma associação de três geradores conectados em paralelo. Considere que cada gerador tem *fem* de 24 V e resistência interna de 0,2 Ω e que o gerador equivalente está conectado a um circuito externo composto de um resistor de 10 Ω. Calcule também a corrente individual que passa em cada gerador. 2,38 A e 0,79 A.

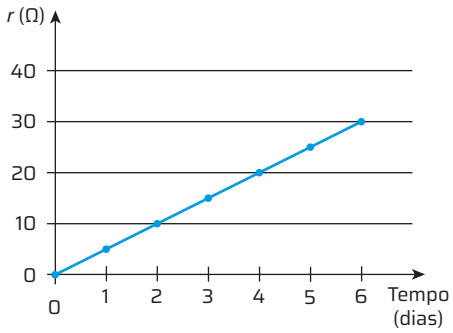
12 A resistência interna de uma bateria varia no tempo de acordo com o gráfico.

Inicialmente, a *fem* da bateria é de 6 V. Conecta-se essa bateria a um circuito com um resistor de 2 Ω.

a) A força eletromotriz dessa bateria também varia com o tempo?

b) Faça um gráfico da corrente no circuito em função do tempo.

c) Construa o gráfico da ddp entre as extremidades do resistor em função do tempo.



ID/BR

13 Uma pilha tem tensão nominal de 1,5 V. Contudo, após ser utilizada seguidas vezes, o valor da tensão medida entre seus terminais cai para 0,5 V quando por ela se estabelece uma corrente de 1,0 A. No final da vida útil, a corrente elétrica entre seus terminais decai para 0,01 A, e o da tensão, para 0,01 V. Calcule a resistência elétrica do aparelho a ela ligado, em ambas as situações. 0,5 Ω e 1,0 Ω.

14 Um motor elétrico, ao ser submetido a uma corrente de intensidade igual a 3 A, consome 360 J de energia a cada 5 segundos.

a) Determine a potência desse motor. 72 W

b) Calcule a diferença de potencial entre seus terminais. 24 V

c) Calcule a sua resistência elétrica interna *R*. 8 Ω

15 Um circuito simples é constituído de um resistor de 4 Ω conectado a uma bateria que fornece uma tensão V. Descreva o que aconteceria com a corrente no circuito, em relação à corrente anterior, se esse resistor fosse trocado por outro com resistência:

a) igual à metade da resistência anterior; $2i_0$

b) igual ao dobro da resistência anterior. $\frac{i_0}{2}$

16 Um chuveiro elétrico de uma residência fica ligado, em média, 15 minutos por dia. Sabe-se que o consumo mensal (30 dias) desse chuveiro é 22,5 kWh e que o kWh custa R$ 0,80 na cidade onde essa residência está localizada.

a) Calcule a potência do chuveiro. 3 000 W

b) Qual é o custo diário, em reais, desse chuveiro, excluindo taxas e impostos?

16. b) Em um dia, o consumo de energia elétrica desse chuveiro é 0,75 kWh. Se o custo do kWh nessa cidade é R$ 0,80, o custo diário do uso desse chuveiro será: Custo = 0,75 · 0,80 ⇒ Custo = 0,60 Ou, seja, o custo é R$ 0,60/dia.

17 Considere um gerador que é capaz de gerar uma *fem* de 48 V e tem resistência interna de 1 Ω. A corrente estabelecida por esse gerador é de 3 A. Calcule:

a) a diferença de potencial fornecida pelo gerador a um circuito elétrico externo; 45 V

b) a eficiência desse gerador; 94%

c) a potência elétrica total do gerador; 144 W

d) a potência útil do gerador; 135 W

e) a potência dissipada pelo gerador; 9 W

f) a resistência externa conectada ao gerador que faz a corrente no circuito medir 3 A. 15 Ω

Sugira aos estudantes que verifiquem o preço do kWh na região onde vivem, para que possam entender quanto representa o gasto com banho em relação ao consumo total de energia de elétrica em suas residências. Além disso, incentive-os a refletir sobre alternativas para reduzir esse consumo, incluindo os de aparelhos que ficam em *stand by*.

12. a) A força eletromotriz da bateria não varia significativamente com o tempo, mas a ddp que ela fornece varia, ou seja, sua resistência interna aumenta.
b) e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

CAPÍTULO 3

PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

1. Resposta pessoal. Como esse tema tornou-se muito relevante atualmente, espera-se que boa parte dos estudantes tenha noção do que seja "energia limpa". Esse termo refere-se à energia obtida de fontes renováveis, que não causam impactos ambientais significativos. No entanto, há questões controversas em relação a alguns tipos de energia, como a nuclear, que é utilizada para aquecer a água que movimentará as turbinas conversoras de energia mecânica em energia elétrica. Embora não emita poluentes, o uso da energia nuclear requer cuidados rigorosos, em especial com o descarte do material radioativo após sua utilização.

PARA COMEÇAR

1. Você já ouviu o termo "energia limpa"? O que ele significa?
2. Cite algumas formas de obtenção de energia elétrica.
3. Que transformações de energia você pode identificar em uma turbina eólica?

2. Os estudantes podem se lembrar das usinas hidrelétrica, termelétrica, nuclear, eólica e solar.
3. A transformação da energia cinética (rotação da turbina) em energia elétrica.

TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA

Os diversos nomes dados à energia referem-se às suas diferentes manifestações e aos efeitos por ela produzidos.

Por exemplo, a energia luminosa (ou eletromagnética) proveniente do Sol é absorvida pela água de rios e mares, podendo causar sua evaporação. Nesse processo, a energia luminosa se transformou em energia térmica. A água que evapora sobe para determinadas altitudes da atmosfera (energia potencial gravitacional). Com a condensação, a água cai em forma líquida e escoa pelos rios (energia cinética), podendo parar em uma barragem de usina hidrelétrica, onde será armazenada (energia potencial gravitacional). Ao descer por uma tubulação apropriada, adquire velocidade (energia cinética), movimentando potentes turbinas, que, por sua vez, moverão os geradores. De maneira semelhante, os ventos, resultantes do aquecimento diferencial de porções da atmosfera, fazem as hélices dos parques eólicos se movimentar, transformando energia cinética em energia elétrica.

A energia elétrica resultante desse movimento é distribuída para os centros consumidores, como residências, e neles será utilizada para aquecer a água de um banho (energia térmica), para acender lâmpadas (energia luminosa), e assim por diante.

Turbinas aerogeradoras de parque eólico em Osório (RS). Foto de 2024.

Gerson Gerloff/Pulsar Imagens

Não escreva no livro.

ENERGIA

Até o início dos anos de 1820, a energia estava associada apenas à capacidade de realizar trabalho. A origem grega da palavra "energia" (*en-* = em; *érgon* = trabalho, ação) remete a essa ideia. A partir daí, sabemos que foi preciso incluir a **termodinâmica** na explicação. Então, o conceito de energia passa por constantes atualizações, para que haja a **conservação** da sua quantidade nos sistemas.

A energia está presente em todas as situações cotidianas. O quadro a seguir mostra alguns exemplos delas.

ALGUMAS SITUAÇÕES COTIDIANAS E SUA RELAÇÃO COM A ENERGIA		
06photo/Shutterstock.com/ID/BR	Daniel Cymbalista/Fotoarena	Microgen/iStock/Getty Images
O movimento de um automóvel decorre do aproveitamento da energia proveniente da queima de combustível.	O aquecimento da água que passa por um chuveiro elétrico é resultante da energia presente na eletricidade que circula pelo resistor do aparelho.	Todos os seres vivos utilizam a energia proveniente dos alimentos para a manutenção da vida e a execução de atividades diárias.
New Africa/Shutterstock.com/ID/BR	Alesia Puzhauskaite/Shutterstock.com/ID/BR	Rocharibeiro/Shutterstock.com/ID/BR
A mesma eletricidade que provê energia para o aquecimento da água no chuveiro possibilita a emissão de luz por uma lâmpada elétrica.	O vento, que possibilita a prática de *windsurf*, resulta do aquecimento de regiões da atmosfera, causado pela energia proveniente do Sol.	O cozimento dos alimentos em um fogão a lenha é resultante do aquecimento provocado pela energia obtida da combustão da madeira.

A análise desse quadro permite dizer que: a energia da queima do combustível é responsável pela ação de mover os veículos automotores; a energia da corrente elétrica intensifica as vibrações dos átomos do fio do resistor do chuveiro, elevando sua temperatura e, em consequência, aquecendo a água; a energia química dos alimentos é responsável por todas as ações do corpo humano; a energia solar é responsável, entre outras coisas, pelo aquecimento das massas de ar, as quais geram os ventos, que movem as embarcações a vela.

Quando se trata de energia, o Sol desempenha papel central. As marés, que são utilizadas em alguns países para a produção de energia elétrica, são geradas por vários fatores, entre eles a influência gravitacional do Sol e da Lua sobre as águas oceânicas. Os biocombustíveis, como o etanol da cana-de-açúcar, são produzidos pela ação da fotossíntese que as plantas realizam em presença da luz solar. As chuvas – que mantêm o fluxo dos rios e permitem o funcionamento de moinhos de água e hidrelétricas – se originam da evaporação de grandes massas de água, por causa do seu aquecimento pelo Sol. Os combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, têm origem na matéria orgânica decomposta, que no passado dependeu da fotossíntese e, portanto, do Sol. A energia solar também pode ser captada diretamente, gerando aquecimento ou eletricidade.

Enfim, podemos afirmar que grande parte da energia que move as coisas na Terra provém, direta ou indiretamente, do Sol.

Sol, fonte primária de energia para a Terra

No Sol, ocorre conversão de matéria em energia por meio de complexos processos de fusão nuclear. A energia emitida a cada minuto pelo Sol é equivalente à energia liberada pela queima de $8 \cdot 10^{18}$ kg de gasolina.

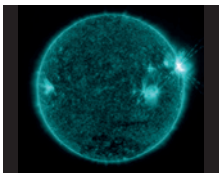

NASA/SDO

Imagem do Sol, obtida em 2017 com filtro que capta a luz na faixa de frequência do ultravioleta extremo, colorizada para efeitos didáticos.

PARA EXPLORAR

Leia

Matriz energética e elétrica

Nesse texto, você pode explorar as diferenças entre matriz energética e matriz elétrica e conhecer as fontes de energia tanto do Brasil como do restante do mundo.

Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em: 28 ago. 2024.

USINAS HIDRELÉTRICAS

O sucesso na instalação e na operação de uma usina hidrelétrica depende basicamente de dois fatores: grande disponibilidade de água (relacionada a um sistema climático caracterizado por chuvas constantes) e configuração de relevo que favoreça a formação de grandes quedas-d'água. Essas condições não estão presentes em todas as partes do planeta, de modo que a construção de usinas hidrelétricas é mais adequada em algumas áreas que em outras.

O Brasil é um país que apresenta condições favoráveis à implantação de usinas hidrelétricas em praticamente todas as suas regiões. Tanto é que a produção de eletricidade por esse tipo de usina no Brasil é significativa: em 2023, representou cerca de 61,9% da energia elétrica produzida no país.

Detalhe de um duto forçado.

Marcos Amend/Pulsar Imagens

Vista da barragem da Usina hidrelétrica de Itaipu, em Foz do Iguaçu (PR). Foto de 2018.

O acesso à eletricidade no Brasil

1. Respostas variáveis. Se julgar oportuno, oriente os estudantes a realizar a pesquisa solicitada com o auxílio do(a) professor(a) de Geografia. Uma possível abordagem é o levantamento das regiões do país mais favoráveis ao desenvolvimento de determinado tipo de energia, com potencial para se tornar uma importante contribuição à matriz energética na região.

ROTEIRO

1. Além das usinas hidrelétricas, há diversas outras maneiras de obtenção de eletricidade, como as usinas termelétricas e as eólicas. Mas as usinas hidrelétricas têm participação importante na produção mundial de energia elétrica.

Faça uma pesquisa, em *sites* confiáveis, sobre os dez maiores produtores de energia elétrica do mundo que usam as hidrelétricas como a principal fonte energética.

A energia elétrica proveniente das hidrelétricas está relacionada à grande **energia potencial gravitacional** da água represada. As barragens formam estoques de água que atingem grandes alturas, propiciando energia potencial gravitacional elevada. Tubulações denominadas **dutos forçados** (ou condutos forçados) permitem o escoamento da água em queda acentuada, de modo que sua grande energia potencial gravitacional se transforma em energia cinética.

O excedente de água é escoado rio abaixo por meio da **barreira de comportas**, as quais podem ser reguladas, controlando a quantidade de água que permanece estocada na barragem. Desse modo, pode-se garantir, dentro de certos limites, o funcionamento da usina mesmo em épocas de estiagem. Nas épocas de chuvas acentuadas, as comportas são abertas, impedindo o excesso de água na barragem e seu transbordamento.

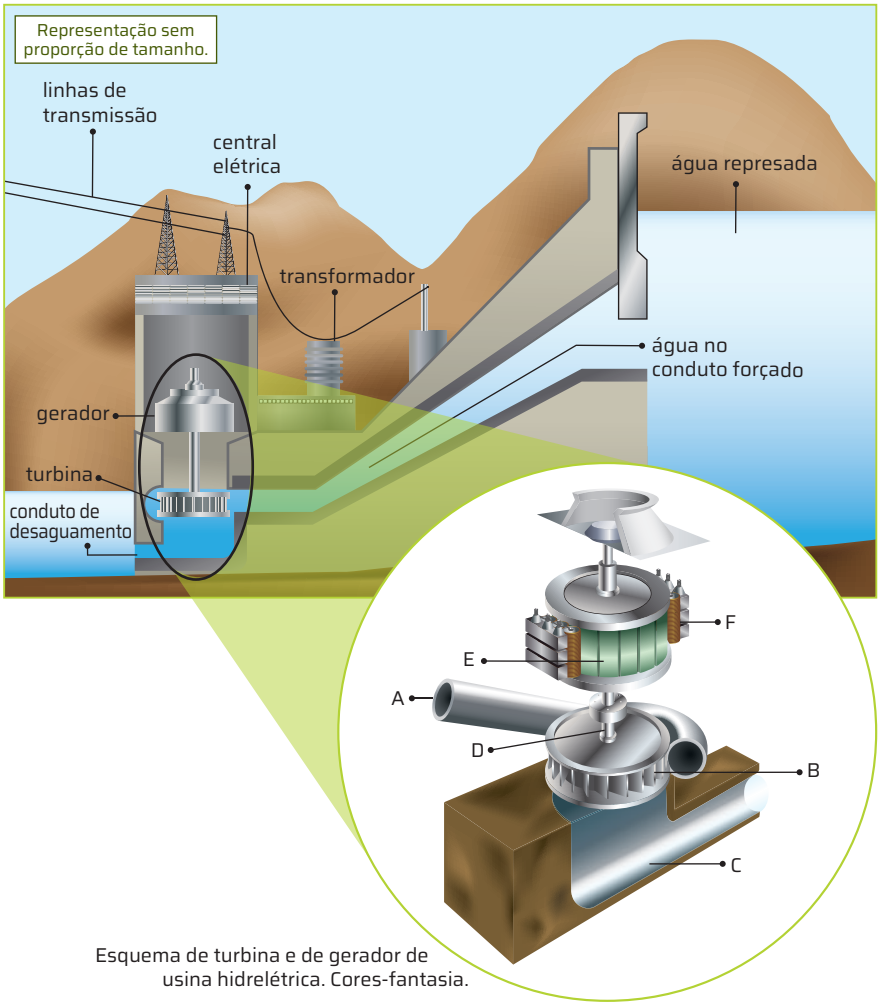
O **vertedouro** permite que a água excedente escoe de maneira mais suave até encontrar o leito do rio, minimizando o impacto da sua queda direta, que poderia causar erosão acentuada e deterioração do solo próximo à barragem. Os vertedouros podem ser construídos como verdadeiras escadas gigantes (vertedouro em **degraus**) ou em forma de rampas, com sua extremidade final curvada para cima (vertedouros em **salto** "**esqui**").

Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica

Os princípios físicos presentes no funcionamento das usinas hidrelétricas são os mesmos para todas elas, ainda que possa haver diferenças em seus projetos de construção. O esquema da página seguinte apresenta um desses projetos, com seus principais elementos.

Não escreva no livro.

O esquema a seguir apresenta um modelo de turbina e de gerador de hidrelétrica, com a descrição de seu funcionamento.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Esquema de uma usina hidrelétrica com os principais elementos envolvidos em seu funcionamento. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: PARANÁ. Secretaria da Educação. Galerias de imagens: dimensão econômica. *Dia a Dia Educação*, 2012. Disponível em: http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1417&evento=3. Acesso em: 11 out. 2024.

Esquema de turbina e de gerador de usina hidrelétrica. Cores-fantasia.

- **A. Conduto forçado:** a água que desce pelos condutos atinge grande velocidade, e sua energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética.
- **B. Pás rotativas da turbina:** após a queda, a água encontra em seu caminho as pás da turbina, ligadas a um grande eixo central, que gira com a passagem da água.
- **C. Conduto de desaguamento:** após colidir com as pás e colocar a turbina em movimento, a água é devolvida ao rio pelos condutos de desaguamento.
- **D. Eixo central turbina-gerador:** o eixo da turbina está ligado ao gerador, de modo que, quando a turbina é acionada, o eixo gira, e as partes do gerador que constituem o dínamo também giram.
- **E. Rotor:** na outra extremidade do eixo, encontra-se o rotor, no qual estão presos grandes magnetos (ímãs), que giram com o movimento do eixo central.
- **F. Estator:** em volta do rotor, localiza-se o estator, onde se encontram grandes bobinas de fios metálicos. Com o movimento dos magnetos, ocorre o fenômeno da indução eletromagnética, de modo que os elétrons presentes nos fios são postos em movimento, gerando intensas correntes elétricas.

As correntes elétricas resultantes são transmitidas por cabos e levadas à central elétrica, onde passam por procedimentos técnicos, como os ajustes de fase e a elevação da tensão. Em seguida, são direcionadas para as linhas de transmissão, quando são enviadas aos centros consumidores, localizados muitas vezes a centenas ou milhares de quilômetros da usina geradora.

DE OLHO NO CONCEITO

Matriz energética

A matriz energética de uma região, de um país ou do mundo corresponde ao conjunto de fontes de energia disponíveis para atender a diferentes atividades, como a geração de energia elétrica.

A matriz energética mundial é composta, em sua maior parte, de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. Por outro lado, o Brasil apresenta matriz energética com aproximadamente 45% de energia proveniente de fontes renováveis, ainda que o consumo de energia das fontes não renováveis seja maior. Boa parte dessa matriz depende do ciclo da água, o que significa que a escassez de chuvas pode afetar a geração de energia elétrica em todo o país.

O CAMINHO DA ENERGIA: DAS USINAS ÀS RESIDÊNCIAS

As usinas de produção de eletricidade, geralmente, localizam-se longe dos centros consumidores. As distâncias podem variar de dezenas a milhares de quilômetros.

O transporte de eletricidade envolve várias etapas e um número elevado de equipamentos para garantir que a energia chegue aos pontos de consumo com qualidade e segurança. A tensão elétrica gerada nas centrais é, em geral, alternada e estabelecida em 600 V. A **subestação de transmissão** eleva essa tensão a até 500 000 V, e a eletricidade é, então, transportada pelas **linhas de alta tensão**.

Nas **subestações de energia**, que, geralmente, estão localizadas próximas aos centros urbanos, a tensão elétrica é diminuída para 13 800 V e distribuída pelas linhas de média tensão urbanas.

Ao chegar aos locais de consumo, **transformadores** reduzem a tensão elétrica para 127 V ou 220 V. Cabos de baixa tensão levam a eletricidade até as **caixas de entrada** de residências, estabelecimentos comerciais e indústrias, e, de lá, fios distribuem-na para os pontos finais de consumo, onde a energia elétrica será finalmente utilizada.

Os chamados **relógios de energia** medem o consumo de energia elétrica de cada ponto consumidor e coletam informações que serão apresentadas na fatura de consumo. O esquema a seguir, em cores-fantasia, apresenta de forma simplificada as principais etapas envolvidas nesse transporte.

ESQUEMA DO CAMINHO DA ELETRICIDADE DA SUA GERAÇÃO, NOS DIVERSOS TIPOS DE USINA, ATÉ O CONSUMIDOR FINAL

Ismar Ingber/Pulsar Imagens

Alf Ribeiro/Pulsar Imagens

C. Linhas de alta tensão transportam a eletricidade por longas distâncias até as subestações de energia, nas cidades.

A. A energia elétrica é obtida nas centrais elétricas.

B. Por meio de transformadores, a tensão é elevada (podendo chegar a 500 kV), preparando a transmissão da eletricidade para os centros consumidores.

D. Nas subestações, transformadores baixam a tensão a 13,8 kV, e a energia é distribuída por redes elétricas, levando a eletricidade até os pontos de consumo.

E. Postes e linhas urbanas compõem a chamada rede primária urbana, que distribui a energia para toda a cidade.

postes de energia

Representação sem proporção de tamanho.

Cores-fantasia.

casa.da.photo/Shutterstock.com/ID/BR

Tortoon/Shutterstock.com/ID/BR

G. Na "caixa de entrada" das residências, a eletricidade é distribuída para os vários pontos internos de consumo.

Alf Ribeiro/Shutterstock.com/ID/BR

F. Transformadores de rua reduzem ainda mais a tensão para 127 V ou 220 V (consumo residencial), permitindo que a energia elétrica seja utilizada nas residências com menos riscos às pessoas.

Ilustração: Setup Bureau/ID/BR

A eletricidade chega às residências

A eletricidade chega às residências pelos **cabos de baixa tensão** que estão ligados às linhas de distribuição das ruas.

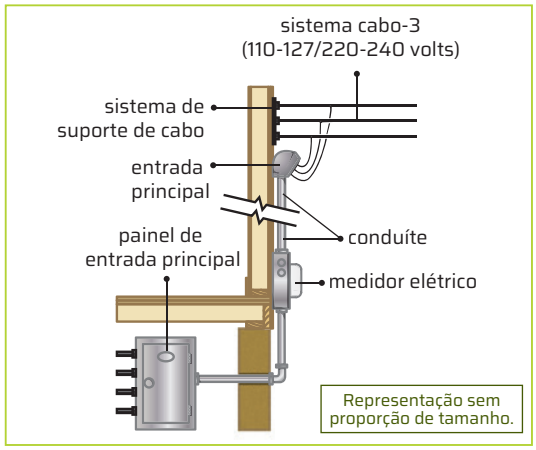
Como já mencionado, a tensão da rede primária (cerca de 13,8 kV) é reduzida para 127 V ou 220 V nos transformadores instalados nos postes das ruas. Essas tensões, muito menores, garantem a redução de riscos para os usuários finais, em caso de contato direto com a rede elétrica.

Não escreva no livro.

Em uma instalação típica, três fios partem do transformador externo (nos postes) para uma residência: duas fases e um neutro. As **fases** apresentam tensão alternada, que oscila geralmente entre −110 V e +110 V. O **neutro** tem potencial elétrico nulo.

Esses cabos são ligados à caixa de entrada, onde há o medidor de consumo de energia elétrica ("relógio"), o qual registra o consumo mensal da residência, para que a empresa fornecedora de energia possa gerar a fatura de cobrança.

O medidor elétrico pode ficar na mesma caixa em que se encontram a chave geral, os fusíveis ou disjuntores e as chaves auxiliares secundárias (veja foto ao lado). Dependendo da instalação, no entanto, o medidor pode ser instalado em uma caixa externa, para facilitar o acesso do profissional responsável pela leitura do relógio. Nesse caso, os outros equipamentos (chave geral, chaves secundárias e elementos de proteção) geralmente ficam em uma caixa secundária, dentro da residência.



Setup Bureau/ID/BR

Representação da instalação elétrica em um poste de rede de distribuição de energia elétrica. Cores-fantasia.

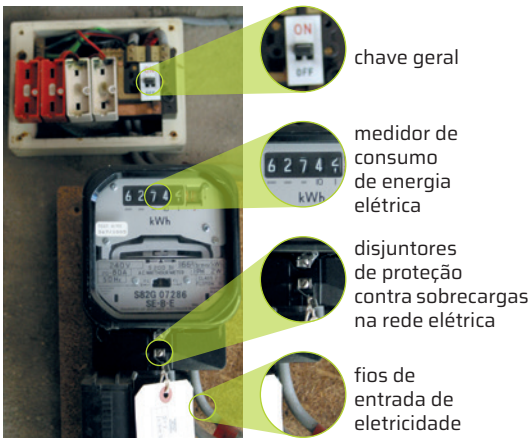
A chave geral controla todo o fornecimento de energia elétrica que chega do exterior para a casa. Se estiver desligada, não haverá eletricidade circulando pela residência. Os fusíveis ou disjuntores são elementos de proteção contra sobrecargas na rede elétrica. Eles são fabricados de modo que fundam (fusível) ou desarmem (disjuntores) quando circular por eles uma corrente elétrica superior à prevista pela instalação elétrica. Assim, evitam que os demais componentes da rede residencial, incluindo os aparelhos ligados a ela, sofram algum dano.

Transmissão de eletricidade

Em sua origem nas centrais elétricas, a corrente elétrica é alternada; no entanto, sua transmissão das centrais produtoras até os centros de consumo pode ser feita por meio de tensão alternada ou contínua. O método de transmissão é determinado por fatores de ordem técnica. Na maioria das vezes, ela é feita por tensão alternada.

As linhas de transmissão apresentam resistência elétrica elevada devido ao longo comprimento. Isso causa aquecimento dos fios – efeito Joule – e consequente perda de energia elétrica na transmissão, transformada em calor. A potência dissipada pode ser escrita em função da resistência do fio e da intensidade da corrente:

$$P_{final} = P_{total} - P_{dissipada} \Rightarrow P_{final} = P_{total} - r \cdot i^2$$



Cello/ Alamy/Fotoarena

Os fios de eletricidade passam pelo "relógio" medidor e, depois, pela caixa de disjuntores até finalmente chegar aos pontos de consumo. Cores-fantasia.

Para diminuir a perda de energia elétrica devido ao aquecimento dos cabos, deve-se diminuir sua resistência elétrica ou a intensidade de corrente elétrica que circula por eles. Para tanto, pode-se considerar os procedimentos a seguir.

- Trocar o material do qual os cabos são feitos. Em geral, as linhas de transmissão de alta tensão são de aço e alumínio, com baixa resistividade elétrica e alta resistência à tração e à exposição contínua ao ambiente. Trocar essas linhas por cabos de cobre ou de outro material que seja melhor condutor elétrico encareceria demasiadamente sua instalação, sem diminuir de maneira significativa as perdas por aquecimento.
- Aumentar o diâmetro dos cabos reduziria sua resistência elétrica; entretanto, aumentaria ainda mais a sua massa, tornando-os demasiadamente pesados para serem utilizados.
- Diminuir a intensidade da corrente elétrica. Isso pode ser feito aumentando-se a tensão elétrica entre os terminais da linha de transmissão. Os transformadores presentes na linha de corrente alternada transferem aproximadamente sempre a mesma potência entre seus enrolamentos primários e secundários, de modo que elevar a tensão causa uma redução proporcional da intensidade da corrente elétrica, expressa por:

$$P = U \cdot i$$

Assim, quanto menor a intensidade da corrente elétrica transportada, menor o aquecimento nos fios devido ao efeito Joule. Esse é o principal método utilizado em quase todas as linhas de transmissão.

1. Respostas pessoais. O objetivo dessas questões é que os estudantes avaliem se eles e seus familiares usam a energia elétrica de forma consciente.

AÇÃO E CIDADANIA

Economia de energia elétrica

Utilizar a energia elétrica de maneira consciente é fundamental para toda a sociedade e para um desenvolvimento sustentável.

Pequenas mudanças nas atividades diárias podem reduzir os gastos com a energia elétrica e ainda preservar o meio ambiente, contribuindo para evitar a escassez de recursos para as futuras gerações.

Uma das ações que podem prevenir o desperdício de energia elétrica e promover o consumo consciente é optar por produtos com o selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). Esse selo indica ao consumidor que o produto tem um consumo reduzido de energia elétrica. Atitudes como essa podem ajudar a minimizar o desperdício.

1. Você e seus familiares costumam ter atitudes cotidianas que contribuem para a economia de energia elétrica? Cite algumas dessas atitudes.

O PROBLEMA DA ESCASSEZ MUNDIAL DE ENERGIA

A produção e o consumo mundial de energia, e suas mais diversas formas, são desafios para todas as nações, pois ocorrem de maneira desigual pelo planeta.

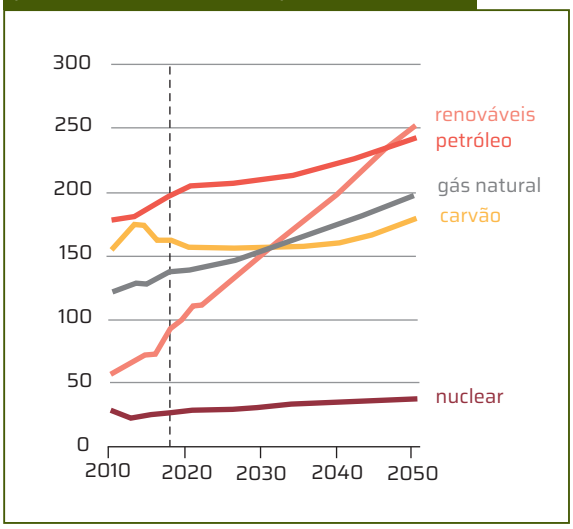
Projeções recentes anunciam uma situação alarmante até 2030: crescimento de 45% na demanda mundial por energia, a uma taxa média de 1,6% ao ano. Além disso, o crescimento concentra-se na utilização de combustíveis fósseis, altamente poluentes, em especial o carvão.

Contudo, manifestações atuais de escassez anunciam que o cenário negativo já se manifesta no presente e deverá se intensificar em poucos anos, entre elas, as interrupções no fornecimento de energia elétrica (*blackout* ou "apagão") em várias partes da Terra, como nos Estados Unidos e no Brasil, e dificuldades de abastecimento, como ocorre com o gás natural na Europa.

Para reverter essas tendências e minimizar os efeitos negativos da escassez de energia, algumas iniciativas e propostas de mudança de mentalidade têm se apresentado como soluções viáveis. Alguns pontos que merecem destaque são: incrementos tecnológicos que visem ao aumento da eficiência energética de equipamentos e processos de geração de energia; reforço de hábitos individuais de economia de energia; incentivo ao consumo consciente e sustentável, que, além de contribuir para a redução de lixo, demanda menor uso de energia; e busca por fontes de energia renováveis.

O gráfico de linha a seguir mostra a projeção de consumo mundial de energia.

CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA POR FONTE (EM QUATRILHÕES DE BTU)



ID/BR

O gráfico mostra, em quatrilhões de btu (unidade britânica de energia), as projeções de uso de energia em função de diversas fontes.

Fonte de pesquisa: U.S. Energy Information Administration (EIA). *International energy outlook 2019 with projections to 2050*. Washington, DC: EIA, 2019. p. 31. Disponível em: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf. Acesso em: 29 ago. 2024.

ROTEIRO

2. Um painel solar deverá ser utilizado para fornecimento de energia elétrica, suprindo o funcionamento de um chuveiro de potência 4 kW. A intensidade (potência por unidade de área) da radiação solar que incide na superfície da Terra é 1,0 kW/m², e a eficiência de conversão desse painel, 15%. Calcule a área do painel necessária para que ele alimente satisfatoriamente esse chuveiro, considerando boas as condições de iluminação solar durante o seu funcionamento. Comente o resultado encontrado.

26,7 m². Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Energias renováveis

Energia renovável é toda modalidade de energia que, de alguma maneira, volta à sua origem no seu ciclo de transformações energéticas.

Tomemos como exemplo a água utilizada em hidrelétricas para o acionamento das turbinas. Cumprindo seu ciclo natural, a água, na forma de chuva, sempre retorna a alguma nascente de rio e sempre pode passar novamente por uma usina.

As principais fontes renováveis de energia são:

- **Biomassa**: a queima de algumas matérias orgânicas pode ser aproveitada na geração de energia elétrica. A queima do bagaço da cana-de-açúcar, por exemplo, libera energia térmica, que pode ser usada em termelétricas adjacentes às usinas de açúcar e de etanol. Os resíduos da queima podem ser aproveitados na adubação de roças de replantio. Por meio da fotossíntese realizada por plantas e algas, o CO_2 eliminado na queima de matéria orgânica é novamente absorvido e fixado, fechando, com isso, um ciclo de obtenção de energia renovável.

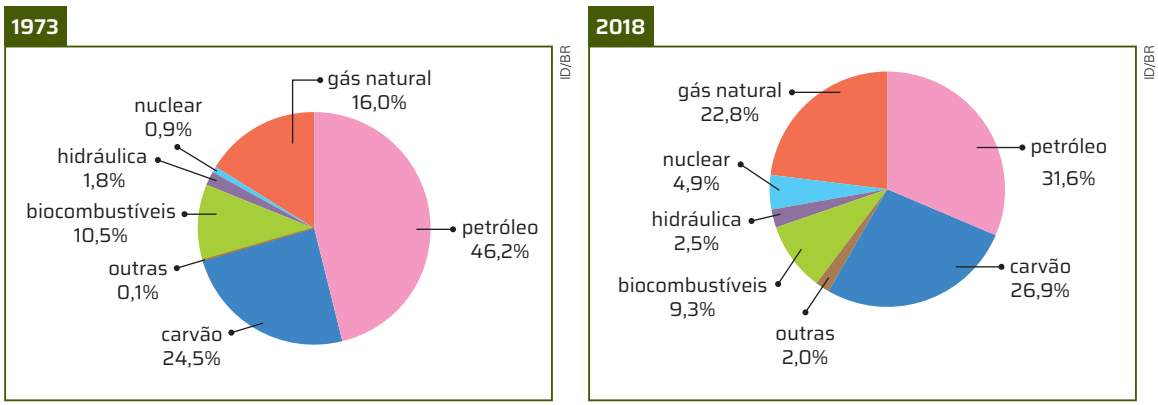
Não escreva no livro.

- **Biocombustíveis**: óleos extraídos de plantas, como a soja e a mamona, podem ser transformados em uma espécie de *diesel* altamente calórico e usado como combustível. Os resíduos eliminados na queima são reintroduzidos no ciclo de obtenção de energia, como no caso da biomassa.
- **Biogás**: obtido da decomposição da matéria orgânica, o biogás também fornece energia ao ser queimado. Os resíduos podem gerar nova matéria orgânica, completando o ciclo de renovação na natureza.
- **Energias solar, eólica, das marés e das ondas**: são consideradas fontes renováveis, pois estão associadas principalmente ao Sol, cujo tempo de vida útil deverá acompanhar muitas e muitas gerações de vidas terrestres.

Energias não renováveis

Entre as fontes não renováveis, as mais importantes são os combustíveis fósseis, como o petróleo (e seus subprodutos), o carvão mineral e o gás natural. As matérias-primas nucleares, como o urânio e o tório (chamados por analogia "combustíveis nucleares"), também são fontes não renováveis de energia.

A humanidade ainda utiliza energias não renováveis em larga escala, explorando pouco as formas de energia renováveis, como pode ser observado nos gráficos a seguir.



Os dois gráficos mostram que, no mundo, o uso das fontes não renováveis de energia ainda prevalece sobre o uso das fontes renováveis.

Fonte de pesquisa: U.S. Energy Information Administration (EIA). *Key world energy statistics 2020*. Washington, DC: EIA, 2020. p. 6. Disponível em: https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020. Acesso em: 3 out. 2024.

Principais riscos ambientais das usinas

Veja, a seguir, os riscos ambientais mais comuns causados pelas usinas.

Centrais termelétricas

Queima de combustíveis nocivos, em geral fósseis, como o gás natural, o carvão e o petróleo. Emissão constante de gases poluentes associados à chuva ácida (efeito local) e ao efeito estufa (efeito global), além de poluição térmica local.

Centrais hidrelétricas

Alteração da paisagem local, interferindo na fauna e na flora terrestres e aquáticas. Impacto em rotas migratórias de vários animais. Acidificação das águas e emissão prolongada de gases de efeito estufa devido à decomposição da vegetação terrestre submergida.

Centrais eólicas

Alteração de rotas migratórias de aves. Poluição sonora causada pelo funcionamento dos aerogeradores. Inutilização das terras onde os aerogeradores são fixados, com provável interferência na qualidade de vida das populações locais. Possíveis acidentes com aves; modificação da paisagem; e emissão de poluentes (restrita à fabricação e ao transporte das partes que compõem a central).

Centrais solares fotovoltaicas

Inutilização das terras onde os heliostatos são fixados, com provável interferência na qualidade de vida das populações locais. Riscos de acidentes envolvendo animais e pessoas que circulem pelo local. Emissão de poluentes (relacionada àfabricação e aotransporte dos materiais que compõem a central). Emissão de dejetos tóxicos pelo descarte de materiais utilizados no armazenamento de energia elétrica (baterias).

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

URBANIZAÇÃO, ENERGIA E ELETRICIDADE

O mundo atual é essencialmente urbano. Em 2022, segundo a ONU, 56% dos 8,1 bilhões de pessoas no mundo viviam em cidades. Mas esse fenômeno é relativamente recente. Até 2007, a população rural superava a urbana. O Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA, na sigla em inglês), em seu relatório *Situação da população mundial 2007: desencadeando o potencial do crescimento urbano*, já apontava para 2008 a mudança do cenário predominantemente rural para um de predominância urbana.

É importante notar também que, apenas durante o século XX e praticamente as duas primeiras décadas do século XXI, a população urbana mundial saltou de 220 milhões para os 4,5 bilhões estimados atualmente.

PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA MUNDIAL

Fonte de pesquisa: United Nations. Department of Economic and Social Affairs. *World urbanization prospects*: the 2018 revision. New York: United Nations, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024.

O fenômeno, no entanto, deu-se de maneira desigual e em duas fases distintas. A primeira fase ocorreu mais intensamente na Europa e nos Estados Unidos, com início no século XVIII. A Primeira e a Segunda Revolução Industrial, associadas a transições demográficas, acentuaram o processo de urbanização nessas regiões. Esse processo foi demorado, estendendo-se praticamente por dois séculos (de 1750 a 1950), envolvendo uma pequena parcela da população mundial (algumas centenas de milhões de pessoas).

A segunda etapa disseminou-se mundo afora, atingindo as regiões menos desenvolvidas do globo. Outras causas do intenso processo de migração das populações rurais para as cidades foram a precariedade da vida no campo, as promessas de trabalho e de melhores salários nas cidades e a melhoria do padrão de vida nos centros urbanos, que cresciam e se industrializavam. A segunda fase, no entanto, foi muito mais rápida e intensa que a primeira, podendo ser percebida de forma marcante no decorrer do último meio século.

O avanço tecnológico, simbolizado pelas máquinas a vapor do século XVIII, combinado às descobertas e à exploração de suprimentos cada vez maiores de energia, está entre os motores das revoluções industriais ocorridas nessa época da história.

A maciça extração de carvão das minas britânicas, entre outras, e a exploração comercial do petróleo – que teve início em 1859, com a perfuração do primeiro poço na Pensilvânia (EUA), pelo coronel Edwin Drake – marcam o início da era da energia em aparente abundância. Meios de transporte mais velozes e numerosos, como os automóveis, são reflexos disso.

Não escreva no livro.

O desenvolvimento da tecnologia da eletricidade e dos dínamos eletromagnéticos permitiu alimentar as cidades com iluminação abrangente e mais duradoura, possibilitando também o desenvolvimento das telecomunicações e de outros confortos. A construção das primeiras usinas termelétricas e hidrelétricas, no final do século XIX, anunciava um futuro de energia aparentemente ilimitada, sustentando novos padrões de consumo.

ByDroneVideos/Shutterstock.com/ID/BR

Vista noturna do Farol da Barra, com parte da cidade de Salvador (BA). Foto de 2023.

Outros fatores, como a melhoria da qualidade de vida nas cidades, os avanços da medicina, a ampliação do acesso aos serviços de saneamento básico e a melhoria dos hábitos pessoais de higiene e dos padrões de alimentação e moradia, geraram queda expressiva nas taxas de mortalidade infantil e aumento da expectativa de vida, contribuindo para a explosão demográfica observada nas cidades. Projeções indicam que, em 2054, a população mundial chegará a 9,9 bilhões de pessoas. Mas há claros indicadores de queda de fecundidade em cerca de dois terços da população mundial, podendo levar à diminuição no ritmo de crescimento, como ocorre no Brasil atualmente. Estudos da ONU também apontam que mais da metade da população mundial atual não tem acesso a serviços básicos de saneamento, vivendo em condições precárias, e precisam de atenção especial e acesso aos benefícios preconizados pela modernidade que relutam em chegar.

Fontes de pesquisa: Fundo de População das Nações Unidas (UNFPA). *Situação da população mundial 2023*: 8 bilhões de vidas, infinitas possibilidades – em defesa de direitos e escolhas. Brasília, DF: UNFPA Brasil, 2023. Disponível em: https://brazil.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/swop2023-ptbr-web.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024; United Nations. Department of Economic and Social Affairs. *World urbanization prospects*: the 2018 revision. New York: United Nations, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024; Ostronoff, H. As mega-aldeias. *Problemas Brasileiros*, São Paulo, Sesc, n. 392, mar./abr. 2009.

Para discutir

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes compreendam a importância da atividade rural para a sociedade, pois nossa alimentação depende da produção agrícola. Assim, é fundamental que os governos garantam, com incentivos e investimentos adequados, a produção dos recursos necessários para suprir a demanda por produtos agropecuários.

1 **Como vimos, segundo a ONU, em 2022, a população mundial era de 8,1 bilhões de pessoas, e cerca de 56% delas viviam nas áreas urbanas. De acordo com o que você leu, em que época a população tornou-se predominantemente urbana? Qual é a tendência de urbanização mundial para os próximos anos?** Em 2008. A tendência é de aumento da população urbana.

2 **A urbanização é um fenômeno homogêneo em todo o mundo? Explique.** O fenômeno da urbanização não é homogêneo; pode ocorrer desigualmente em diferentes regiões do planeta, já que depende do desenvolvimento de cada região.

3 **Relacione o aumento do uso social da eletricidade com a aceleração do processo de urbanização.**

4 **Em sua opinião, seria importante que os governos criassem políticas públicas para incentivar a fixação das pessoas em áreas rurais? Justifique.**

3. O uso da eletricidade proporcionou às cidades uma rede de iluminação mais ampla, além do desenvolvimento das telecomunicações e de outras comodidades. Essa transformação melhorou a qualidade de vida nas áreas urbanas, o que impulsionou o processo de urbanização.

Construindo um minigerador eólico

A energia eólica (obtida dos ventos) tem sido empregada em diversos países como uma fonte importante de obtenção de eletricidade. Nesta atividade, você e os colegas vão entender melhor como funciona um gerador eólico, seus princípios e algumas de suas vantagens e limitações. O experimento pode ser realizado individualmente ou em grupo.

Material

- motor elétrico DC (encontrado em diversos brinquedos de controle remoto, ou mesmo em ferros-velhos)
- cano de PVC de 20 a 30 cm e cotovelo, ambos de 1 polegada
- dois pedaços de fios de eletricidade, finos como os de brinquedos eletrônicos
- fita isolante, 1 ou mais LED (qualquer cor)
- cola adequada para cano de PVC ou silicone
- ferramenta de corte, ferro de solda e elemento soldável (estanho)
- placa de madeira
- hélices de plástico ou de outro material

Anantachai/Shutterstock.com/ID/BR

Motor elétrico DC.

Como fazer

ATENÇÃO!
Nesta atividade, você vai utilizar ferramentas de corte e de solda. Caso não tenha prática no uso dessas ferramentas, peça ajuda ao/à professor(a). Ao soldar, use óculos de proteção.

1. Desencape e raspe as duas pontas dos fios de eletricidade (cerca de 1 cm) para remover o verniz isolante. Esses fios devem ter comprimento maior que o do pedaço de cano PVC.
2. Solde ou prenda esses fios aos terminais do motor DC e proteja-os com fita isolante.
3. Encaixe e cole o cotovelo na ponta do cano de PVC. Essa será a extremidade superior da torre eólica. Passe os fios por dentro do cano de PVC, de modo que suas extremidades saiam com sobra do outro lado.
4. Solde as extremidades livres dos fios ao LED. Procure instruções a respeito da polaridade do LED para que a ligação seja feita de forma adequada.
5. Fixe a torre eólica na placa de madeira. A fixação pode ser feita de diversas maneiras; pesquise as possibilidades ou peça ajuda ao professor para realizar essa etapa.
6. O LED pode ser fixado também na placa de madeira ou de outra maneira, dependendo da sua escolha para a fixação da torre.
7. Encaixe as hélices de plástico no eixo do motor DC no alto da torre. Essas hélices podem ser retiradas de um brinquedo, mas você também pode produzi-las cortando uma folha de lata.
8. Encaixadas as hélices e fixada a torre na base de madeira, seu sistema eólico está pronto. Falta o essencial: vento! Para gerar vento, você pode utilizar um ventilador que soprará as hélices do aerogerador. Varie a distância ou a velocidade do ventilador e observe o funcionamento da torre eólica. Ou, então, saia com sua torre ao ar livre, em um dia com vento, e veja o funcionamento do dispositivo.

2. Resposta variável. Os estudantes podem responder que, com o aumento da distância ou a redução da velocidade do ventilador, o movimento das hélices do aerogerador é reduzido, prejudicando a obtenção de eletricidade. Por outro lado, a aproximação do ventilador com a torre ou o aumento da velocidade do ventilador podem causar turbulências, que também prejudicam o funcionamento da torre eólica.

Para concluir

1. O motor e o gerador elétricos são o mesmo dispositivo, cujo funcionamento varia apenas em função da energia de entrada. Quando alimentado com eletricidade em seus terminais, gera energia mecânica movimentando seu eixo e funcionando como motor elétrico. Quando alimentado com energia mecânica, pela movimentação de seu eixo, gera eletricidade, que pode ser obtida em seus terminais acendendo o LED, por exemplo.

1 **Geralmente, o motor DC é alimentado com eletricidade, gerando o movimento do seu eixo e do dispositivo onde está inserido (um carrinho de brinquedo, por exemplo). O que explica o funcionamento desse tipo de motor como gerador em sua torre eólica?**

2 **O que foi possível observar ao variar a velocidade ou a distância do ventilador até a torre?**

3 **Em discussões sobre a construção e o funcionamento de fontes geradoras de eletricidade em larga escala, é comum mencionar o impacto ambiental associado. Esse impacto ambiental refere-se a mudanças no ambiente, à alteração do equilíbrio ecológico local e à poluição. Pesquise e aponte ao menos dois impactos ambientais associados à implantação de um parque eólico.**

3. Resposta variável. No entanto, os dois impactos mais associados à implantação de parques eólicos são a geração de ruído devido ao funcionamento das hélices, que, em geral, são gigantescas, e a alteração de rotas migratórias de aves, ocasionando até mesmo a morte de muitas delas após sua implantação.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 Observe a tabela a seguir, que apresenta dados de consumo médio de energia de alguns aparelhos comuns em residências, e, depois, faça o que se pede.

CONSUMO MÉDIO MENSAL DE APARELHOS ELÉTRICOS				
Aparelho	**Potência (W)**	**Tempo médio de uso por dia**	**Número de dias**	**Consumo (kWh)**
chuveiro	3 500	40 min	30	70,0
ferro elétrico	1 000	1 h	12	12,0
lavadora de roupas	500	1 h	12	6,0
secador de cabelos	1 400	10 min	30	7,0
TV	90	5 h	20	9,0
ventilador de teto	120	8 h	30	28,8

a) Identifique o aparelho que apresenta o maior consumo médio mensal.

b) Em uma casa, uma lâmpada de 100 W fica ligada 6 horas por dia, em média, durante os 30 dias do mês. Ao se retirar o ventilador de teto dessa casa, calcule quantas lâmpadas poderiam ser alimentadas com a energia que o ventilador usaria. Tendo como critério a economia de energia, verifique se vale a pena a retirada do ventilador.

c) Avalie a afirmação: "O secador de cabelos é supérfluo, e seu uso pode ser abolido com impacto significativo no consumo mensal de uma residência" .

Resolução

a) Cada aparelho fica ligado por diferentes períodos, de modo que os consumos apresentados devem ser comparados com cuidado, pois são relativos. No entanto, na comparação relativa, o chuveiro elétrico é o aparelho que apresenta o maior consumo.

b) Escrevendo inicialmente a potência da lâmpada em kW (0,1 kW), a energia consumida por uma lâmpada no período sugerido pode ser calculada por:

$E = P \cdot \Delta t \cdot E = 0{,}1\ \text{kW} \cdot 6\ \text{h/dia} \cdot 30\ \text{dias}$

$E = 18\ \text{kWh}$

O ventilador de teto, ligado oito horas por dia, consome o equivalente a uma vez e seis décimos o consumo da lâmpada. Somente isso não justifica a retirada do equipamento.

c) O critério de classificação do secador de cabelos como supérfluo envolve diversos parâmetros. Eliminando os critérios subjetivos, podemos dizer que, em uma região do país que apresente temperaturas mais elevadas, a presença do ventilador de teto é mais justificável que a do secador, e este poderia ser enquadrado na categoria de supérfluo. Em outra região, com temperaturas anuais típicas mais baixas, a análise seria inversa.

3. A principal fonte de energia para os seres humanos são os alimentos, sejam eles de origem animal, sejam eles de origem vegetal. A relação entre alimentos de origem vegetal e a energia solar é evidente, mas é possível que os estudantes ainda não tenham estendido essa relação para os alimentos de origem animal. Ressalte que a fotossíntese está na base das cadeias alimentares e que os animais dos quais os seres humanos se alimentam são, portanto, dependentes, de algum modo, da energia solar, seja por consumirem diretamente as plantas, seja por consumirem outros animais que, por sua vez, se alimentam das plantas.

2 Como vimos no início deste capítulo, a palavra "energia" tem origem grega e significa "em ação". Você concorda com essa associação? Cite uma situação que envolva energia em que não se possa identificar facilmente algum tipo de ação ou de movimento.

Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 Dê a principal fonte de energia utilizada pelo ser humano na manutenção de sua vida, explicando o papel do Sol nessa fonte.

4. a) No forno da padaria, a lenha queimada é obtida das árvores, que, por sua vez, se desenvolvem ao absorver a energia luminosa do Sol.

4 Identifique a relação de cada um dos itens a seguir com a energia solar.

a) Obtenção de calor ao se queimar lenha em um forno de padaria.

b) A roupa seca e passada a ferro.

c) O movimento de um barco a vela.

d) O papel de que são feitas as páginas do livro que você está lendo agora.

4. b) É o calor transmitido pelo Sol que faz a roupa secar. Já para passar a roupa, usa-se o ferro cuja energia provém da transformação da energia elétrica fornecida às residências.

4. c) O barco a vela movimenta-se por causa do vento, resultante da diferença de temperatura entre as camadas da atmosfera aquecidas pelo Sol, entre outros fatores.

4. d) O papel tem como matéria-prima a celulose, que é extraída de árvores, que se desenvolvem com a ajuda da energia luminosa do Sol.

5 **Uma das maneiras de determinar o consumo médio aproximado de energia elétrica de uma residência é efetuar a soma do consumo de todos os aparelhos eletroeletrônicos dessa residência. Considere uma residência na qual os aparelhos eletroeletrônicos, com suas potências e tempo de funcionamento, estão mostrados na tabela ao lado.**

Aparelho	Potência (W)	Tempo
geladeira	250	24 h/dia
chuveiro	4400	30 min/dia
televisor	150	4h/dia
máquina de lavar	1500	4 h/semana
5 lâmpadas	60 cada	6 h/dia

a) Calcule o consumo médio mensal dessa residência. 342 kWh

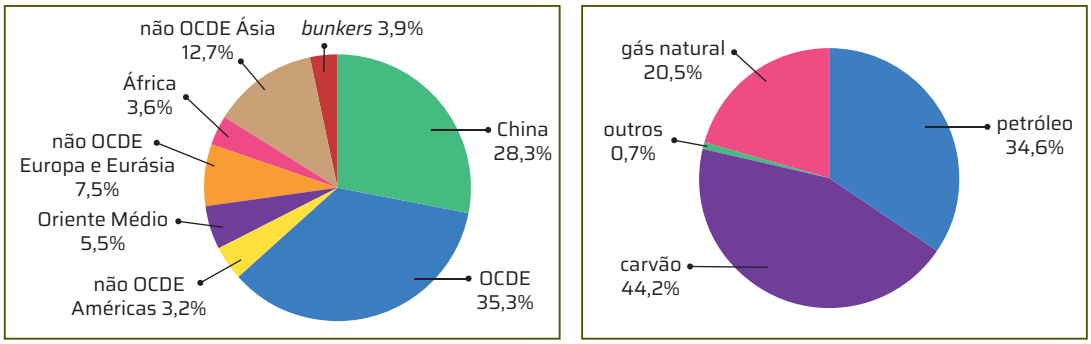
b) Refaça a tabela, colocando os aparelhos em ordem crescente de potência.

c) Em outra tabela, coloque os aparelhos em ordem crescente de consumo.

d) Comparando as respostas dos itens **b** e **c**, identifique quais elementos devem ser considerados para avaliar o gasto de energia gerado por um aparelho.

5. b), **c)** e **d)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 **As emissões mundiais de CO_2 por fonte de combustível e por região do globo, em 2018, são apresentadas nos gráficos a seguir.**



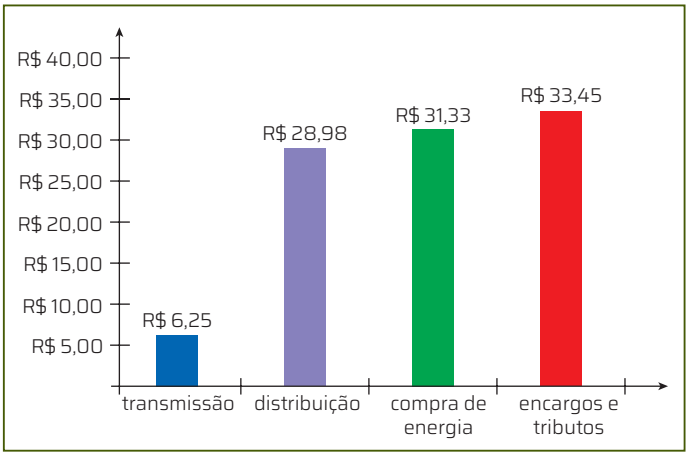
Gráficos: ID/BR

Fonte de pesquisa: International Energy Agency (IEA). *Key world energy statistics 2019*. Paris: IEA, 2019. p. 54-55.

a) Identifique, de acordo com os dados dos gráficos, as duas maiores fontes de emissão de CO_2 e o maior emissor desses resíduos. As duas maiores fontes de emissão são o carvão e o petróleo, e os maiores emissores desses resíduos são os países que compõem a OCDE.

b) Das usinas estudadas até agora, identifique uma que esteja mais diretamente ligada a essas emissões. As usinas termelétricas.

7 **O gráfico a seguir apresenta uma distribuição dos valores que compõem a fatura mensal de consumo de energia elétrica paga pelo consumidor final.**



ID/BR

Fonte de pesquisa: Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília, DF: Aneel, 2013. p. 27.

Com base nesses dados, para uma conta de R$ 100, analise cada afirmativa a seguir e indique qual(is) está(ão) correta(s).

I. Os encargos e tributos representam a maior parcela dessa fatura. Correta, pois o gráfico mostra que a parcela relativa aos encargos e tributos é maior que as demais.

II. O consumidor também arca com os custos da transmissão e da distribuição de energia elétrica.

III. A redução no consumo (compra de energia) reduzirá a parcela relativa à distribuição e à transmissão de energia. Incorreta, pois os dados do gráfico não permitem concluir que os gastos são proporcionais à quantidade de energia comprado.

7. II. Correta, pois, além do consumo efetivo, a transmissão e a distribuição de energia elétrica são cobradas do consumidor final.

Não escreva no livro.

8 Em transmissões de eletricidade, as perdas de energia por efeito Joule são tipicamente da ordem de 2,5%. Se uma usina produz uma potência de 400 MW, qual será a perda em W na transmissão? 10 MW

9 As imagens a seguir destacam equipamentos ou dispositivos e recursos relacionados a certas formas de energia: eólica, térmica, biomassa, solar fotovoltaica, elétrica e nuclear. Faça uma tabela, no caderno, associando as fotografias a cada uma dessas formas de energia e descreva resumidamente o equipamento, o dispositivo ou o recurso apresentado. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

João Prudente/Pulsar Imagens

Placas fotovoltaicas em São João Batista da Glória (MG). Foto de 2023.

José Souza/Shutterstock.com/ID/BR

Aquecedores solares em residências em Santa Maria da Vitória (BA). Foto de 2023.

Thomaz Vita Neto/Pulsar Imagens

Canavial em Mirassol (SP). Foto de 2024.

Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Rede elétrica em Aracaju (SE). Foto de 2024.

Adriano Kirihara/Pulsar Imagens

Parque eólico do Morro do Chapéu, em Morro do Chapéu (BA). Foto de 2024.

Fernando Mo/iStock/Getty Images

Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis (RJ). Foto de 2023.

10 O gráfico ao lado apresenta o custo de geração de energia elétrica no Brasil, com base em várias fontes. Observe-o e responda às questões.

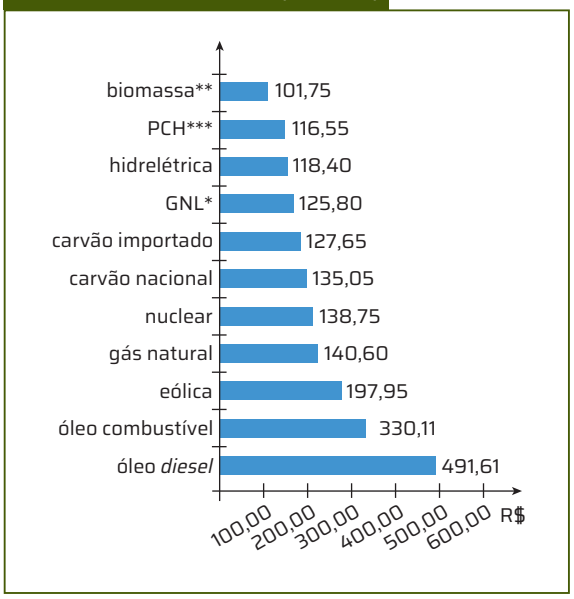
a) Identifique a fonte que gera o maior custo de produção de energia elétrica.
Óleo *diesel*.

b) Aponte em que tipo de usina essa fonte de energia deve ser utilizada.
Usinas termelétricas.

c) Pesquise e descubra em que regiões do país essa fonte de energia é mais utilizada para a geração de eletricidade.

d) Escreva argumentos que defendam o uso desse tipo de energia, apesar do custo.
Resposta pessoal. A principal vantagem das usinas termelétricas é que elas podem ser construídas próximas dos consumidores finais, diminuindo o custo com linhas de transmissão.

CUSTOS DE PRODUÇÃO DA ELETRICIDADE NO BRASIL (R$/MWh)



ID/BR

* gás natural liquefeito ** bagaço de cana
*** pequenas centrais hidrelétricas

Fonte de pesquisa: Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília, DF: Aneel, 2013. p. 47.

10. c) Respostas variáveis. Oriente os estudantes a questionar por que essas regiões as utilizam – apontando fatores como o clima, a topografia, a ausência de rios, entre outros.

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes já tenham conhecimento sobre campo gravitacional e campo elétrico, para que, assim, possam estabelecer relação desses campos com o campo magnético.

MAGNETISMO E INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

PARA COMEÇAR

1. Você sabe o que é campo magnético?
2. Você já manuseou um ímã? O que acontece quando aproximamos dois ímãs?

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes já saibam que, ao aproximar dois ímãs, pode ocorrer atração ou repulsão entre eles.

A IMPORTÂNCIA DAS BÚSSOLAS

A humanidade utiliza as bússolas há séculos. Para se ter ideia, a bússola mais antiga de que se tem conhecimento é datada do século I d.C. A partir do século XII, os chineses passaram a utilizá-la como instrumento de auxílio à navegação e, com isso, tornou-se possível também elaborar cartas marítimas.

Então, podemos dizer que o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da bússola permitiram o avanço das navegações. De fato, com o auxílio desse instrumento, as navegações, que eram apenas costeiras, puderam ser realizadas em alto-mar em qualquer época do ano e em qualquer condição climática, como em noites nubladas – em que não é possível observar as estrelas nem se orientar por elas –, e a distâncias mais longas.

Esses conhecimentos acumulados possibilitaram que terras até então desconhecidas fossem desbravadas com a chegada de Vasco da Gama às Índias, de Cristóvão Colombo à América e de Pedro Álvares Cabral ao Brasil.

Neste capítulo, serão estudados os fenômenos que relacionam a eletricidade e o magnetismo.

Desde o período das Grandes Navegações, a bússola é um instrumento muito importante para orientar a rota das embarcações.

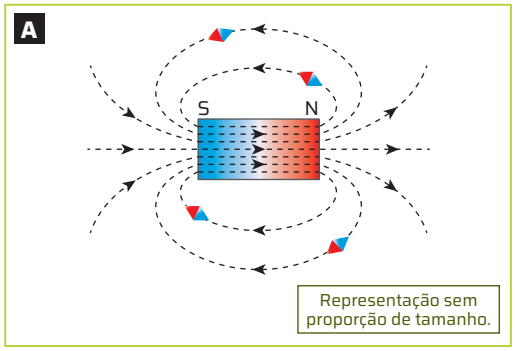
Biblioteca do Congresso, Washington, EUA. Fotografia: Dmitry Rukhlenko/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

CAMPO MAGNÉTICO

A agulha de uma bússola orienta-se de acordo com o campo magnético da Terra. Contudo, a orientação da agulha se altera quando um ímã ou minério de ferro se aproxima da bússola. Esse fato é um exemplo do quanto a presença de um ímã perturba o espaço ao redor, e essa perturbação de natureza magnética está associada à presença de um **campo magnético**. Assim, por ora, vamos conceituar o campo magnético como uma propriedade do espaço ao redor de um ímã.

Assim como o campo elétrico, o campo magnético é um campo vetorial, ou seja, a cada ponto do espaço se associa um **vetor indução magnética ou campo magnético**, cujo símbolo é $\vec{B}$. A unidade de medida da intensidade do campo magnético no Sistema Internacional é o tesla, representado pela letra T.



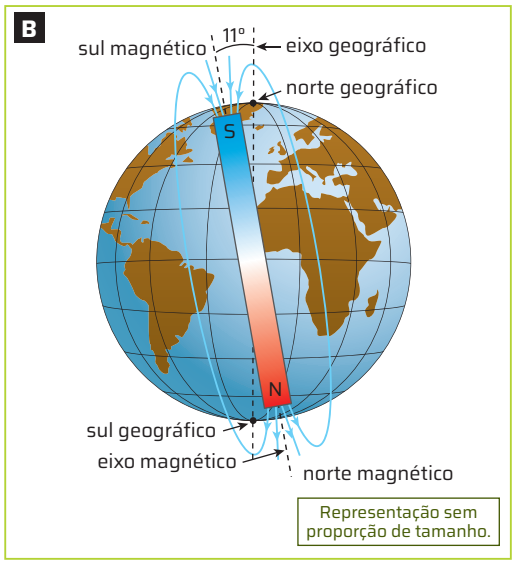
A representação das linhas de campo magnético de um ímã é obtida pelas direções para as quais a agulha de uma bússola aponta quando está em diferentes posições. Cores-fantasia.

Representação de um campo magnético

Não somos capazes de enxergar ou de sentir a presença de um campo magnético. No entanto, ao utilizar uma bússola, conseguimos "visualizar" um campo magnético observando as várias indicações da agulha desse instrumento, quando esta é colocada em posições diferentes ao redor de um ímã. Para isso, traçam-se várias linhas que tangenciam a direção para a qual a agulha aponta, de tal maneira que a direção e o sentido do vetor campo magnético correspondem à orientação que a agulha da bússola indicaria ao ser colocada naquela posição (imagem **A**). A essas linhas dá-se o nome de **linhas de campo**, **linhas de força** ou **linhas de indução magnética**. Por convenção, o sentido dessas linhas, na parte externa do ímã, aponta do polo norte magnético para o polo sul magnético (imagem **B**). A representação das linhas de campo magnético está relacionada à intensidade do campo e à densidade de linhas: quanto mais intenso for o campo, maior deverá ser a densidade de linhas.

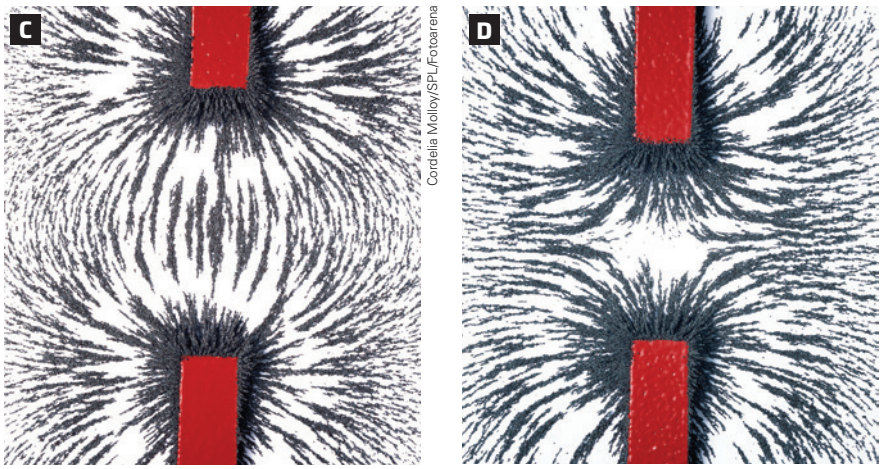
É possível observar as linhas de campo com limalhas de ferro. Nas imagens **C** e **D**, a limalha revela a forma das linhas de campo magnético gerado por dois ímãs em forma de barra.

O princípio da superposição dos campos elétricos também vale para o campo magnético. Assim, se houver mais de um ímã em uma região do espaço, o campo magnético induzido por esses ímãs em um ponto qualquer é obtido por meio da soma vetorial dos campos gerados naquele ponto pelos dois ímãs separadamente.



Representação das linhas de campo magnético da Terra: as linhas saem do polo norte magnético e entram no sul magnético. Cores-fantasia.

Magnetorrecepção



Campos magnéticos visualizados pela limalha de ferro entre dois ímãs em forma de barra, em duas situações. Em (**C**), aproximam-se os dois polos opostos e, em (**D**), os dois polos iguais.

ROTEIRO

1. Ao posicionar dois ímãs, um ao lado do outro, eles podem se atrair, ou se repelir, dependendo da posição de cada polo magnético.

É possível saber quais são os polos de cada ímã?

Espera-se que os estudantes respondam que não é possível identificar quais são os polos, pois não há informações suficientes. Para chegar à resposta, é necessário identificar pelo menos um dos polos e verificar se estão se atraindo ou se repelindo ou, ainda, ter a informação das linhas de campo magnético.

CAMPO MAGNÉTICO DE CORRENTES ELÉTRICAS EM FIOS RETILÍNEOS

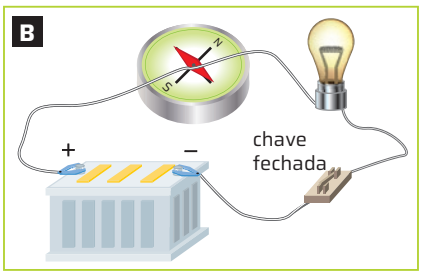
Durante muito tempo, os fenômenos elétricos e magnéticos foram estudados separadamente, pois não havia nenhuma evidência de relação entre eles. Isso começou a mudar no século XIX, com o trabalho do físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), que, em seu livro *Pesquisa sobre a identidade de forças elétricas e químicas* (publicado em 1812), analisou a possibilidade de fenômenos elétricos serem influenciados por fenômenos magnéticos.

Em um famoso experimento (imagens **A** e **B**), Oersted mostrou que a direção da agulha de uma bússola é desviada quando dela se aproxima um fio em que há corrente elétrica. Esse experimento é considerado o início da abordagem conjunta entre eletricidade e magnetismo e, por isso, diz-se que foi o marco inicial do eletromagnetismo.

Ao mover o fio com corrente elétrica ao redor da bússola, Oersted constatou que a agulha tendia a se posicionar perpendicularmente à direção em que o fio estava. A força que movia a agulha era diferente das forças retilíneas propostas por Newton. Para explicar esse e outros fenômenos, foi criado um novo modelo teórico, cujo fundamento principal era o fato de que cargas elétricas em movimento produzem campo magnético.

Representações sem proporção de tamanho.

Setup/Bureau/ID/BR



Setup Bureau/ID/BR

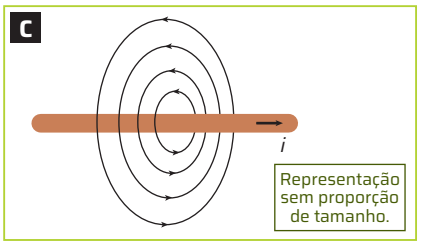
Representações da experiência de Oersted. Em **A**, não há corrente passando pelo fio, e a agulha da bússola está alinhada com a direção do campo magnético terrestre. Em **B**, a passagem de corrente elétrica altera a direção da agulha, que está alinhada quase perpendicularmente com o fio. Se não houvesse a ação do campo magnético da Terra, a agulha ficaria exatamente perpendicular ao fio. Quando o sentido da corrente é invertido, a agulha da bússola também tem sua orientação invertida, permanecendo praticamente perpendicular ao fio. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Silva, F. E. da. *Resgatando a importância do experimento de Hans Christian Oersted*. 2014. Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto UFC Virtual, Universidade Federal do Ceará, Barbalha, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/31922/1/2014_tcc_fesilva.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

Anos depois do experimento de Oersted, o físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) propôs que todo fenômeno magnético tem correntes elétricas como causa. Depois de constatar que há atração entre dois fios com corrente elétrica (fenômeno a ser estudado mais adiante), Ampère tentou calcular a força de atração entre eles utilizando a lei da gravitação universal como modelo, mas não obteve sucesso na tentativa.

Foi o físico inglês Michael Faraday (1791-1867) quem apresentou pela primeira vez a ideia de campo elétrico e magnético. Para ele, a interação entre os corpos poderia ser descrita por meio de linhas de campo. Nos ímãs, essas linhas partiriam do polo norte e apontariam para o polo sul; nas cargas elétricas, partiriam das cargas positivas e convergiriam para as cargas negativas; nos fios com corrente elétrica, as linhas de campo seriam circulares em torno do fio (imagem **C**).

Setup/Bureau/ID/BR



Representação das linhas de campo magnético produzido pela corrente elétrica em um fio retilíneo. O sentido da corrente elétrica influencia a direção e o sentido do campo magnético (conforme veremos adiante). As linhas são fechadas – como em todos os campos magnéticos. Diferentemente dos campos de ímãs, esse campo não parte de nenhum polo magnético. Cores-fantasia.

ROTEIRO

Comportamento [das tartarugas marinhas]

As tartarugas marinhas são solitárias e permanecem no ambiente marinho durante toda a sua vida, com exceção das fêmeas adultas que buscam as praias para desovar. [...] Por isso, grande parte do que se conhece sobre elas refere-se a estudos realizados com fêmeas em praias de desova.

Apresentam visão, olfato e audição desenvolvidos, além de uma fantástica capacidade de orientação e natação. [...]

[...]

Em mar aberto, as tartarugas marinhas encontram fortes correntes e, mesmo assim, conseguem navegar regularmente por longas distâncias. Os mecanismos de navegação e orientação que utilizam ainda representam um grande mistério, estudado por várias gerações de pesquisadores ao redor do mundo.

Sabe-se que são capazes de detectar a intensidade do campo magnético terrestre. A presença de magnetita (mineral muito sensível à direção do campo magnético usado para fazer ímãs) no cérebro das tartarugas marinhas sugere uma possibilidade para compreender a capacidade de orientação em mar aberto. [...]

Fundação Projeto Tamar. Comportamento [das tartarugas marinhas]. Fundação Projeto Tamar, [20--]. Disponível em: https://www.tamar.org.br/interna.php?cod=89. Acesso em: 1º out. 2024.

2. **Elabore, no caderno, um esquema ilustrado, com legendas e textos, para explicar como as tartarugas marinhas conseguem se orientar ao navegar em mar aberto.**

Respostas variáveis. Se julgar oportuno, oriente os estudantes a realizar essa atividade em grupo e com o auxílio do(a) professor(a) de Biologia. Se o cronograma permitir, sugira a eles que elaborem um resumo sobre a relevância de projetos de conservação como o Projeto Tamar, no Brasil.

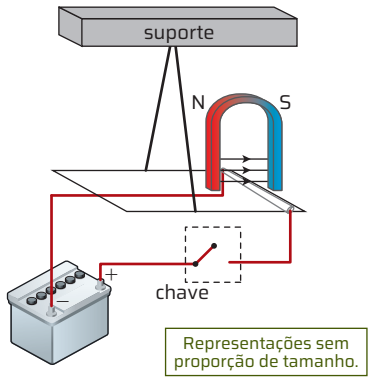
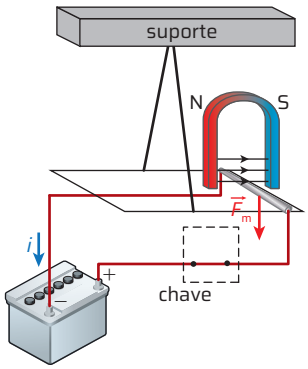
Não escreva no livro.

FORÇA MAGNÉTICA

Após a experiência de Oersted, outros experimentos demonstraram que cargas elétricas em movimento ficam sob a ação de forças quando imersas em uma região em que há campo magnético. Nesse caso, a força é conhecida como **força magnética**, cujas características são apresentadas a seguir.

Características da força magnética

O arranjo experimental a seguir consiste em um pedaço de fio condutor que configura um circuito fechado. Um dos segmentos do fio é colocado entre os polos de um ímã. Observe as duas situações mostradas.

Situação 1: circuito aberto (sem passagem de corrente elétrica pelo fio)	Situação 2: circuito fechado (com passagem de corrente elétrica)
 Nessa situação, não há força magnética do ímã sobre o fio. Cores-fantasia.	 Nessa situação, aparece uma força magnética $\vec{F}_m$ no segmento do fio que está sob ação do campo magnético. Cores-fantasia.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Esses e outros experimentos mostram que forças magnéticas atuam sobre cargas elétricas, desde que estas estejam em movimento (situação **2**). Esse fato é particularmente importante porque mostra uma diferença fundamental entre o campo magnético e o elétrico: o primeiro atua apenas sobre cargas elétricas em movimento; o segundo atua sobre cargas elétricas em repouso ou em movimento.

Intensidade do vetor força magnética

Após muitos experimentos e várias medições, os físicos concluíram que a força magnética depende dos seguintes fatores: da intensidade da carga q (quanto maior a intensidade da carga, maior a força sobre ela); do módulo da velocidade $\vec{v}$ (quanto maior for o módulo da velocidade da carga, maior será o valor da força magnética); da intensidade do campo magnético B; do ângulo θ entre $\vec{v}$ e $\vec{B}$, mais especificamente, a intensidade da força magnética depende do seno desse ângulo. Em resumo, temos a seguinte equação:

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\ \theta$$

O quadro a seguir mostra como essa expressão, ainda que de outra maneira, está de acordo com as observações experimentais.

Se a carga está parada em relação a um referencial ($v = 0$), não há força magnética.	Se a carga está em movimento na mesma direção do campo magnético ($\theta = 0°$ ou $180°$), não há força magnética, pois sen $0° =$ sen $180° = 0$.	Quando o ângulo θ for $90°$, a intensidade da força magnética atingirá seu valor máximo, pois sen $90° = 1$.

ROTEIRO

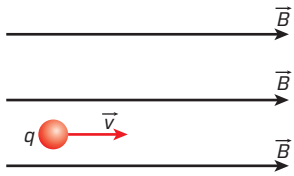
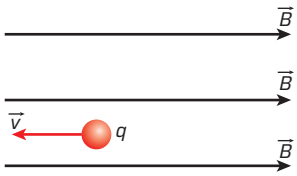
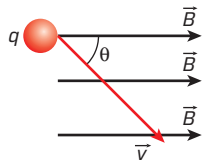
3. Tanto a força elétrica como a força magnética dependem da existência de movimentos para que possam ocorrer?

Apenas a força magnética precisa de movimento para ocorrer.

A força magnética e a direção do movimento da carga elétrica

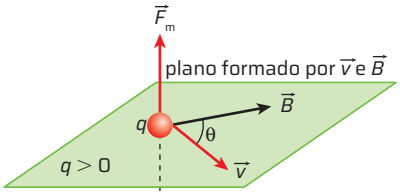
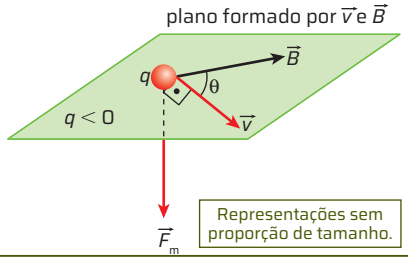
A seguir, apresentamos três situações que envolvem carga elétrica em movimento submetida a um campo magnético.

Representações sem proporção de tamanho.

Situação 1: movimento da carga elétrica na mesma direção e no mesmo sentido das linhas de campo magnético	Situação 2: movimento da carga elétrica na mesma direção das linhas, mas em sentido oposto	Situação 3: movimento da carga elétrica em direção não paralela às linhas de campo magnético
 Experimentos demonstram que, nessa situação, mesmo em movimento, a força magnética é nula. Cores-fantasia.	 Experimentos demonstram que, nessa situação, mesmo em movimento, a força magnética é nula. Cores-fantasia.	 Nessa situação, a força magnética é diferente de zero. Cores-fantasia.

Ilustrações: ID/BR

Pode-se mostrar, também por meio de experimentos, que, quando a força magnética é diferente de zero (situação **3**), ela é sempre perpendicular ao plano formado pela direção da velocidade $\vec{v}$ da carga e do campo magnético $\vec{B}$. As figuras a seguir mostram a direção e o sentido da força magnética para cargas positivas e negativas.

Carga positiva	Carga negativa
	

Ilustrações: ID/BR

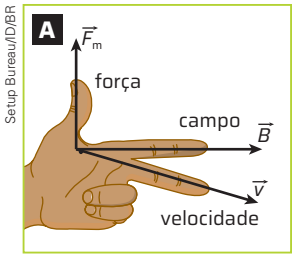
Esquema da diferença de sentido da força magnética para cargas positivas e negativas. Cores-fantasia.

A direção e o sentido da força magnética podem ser obtidos pelas regras apresentadas a seguir.

Determinação da direção e do sentido da força magnética

Usando a mão esquerda, aponta-se o dedo indicador no sentido das linhas de indução magnética e o dedo médio no sentido da velocidade da partícula carregada. O polegar, em posição perpendicular ao plano formado por esses dois dedos, indica a direção e o sentido da força que surge em uma carga positiva, como na imagem **A**. Se a carga elétrica da partícula for negativa, o sentido da força será oposto ao sentido indicado pelo polegar.

Setup Bureau/ID/BR

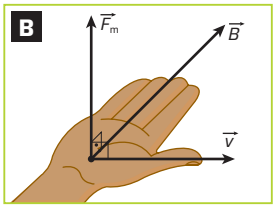


Representação sem proporção de tamanho.

Regra da mão esquerda. Cores-fantasia.

Outra maneira de determinar a orientação da força magnética é usar a regra da mão direita para indicar essa força. Nesse caso, o polegar da mão direita aponta no sentido da velocidade da partícula carregada, e os demais dedos apontam no sentido das linhas de indução magnética. O sentido da força magnética (imagem **B**) que age em uma carga positiva é "saindo" da palma da mão. Se a carga for negativa, o sentido da força será "saindo"do dorso da mão.

Setup/Bureau/ID/BR



Representação sem proporção de tamanho.

Regra da mão direita para indicar a força magnética. Cores-fantasia.

Em algumas figuras e esquemas, quando a direção da corrente elétrica ou do vetor campo magnético é perpendicular ao plano do papel, recorre-se aos seguintes símbolos especiais para representar seu sentido.

Símbolo do vetor "entrando" no papel, como se fosse a rabeira de uma flecha.

Símbolo do vetor "saindo" do papel, como se fosse a ponta de uma flecha.

Não escreva no livro.

FÍSICA E QUÍMICA

Como é possível medir a massa de partículas elementares?

A foto mostra um espectrômetro de massa, aparelho usado, entre outras finalidades, para medir a massa ou separar partículas como átomos e moléculas.

A espectroscopia de massa consiste em uma técnica analítica para a caracterização de moléculas em função da massa e da carga de íons, que podem ser positivos e negativos. Além de medir a massa ou separar partículas como átomos e moléculas, as aplicações dessa técnica permitem a determinação estrutural de moléculas, o estudo e a identificação de proteínas, as análises de misturas, a quantificação de compostos e a verificação da distribuição isotópica.

Para que determinadas amostras sejam analisadas, as moléculas devem estar inicialmente ionizadas. No espectômetro, as partículas carregadas eletricamente são aceleradas por um campo elétrico e levadas para o interior de uma região onde há um campo magnético. Ao entrar nessa região, as partículas descrevem um movimento circular uniforme gerado pela ação da força magnética, como mostra a ilustração.

Nesse caso, é possível medir experimentalmente o raio (r) da trajetória circular e, sabendo que a força resultante centrípeta é a força magnética, determinar a massa (m):

$$F_{centrípeta} = F_{magnética}$$

$$\frac{m \cdot V^2}{r} = |q| \cdot V \cdot B$$

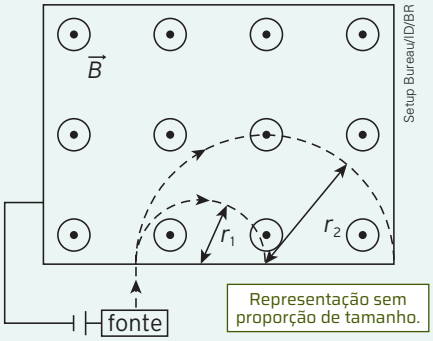
Logo, temos:

$$m = \frac{|q| \cdot B \cdot r}{V}$$

Esse processo permite, por exemplo, separar isótopos que tenham massas ligeiramente diferentes ou até mesmo identificar a composição de uma amostra.

Crown Copyright/Health & Safety Laboratory/SPL/Fotoarena

Sistema de espectroscopia de massa.



Setup Bureau/ID/BR

Movimento de partículas carregadas ao se deslocarem por um campo magnético uniforme. Cores-fantasia.

1. Além de permitir a mensuração da massa de partículas elementares, qual é a importância em se detectar a distribuição isotópica de uma amostra qualquer com o uso do espectrômetro de massa? Discuta com os colegas.

Espera-se que os estudantes respondam que a distribuição isotópica de uma amostra permite obter informações sobre a presença de alguns átomos com padrão isotópico característico, como o Cℓ (cloro) e o Br (bromo).

ATIVIDADE RESOLVIDA

Uma partícula carregada eletricamente com carga de $1 \cdot 10^{-5}$ C penetra em uma região de campo magnético com velocidade de 5 m/s, de forma perpendicular às linhas de campo existentes no local. Considere que sobre ela age uma força magnética de intensidade $2 \cdot 10^{-3}$ N.

a) Determine a intensidade do campo magnético que essa carga atravessa.

b) Determine a direção e o sentido da força magnética que age sobre a partícula.

Resolução

a) Do enunciado da questão, sabemos que a velocidade da partícula é perpendicular ao campo magnético. Logo, temos:

Como $\theta = 90°$, assim:

$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\ \theta$

$2 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot B \cdot \text{sen}\ 90°$

$2 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot B \cdot 1$

$B = 40$ T

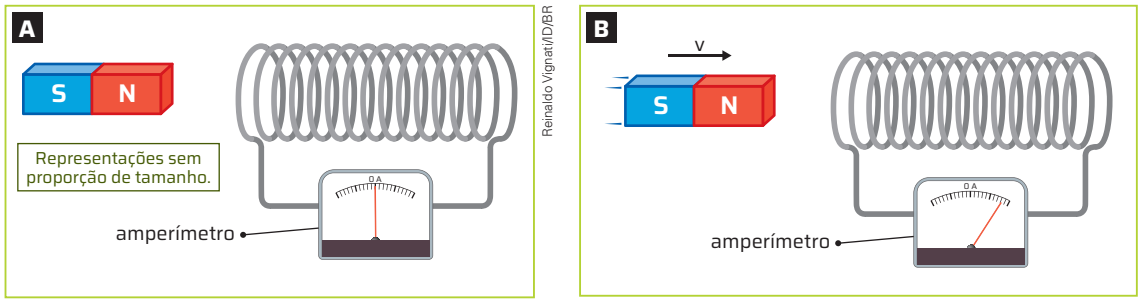
b) Considerando o campo magnético com sentido "entrando" no plano dessa página, e usando a regra da mão esquerda, a força magnética tem direção vertical e sentido para cima.

A DESCOBERTA DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Para que haja corrente elétrica, é necessária a presença de uma bateria ou de um gerador em um circuito. Existe, porém, outra maneira de gerar corrente elétrica: por **indução eletromagnética**.

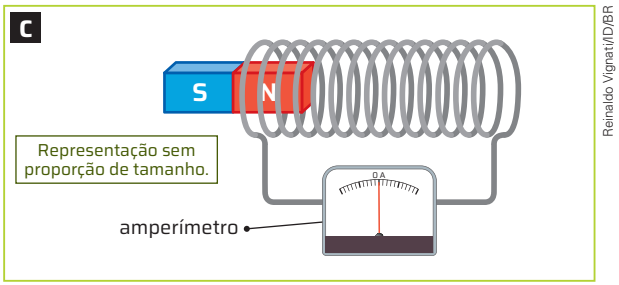
Para entender esse fenômeno, considere uma bobina conectada aos terminais de um amperímetro, como mostra a imagem **A**. Como inexistem geradores nesse circuito, não há corrente elétrica e o amperímetro indica um valor nulo.

Ao aproximarmos um dos polos do ímã da bobina, verifica-se que o ponteiro do amperímetro sofre uma deflexão, indicando a presença de corrente elétrica (imagem **B**).



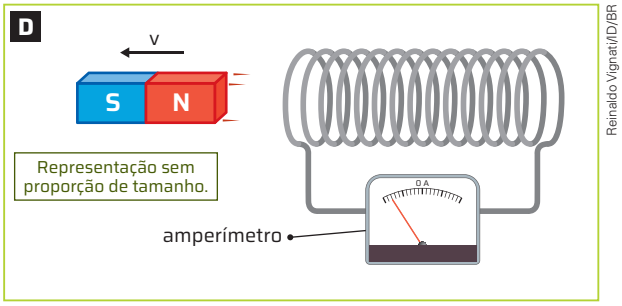
(**A**) Ímã em repouso fora da bobina. (**B**) Ímã em movimento para a direita. Cores-fantasia.

Após a aproximação, se pararmos de movimentar o ímã, o amperímetro indicará um valor nulo, evidenciando que, nesse caso, não existe corrente elétrica no circuito, como mostra a imagem **C**.



Ímã em repouso dentro da bobina. Cores-fantasia.

Agora, se afastarmos o ímã da bobina, o amperímetro sofrerá novamente uma deflexão, porém, dessa vez, para o lado oposto, como ilustra a imagem **D**.



Ímã em movimento para a esquerda. Cores-fantasia.

Nesse último caso, o fato de o ponteiro do amperímetro se deslocar para o lado oposto significa que a corrente na bobina tem sentido contrário ao sentido da corrente, quando o ímã se aproxima.

A corrente elétrica gerada quando movimentamos o ímã da bobina (aproximando ou afastando o ímã) é conhecida como **corrente elétrica induzida** e ocorre pela atuação do campo magnético do ímã na bobina. Temos, então, a indução eletromagnética.

É importante ressaltar que, no fenômeno da indução de corrente, ocorre transformação de energia. No exemplo citado, a energia mecânica do ímã é convertida em energia elétrica.

Não escreva no livro.

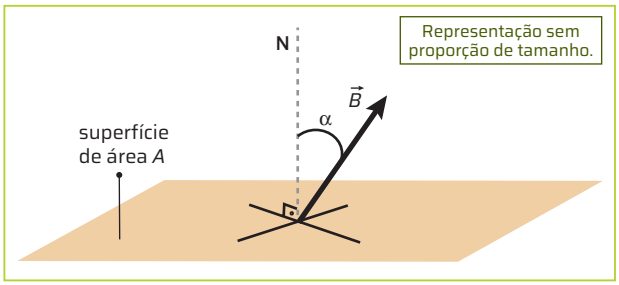
FLUXO MAGNÉTICO

Um estudo quantitativo do fenômeno da indução eletromagnética requer a utilização de uma grandeza física conhecida como **fluxo magnético**.

Considere uma superfície plana de área *A* imersa em uma região em que existe um campo magnético $\vec{B}$, que forma um ângulo α com a reta normal (perpendicular) à superfície (veja imagem ao lado).

O fluxo magnético (ϕ) que atravessa a superfície é assim definido:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$$



ID/BR

O ângulo α é formado pelo vetor campo magnético $\vec{B}$ e pela reta normal à superfície de área *A*.

De acordo com essa expressão, pode-se concluir que o fluxo magnético depende de três fatores:

1. Do módulo do campo magnético (*B*): quanto maior o módulo do campo, maior será o fluxo magnético.
2. Da área da superfície (*A*): quanto maior a área, maior será o fluxo magnético.
3. Do ângulo formado entre o campo magnético e a reta normal à superfície (α):

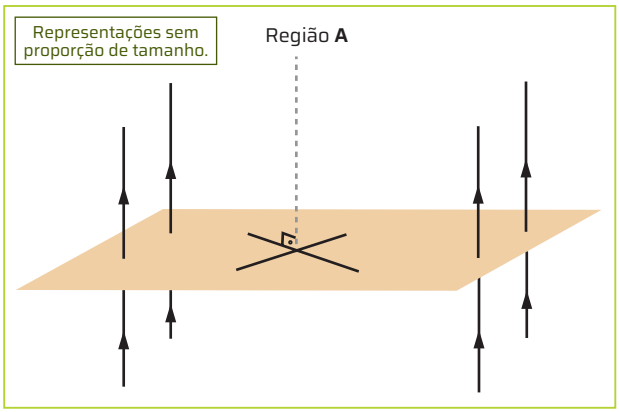
- quando o ângulo formado é de 0º: o cosseno é 1 e o fluxo magnético adquire valor máximo: $\phi = B \cdot A$;
- quando o ângulo entre o campo e a reta normal é de 90º: o cosseno é zero e o fluxo tem seu valor mínimo e é nulo: $\phi = 0$;
- quando o ângulo formado é de 180º: o cosseno é -1 e o fluxo magnético adquire valor máximo em valor absoluto, com sinal negativo: $\phi = -B \cdot A$.

No Sistema Internacional de Unidades, o fluxo magnético ϕ é medido em weber (Wb). Nesse mesmo sistema, a unidade de campo magnético é tesla (T), e a unidade de área é o metro quadrado (m^2); tem-se, portanto:

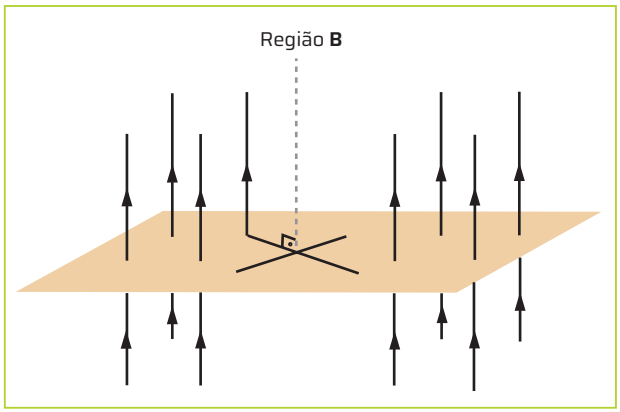
$$[\phi] = T \cdot m^2 = Wb$$

Outra maneira de avaliar o fluxo são as linhas de campo. Considerando que essas linhas formam um ângulo de 0º em relação à reta normal, caso o campo magnético em uma região **B** seja mais intenso, quando comparado com uma região **A**, pode-se representar mais linhas de campo, evidenciando que o fluxo magnético em **B** é maior que em **A**:

$$\phi_B > \phi_A$$



ID/BR



ID/BR

Como a intensidade do campo magnético é maior na região **B**, o fluxo magnético também é maior nessa região.

Lei de Faraday

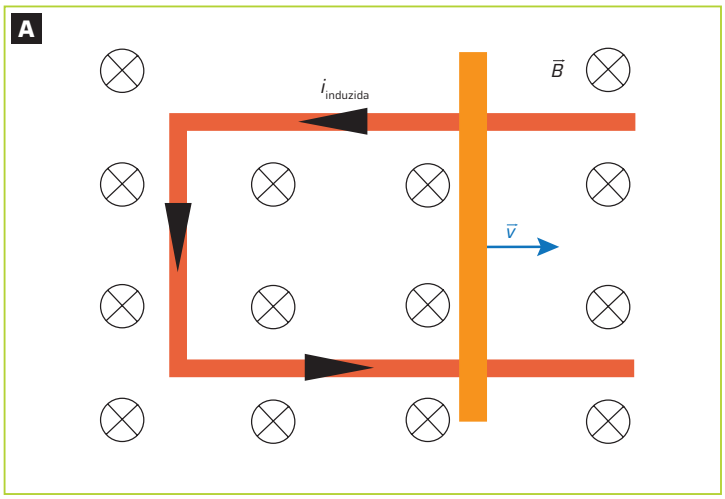
Após diversas experiências, o físico Michael Faraday percebeu que, para que surja a corrente induzida, é necessário que haja uma variação do fluxo magnético em determinado intervalo de tempo.

A corrente induzida ocorre devido à variação do fluxo magnético em um circuito fechado. Por exemplo, quando um ímã se aproxima de uma bobina, o campo magnético criado pelo ímã dentro da bobina se torna mais intenso conforme ocorre a aproximação, ocasionando o aumento do fluxo magnético. Essa variação do fluxo magnético faz surgir a corrente induzida, indicada pelo amperímetro. Caso o ímã fique parado, o fluxo magnético permanece constante e, consequentemente, não há corrente induzida.

Existem ainda outras maneiras de variar o fluxo magnético, além da simples alteração do módulo do campo magnético. Pode-se, por exemplo, alterar a área da superfície que o campo magnético atravessa.

Para entender esse processo, considere uma barra de cobre deslizando com velocidade $\vec{v}$ em um trilho metálico imerso em uma região em que existe um campo magnético $\vec{B}$, de acordo com a imagem **A**.

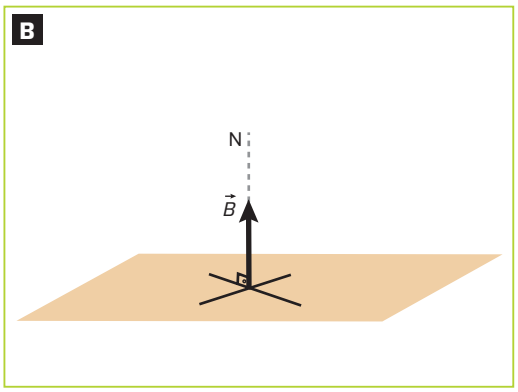
ID/BR



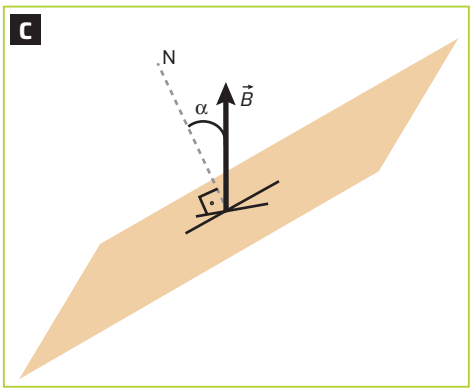
Representação sem proporção de tamanho.

A região delimitada pelos trilhos e pela barra determina uma superfície fechada que aumenta conforme a barra se desloca. Dessa maneira, o fluxo magnético aumentará, ocasionando uma corrente induzida. Cores-fantasia.

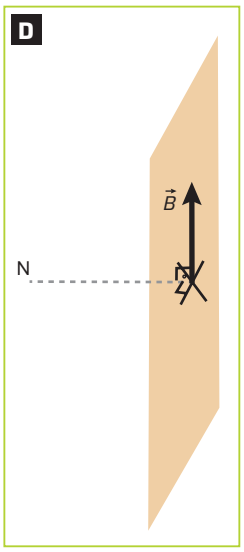
Outra maneira de variar o fluxo magnético é alterar o ângulo formado entre a reta normal à superfície da espira e a direção do campo magnético (imagens **B**, **C** e **D**).



Se uma superfície tiver sua reta normal com mesma direção e mesmo sentido que os do campo magnético, o fluxo será máximo.



Ao se inclinar a superfície, o ângulo α entre a reta normal à superfície e o campo magnético diminui, ocasionando também a diminuição do fluxo.



Caso o ângulo entre a reta normal à superfície e o campo magnético seja 90º, o fluxo será nulo.

Ilustrações: ID/BR

Representações sem proporção de tamanho.

Como apresentado, a variação do fluxo magnético ($\Delta\phi$) em um intervalo de tempo (Δt) ocasiona uma corrente induzida. Para se determinar o valor da força eletromotriz induzida (ε) associada à corrente induzida em um circuito, pode-se utilizar a lei de Faraday:

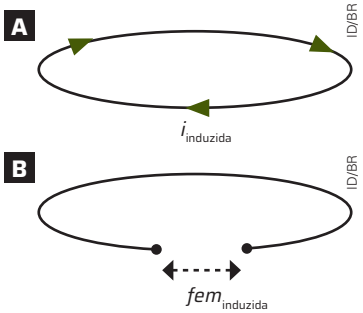
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Não escreva no livro.

Corrente induzida e força eletromotriz (*fem*) induzida

Se a variação do fluxo magnético ocorrer em um circuito fechado, ela causará uma *fem* induzida, que gera uma corrente induzida nesse circuito (imagem **A**).

Se a variação de fluxo ocorrer em um circuito aberto, não existirá corrente, mas proporcionará uma força eletromotriz induzida (imagem **B**).



Lei de Lenz

A lei de Faraday, como vimos, permite calcular o valor da força eletromotriz induzida, mas, para isso, é necessário que se determine o sentido da corrente induzida. Para determinar esse sentido, pode-se aplicar a lei de Lenz, que é definida por:

> A corrente induzida em um circuito é criada de modo a compensar as variações do fluxo magnético que a originou.

Para entender melhor a lei de Lenz, essa compensação pode ser resumida da seguinte maneira:

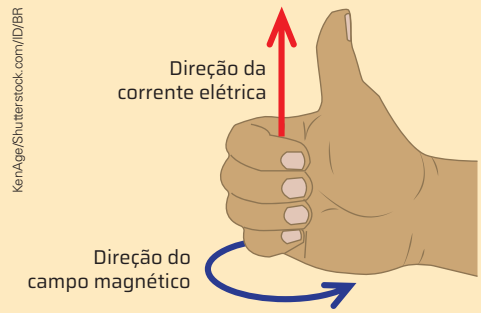
- Quando o fluxo magnético aumenta, a compensação deve ter o objetivo de diminuir o fluxo.
- Quando o fluxo magnético diminui, a compensação deve ter o objetivo de aumentar o fluxo.

DE OLHO NO CONCEITO

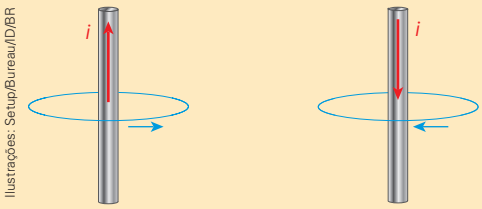
Sentido do campo magnético em um fio condutor

Para definir o sentido das linhas de um campo magnético gerado por uma corrente elétrica, pode-se recorrer à regra da mão direita, que consiste em dobrar a mão direita no sentido de envolver o fio que transporta corrente, de modo que o dedo polegar aponte para o sentido convencional da corrente elétrica. Dessa forma, os demais dedos, no sentido de fechar a mão, apontam para o sentido das linhas de campo magnético.

Representações sem proporção de tamanho.



Representação da regra da mão direita, usada para identificar a direção do campo magnético em um fio que transporta corrente elétrica. Cores-fantasia.



Representação de um fio e o campo magnético gerado por ele quando percorrido por corrente elétrica em dois sentidos diferentes. Cores-fantasia.

ROTEIRO

4. **Um gerador pode criar correntes alternadas quando ocorrem variações do fluxo magnético em um circuito fechado, como em uma espira circular. Para isso, entre outras possibilidades, um ímã deve realizar um movimento oscilatório próximo à espira.**

a) Durante o movimento do ímã, o fluxo magnético dentro da espira é constante ou é variável?

b) Identifique o que gera a variação do fluxo magnético na região interna à espira.

c) Descreva, qualitativamente, de que maneira o campo magnético no interior da espira varia conforme o ímã se movimenta.

4. a) Durante o movimento do ímã, o fluxo magnético no interior da espira é variável, pois, embora a área da espira seja constante, a intensidade do campo magnético produzido pelo ímã varia conforme a distância deste à espira; consequentemente, o fluxo do campo magnético através da espira é variável.
b) A variação do fluxo magnético na região interna à espira é gerada pela movimentação do ímã; essa variação ocorre no número de linhas de campo magnético que atravessa a espira.
c) O campo magnético produzido pelo ímã depende da sua posição, isto é, nos pontos do espaço mais próximos do ímã, o módulo do campo magnético é mais intenso e, nos pontos mais distantes, mais fraco. À medida que o ímã se aproxima da espira, o módulo do campo magnético aumenta e, à medida que ele se afasta da espira, o módulo do campo magnético diminui.

Corrente induzida devido ao aumento do fluxo

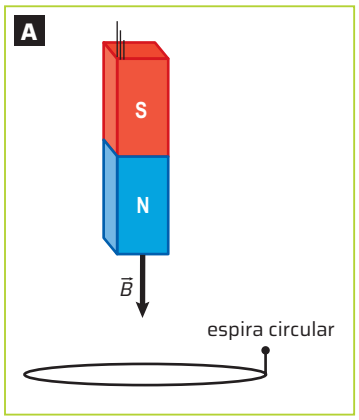
Considere, por exemplo, uma espira próxima a um ímã (imagem **A**). O ímã gera um campo magnético na região interna à espira, que será denominado **campo magnético original** ($B_{original}$).

Caso o ímã se aproxime da espira, o módulo do campo magnético no interior dela aumenta e, consequentemente, o fluxo magnético também aumenta. De acordo com a lei de Lenz, a corrente induzida deve compensar esse aumento, criando um campo induzido que diminua o fluxo magnético.

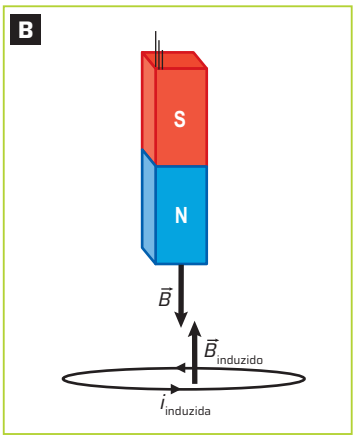
Como o campo magnético original criado pelo ímã tem direção vertical e sentido para baixo, o campo induzido gerado pela corrente induzida deve ter direção vertical e sentido para cima. Usando a regra da mão direita, para que a corrente induzida crie esse campo, ela deverá apresentar sentido anti-horário, de acordo com o esquema da imagem **B**.

Corrente induzida devido à diminuição do fluxo

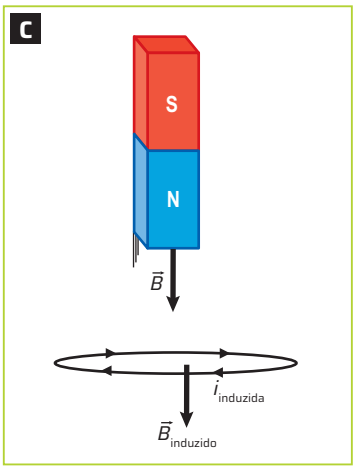
Caso o ímã se afaste da espira, o campo magnético original dentro dela e, consequentemente, o fluxo magnético vão diminuir. De acordo com a lei de Lenz, a corrente induzida deve compensar essa diminuição de fluxo criando um campo induzido na mesma direção e no mesmo sentido que os do campo original (imagem **C**).



Campo magnético aproximando-se da espira circular. Cores-fantasia.



Corrente induzida ($i_{induzida}$) gera um campo induzido ($\vec{B}_{induzido}$) no sentido contrário. Cores-fantasia.



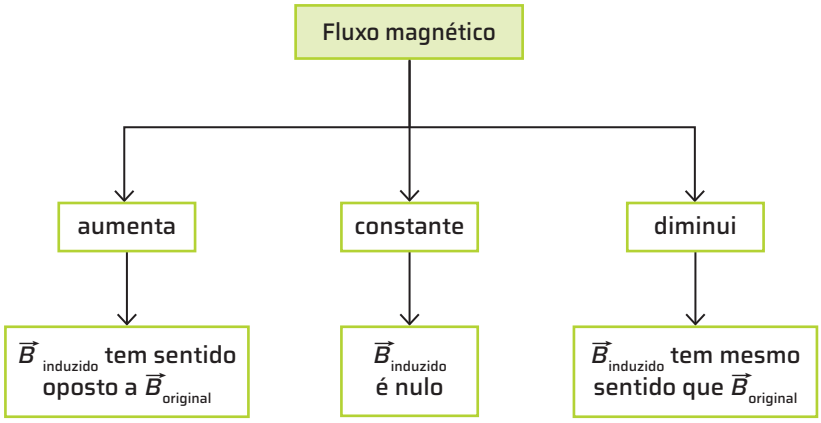
Ao se movimentar no sentido contrário, a corrente induzida ($i_{induzida}$) inverte o sentido, e, consequentemente, o campo induzido ($\vec{B}_{induzido}$) também é invertido. Cores-fantasia.

Ilustrações: ID/BR

Representações sem proporção de tamanho.

Como o campo original criado pelo ímã tem direção vertical e sentido para baixo, o campo induzido gerado pela corrente induzida também deve ter direção vertical e sentido para baixo. Usando a regra da mão direita, para que a corrente induzida crie esse campo, ela deverá apresentar sentido horário.

O esquema a seguir representa o raciocínio resumido da lei de Lenz. Depois de se determinar o campo induzido, a corrente induzida pode ser encontrada utilizando a regra da mão direita.



Não escreva no livro.

2. No caso do tubo de plástico, os dois objetos ficam basicamente sujeitos à aceleração da gravidade, uma vez que, considerando a resistência do ar desprezível para baixas velocidades, a resultante das forças que atuam em cada um dos objetos são seus respectivos pesos.

Freio eletromagnético

A descoberta da indução eletromagnética tornou possível a conversão de diferentes tipos de energia em energia elétrica, e está presente no funcionamento de vários dispositivos, como nos freios eletromagnéticos. De que maneira a indução eletromagnética pode ser aplicada em sistemas de frenagem? Nesta atividade, você e os colegas vão estudar o fenômeno da indução eletromagnética por meio da observação do freio eletromagnético.

3. O corpo que demorou mais para cair foi o ímã, pois, nesse caso, a corrente induzida no tubo de cobre, devido à variação do fluxo magnético em seu interior, ocasionada pelo movimento do ímã, produz um campo magnético que interage com o campo do ímã no sentido de freá-lo.

Material

- um tubo oco de cobre de comprimento 40 cm e diâmetro 2 cm
- um tubo oco de plástico de 40 cm e diâmetro 2 cm
- um objeto com formato esférico que caiba dentro dos dois tubos, como moedas
- um ímã com formato circular que caiba dentro dos tubos com pequena folga

4. O movimento do ímã ao longo do tubo de cobre é predominantemente uniforme. O comprimento do tubo é mais que suficiente para o ímã adquirir uma velocidade que gera uma variação do fluxo magnético no interior do tubo com intensidade tal que o campo produzido pela corrente induzida estabelece uma força magnética de mesma intensidade e de sentido contrário ao peso do ímã.

Como fazer

1. Deixe o objeto circular cair dentro do tubo plástico na direção vertical. Observe sua queda.
2. A partir do repouso, deixe o ímã cair dentro do tubo de plástico na direção vertical. Observe sua queda.
3. Compare, qualitativamente, o tempo de queda dos dois objetos.
4. Deixe o objeto circular cair dentro do tubo de cobre na direção vertical. Observe sua queda.
5. A partir do repouso, deixe o ímã cair dentro do tubo de cobre na direção vertical. Observe sua queda.
6. Compare, qualitativamente, o tempo de queda dos dois objetos.

Depois do experimento

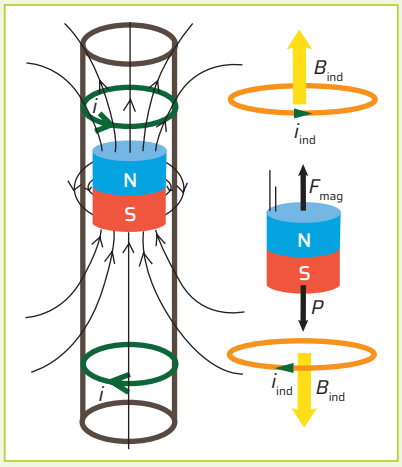
O tubo de cobre é um material dimagnético e, por esse motivo, não é atraído pelo ímã. Porém, quando o ímã é solto a partir do repouso dentro do tubo de cobre, acontece o fenômeno da indução eletromagnética.

Isso ocorre porque, ao se considerar o tubo de cobre como uma sequência de espiras circulares, quando o ímã cai, o fluxo magnético varia. Assim, uma corrente induzida é produzida no tubo, como mostra a imagem.

A corrente induzida gera um campo induzido cujas linhas de campo têm o mesmo sentido que as linhas de campo do ímã e, consequentemente, uma força magnética é aplicada ao ímã em sentido oposto ao da força peso.

Fonte de pesquisa: Magnetismo: experimentos. Ligado na Física! Portal Pion. Sociedade Brasileira de Física (SBF), [20--]. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/materiais-didaticos/166-magnetismo-experimentos. Acesso em: 3 out. 2024.

Representação sem proporção de tamanho.



ID/BR

Representação das correntes e dos campos induzidos. Cores-fantasia.

6. Como o ímã se movimenta para baixo, ele fica cada vez mais distante de cada seção situada acima dele. Assim, durante sua queda, o fluxo magnético vai diminuindo na seção acima dele. Já na seção de baixo, como o ímã fica cada vez mais próximo dela, o fluxo magnético que a atravessa vai aumentando.

Para concluir

1 **O tempo de queda do objeto circular e do ímã dentro do tubo de plástico foi o mesmo?**
Os estudantes devem perceber que os tempos de queda dos dois objetos foram iguais ou muito próximos.

2 **Explique por que ocorreu o que você verificou no item anterior.**

3 **Ao se abandonar o ímã e o objeto circular dentro do tubo de cobre, qual desses corpos demorou mais tempo para cair?**

4 **Considerando o comportamento da velocidade, identifique se o movimento do ímã dentro do tubo de cobre é, predominantemente, uniforme, acelerado ou retardado.**

5 **Explique o que faz um corpo realizar um movimento retilíneo e uniforme.**
O que faz um corpo realizar movimento retilíneo e uniforme é a resultante das forças que atuam no corpo ser nula.

6 **Descreva o que ocorre com o fluxo magnético em uma seção circular do tubo de cobre acima do ímã durante a queda e uma seção circular abaixo dele.**

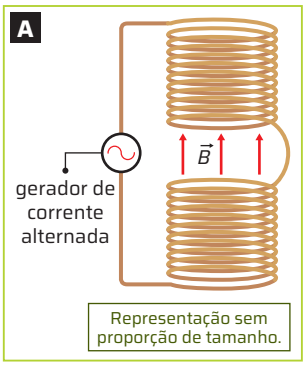
7 **Considerando o item anterior, identifique o sentido do campo e o da corrente induzida nas seções descritas.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **Explique por que a experiência pode ser denominada "freio eletromagnético".**

8. A denominação "freio eletromagnético" refere-se ao fato de surgir, por meio do campo magnético gerado pela corrente elétrica induzida, uma força magnética contrária ao peso do ímã, que faz diminuir sua velocidade de queda pelo tubo de cobre.

AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Atualmente, seria difícil imaginar a sociedade sem as facilidades e comodidades possibilitadas por dispositivos como a televisão, o celular, aparelhos de raios X, entre outros. Todos esses dispositivos funcionam graças às ondas eletromagnéticas, estudadas pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879).



Reinaldo Vignati/ID/BR

Campo magnético em um eletroímã conectado a um gerador de corrente alternada. Cores-fantasia.

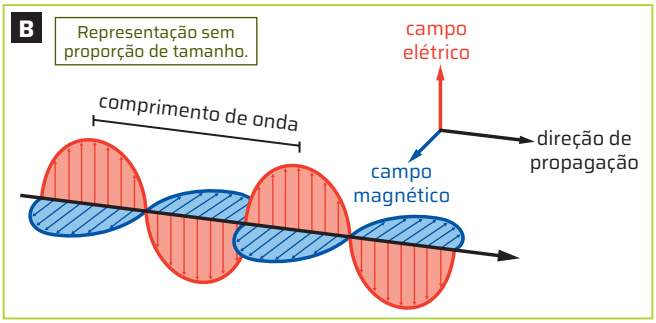
De acordo com Maxwell, um campo magnético variável produz um campo elétrico induzido, e um campo elétrico variável produz um campo magnético induzido. Com base nesse raciocínio, pode-se ter uma ideia de como as ondas eletromagnéticas são geradas.

Considere, por exemplo, um eletroímã conectado a um gerador de corrente alternada, como ilustrado na imagem **A**.

Como a corrente que circula na bobina é alternada, o campo magnético varia em módulo e sentido. De acordo com a lei de Faraday, a variação de um campo magnético ocasiona o surgimento de um campo elétrico induzido.

Esse campo elétrico induzido também é variável e, de acordo com a hipótese de Maxwell, gera um campo magnético induzido. Por sua vez, esse campo magnético induzido também é variável e vai gerar um campo elétrico induzido, e assim sucessivamente. Assim, o campo magnético e o campo elétrico são interdependentes e vão se propagar em todas as direções.

Quando Maxwell aplicou suas equações a essas perturbações, ele percebeu que elas apresentavam um caráter ondulatório, transportavam energia e também sofriam fenômenos como reflexão, refração, difração e interferência. Por esse motivo, essas perturbações foram denominadas **ondas eletromagnéticas**.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Representação de uma onda eletromagnética. Os campos magnético e elétrico são perpendiculares entre si, e ambos são perpendiculares à direção de propagação. Cores-fantasia.

Maxwell demonstrou que todas as ondas eletromagnéticas se propagavam no vácuo com a mesma velocidade – a velocidade de propagação da luz no vácuo –, o que o levou a concluir que a luz também é uma onda eletromagnética.

Os módulos dos campos oscilam em concordância de fase, ou seja, quando o campo elétrico apresenta módulo máximo, o campo magnético também é máximo (imagem **B**).

DE OLHO NO CONCEITO

Geração de ondas eletromagnéticas

É possível obter ondas eletromagnéticas por cargas elétricas aceleradas. Como exemplo, o movimento oscilatório de elétrons – como o que acontece em antenas – é um modo de gerar essas ondas.

Outra maneira de obtê-las é mediante o salto de elétrons entre diferentes camadas orbitais, como ocorre nos aparelhos de raios X.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Telecomunicações

O desenvolvimento das telecomunicações, que nos dias atuais está presente em muitas situações do cotidiano e nos parece tão familiar, só foi possível quando Maxwell demonstrou, a partir das equações do eletromagnetismo, a existência das ondas eletromagnéticas, que foram confirmadas experimentalmente por Hertz, em um momento posterior.

[...]

Os primórdios da tecnologia sem fio foram marcados por luta e confusão, mas também por exemplos gloriosos de realizações científicas. A tecnologia sem fio é brutalmente difícil. O progresso das primeiras teorias de ondas eletromagnéticas até o primeiro sinal telegráfico não aconteceu em uma questão de anos. Demorou décadas. Avançar de enviar pequenos sinais através da água até conectar vastas redes de computadores no ar levou bem mais de um século.

[...]

Estes, A. C. Como começou essa história de transmitir informações sem fio. *UOL Giz_br*, 18 jun. 2028. Disponível em: https://gizmodo.uol.com.br/como-comecou-essa-historia-de-transmitir-informacoes-sem-fio/. Acesso em: 3 out. 2024.

1. Reúna-se com um colega para discutir como o desenvolvimento científico pode transformar a vida das pessoas e como as telecomunicações impactam a vida social.

1. Resposta pessoal. O objetivo dessa questão é levar os estudantes a refletir sobre como a construção do conhecimento científico é essencial para o desenvolvimento social e sobre como esse conhecimento pode impactar a vida das pessoas – no caso das telecomunicações, ampliando as atividades humanas, desde uma simples troca de mensagens pessoais até a realização de tarefas mais complexas.

Não escreva no livro.

O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Antes de Maxwell, o médico e físico britânico Thomas Young (1773-1829), em 1801, realizou experimentos com a luz e percebeu que ela sofria os fenômenos da difração e da interferência, uma forte evidência de que a luz tinha comportamento de onda. Young, porém, não conseguiu especificar qual era o elemento oscilante da luz.

Em 1887, aproximadamente oito anos após a morte de Maxwell, o físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) foi o primeiro a produzir e a detectar ondas eletromagnéticas em laboratório. Para isso, Hertz montou um dispositivo em que cargas aceleradas em um movimento oscilatório geravam ondas eletromagnéticas de frequência da ordem de 10^9 Hz, que ficaram conhecidas como **ondas hertzianas**, hoje conhecidas popularmente como **ondas de rádio**.

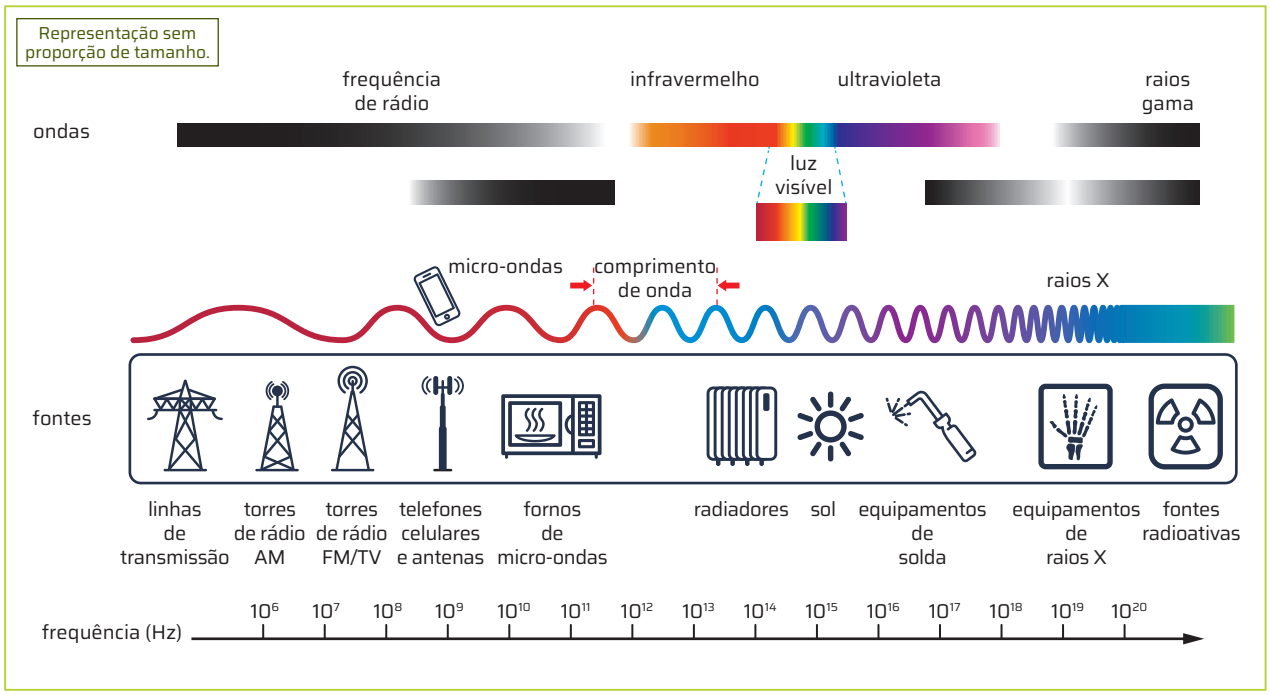
A luz, as ondas de televisão e os raios X são ondas eletromagnéticas e têm algumas características em comum, como o fato de serem formadas por dois campos (um elétrico e um magnético) e poderem se propagar no vácuo. Mas existe uma característica fundamental comum a todas as ondas eletromagnéticas e que as diferencia entre si: a frequência.

A frequência da luz vermelha, por exemplo, é da ordem de 10^{15} Hz, ou seja, o campo elétrico e o magnético realizam um quatrilhão de oscilações por segundo. Já uma onda de televisão tem frequência de 10^8 Hz e seus campos realizam cem milhões de oscilações por segundo.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas de diferentes frequências é conhecido como **espectro eletromagnético**, ilustrado no esquema a seguir.

O espectro é contínuo!

O espectro eletromagnético é constituído de infinitas frequências. Essas frequências foram divididas em alguns grupos, de acordo com sua ordem de grandeza, mas, na maior parte dos casos, não há uma delimitação nítida entre uma faixa e outra.



Reinaldo Vignati/ID/BR

Espectro eletromagnético e suas aplicações. Cores-fantasia.

Quando as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo, a velocidade de propagação é a mesma para todas. Pela equação fundamental da ondulatória ($v = \lambda \cdot f$), quanto maior for a frequência da onda, menor será seu comprimento.

As frequências podem admitir qualquer valor, dependendo de como essas ondas sejam geradas. Porém, no espectro eletromagnético, existem algumas ondas que podem ser separadas por sua ordem de grandeza e se encontram em uma certa faixa de frequência.

As faixas de frequência podem ser: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.

Ondas de rádio

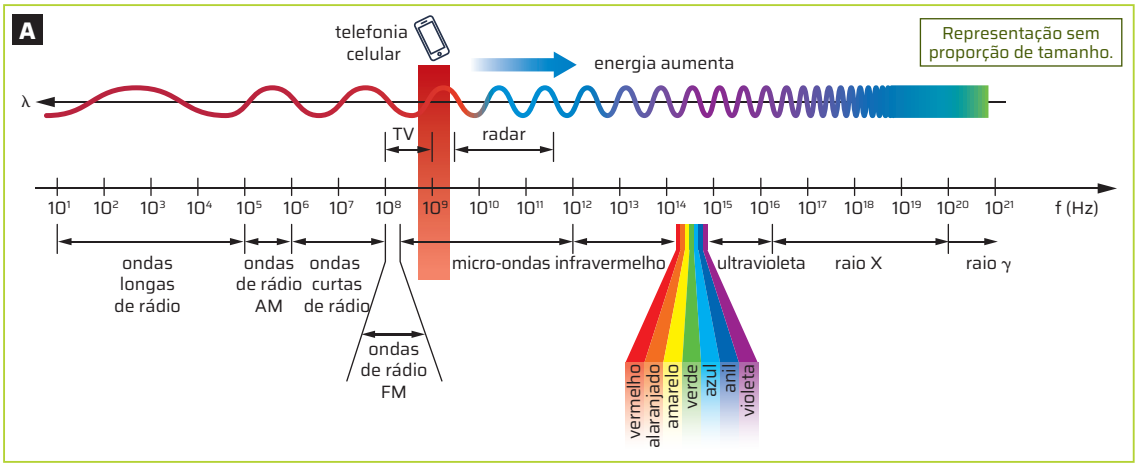
As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas que possibilitam a comunicação a distância, como na geração e na recepção das ondas de uma estação de rádio AM ou FM. Elas são produzidas por elétrons que aceleram e oscilam em uma espécie de fio, acoplado a uma fonte de corrente alternada. Esse fio é denominado **antena emissora**. A oscilação dos elétrons na antena gera campos elétricos e magnéticos interdependentes, e assim é criada uma onda eletromagnética.

Depois de serem geradas, as ondas eletromagnéticas atingem outra antena, denominada **antena receptora**. Nesse caso, as ondas eletromagnéticas produzem uma força eletromotriz induzida, que ocasiona a oscilação dos elétrons livres da antena e do circuito elétrico do dispositivo que utiliza as ondas de rádio.

Existem diversas outras situações em que se utilizam ondas de rádio, como em aparelhos de controle remoto, de televisão VHF e de televisão UHF, nos satélites meteorológicos, telefones sem fio, rádios de navegação aeronáutica, microfones sem fio, rádios de ondas curtas e telefones celulares.

Telefonia celular móvel

Quando comparados aos telefones fixos, os telefones móveis (conhecidos como telefones celulares) têm a vantagem de permitir a comunicação a distância com qualquer telefone fixo ou móvel sem a dependência de fios e cabos. A faixa de frequência utilizada na telefonia celular se estende de 850 MHz até 2 100 MHz, como destacado no esquema da imagem **A**.



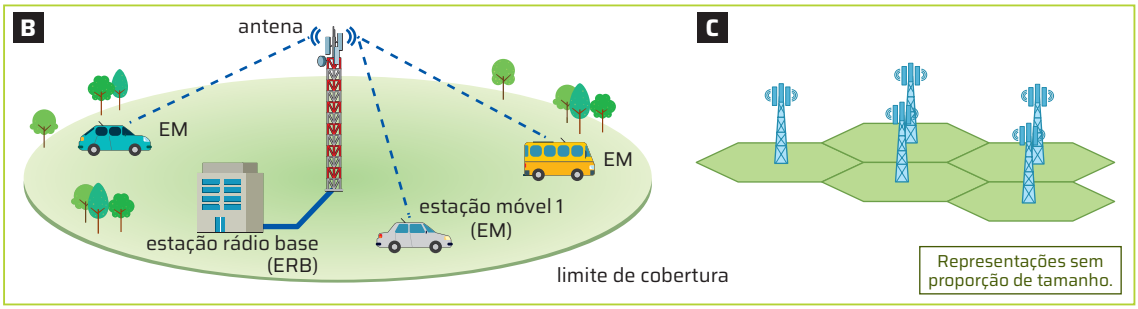
Reinaldo Vignati/ID/BR

As frequências utilizadas pelas ondas eletromagnéticas em várias aplicações, com destaque para a telefonia celular. Cores-fantasia.

Fontes de pesquisa: Kotz, J. C.; Treichel, P. M. *Chemistry and chemical reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage Learning, 2019. p. 278.

Diferentemente de um aparelho de rádio convencional, que apenas recebe as ondas eletromagnéticas, os aparelhos celulares também enviam informação para as antenas transmissoras das operadoras de telefonia (imagem **B**). Cada uma dessas antenas apresenta determinado raio de atuação, e a área na superfície da Terra onde incidem as ondas emitidas é conhecida como **célula**. Ao se deslocar entre dois pontos em uma cidade, por exemplo, o aparelho celular constantemente troca de antena com a qual se comunica, possibilitando a comunicação, independentemente de onde o usuário estiver. A superposição das diversas células das antenas de operadoras de telefone celular é a **área de cobertura** (imagem **C**).

Atualmente, as ondas eletromagnéticas emitidas e recebidas por aparelhos celulares também trocam informações da internet, conhecidas como **pacote de dados**. Essa comunicação compõe um pilar importante da Tecnologia da Informação, como apresentado a seguir.



Reinaldo Vignati/ID/BR

(**B**) O usuário é conectado com uma antena cuja área de abrangência é conhecida como célula. (**C**) O conjunto de várias células é a chamada área de cobertura. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Cruz, S. C. da. *Verificação dos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a percepção das comunidades próximas*. 2005. Disssertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8044/8044_3.PDF. Acesso em: 11 out. 2024.

Não escreva no livro.

COMPUTADORES E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (TI)

Inicialmente, os computadores eram máquinas enormes e projetadas para agilizar algumas tarefas lógicas em instituições de pesquisa de ensino e em órgãos governamentais. Com o passar do tempo, essas máquinas tornaram-se cada vez mais compactas e capazes de processar volumes maiores de informação, e assim surgiram os servidores, PCs, *laptops*, *smartphones* e outros dispositivos eletrônicos utilizados nas mais diversas atividades.

O desenvolvimento tecnológico dos computadores permitiu uma melhor organização da troca de dados e informações, dando origem à área de atuação hoje conhecida como **Tecnologia da Informação (TI)**.

A TI pode ser compreendida como o conjunto de todas as atividades e soluções oriundas de recursos computacionais, com o propósito de obter, armazenar, processar, gerenciar, utilizar e proteger as informações digitais. A execução desses processos exige a participação de dois elementos essenciais:

- ***Hardware*:** constituído dos elementos físicos que compõem uma rede de TI, como *laptops*, servidores, *tablets*, *smartphones*, equipamentos de rede, roteadores de internet, impressoras e leitores de códigos de barra.
- ***Software*:** programas que executam a parte lógica das operações, como os sistemas operacionais, aplicativos (*app*), protocolos de comunicação, antivírus e certificados digitais.

Rede

O conjunto de todos os elementos integrados que trocam e processam informações é conhecido como **rede de TI**. A comunicação entre esses dispositivos é feita pela propagação de ondas eletromagnéticas, que pode ocorrer de duas maneiras:

- **Com a utilização de cabos:** as ondas eletromagnéticas se propagam por cabos de cobre ou por fibras ópticas, como nos serviços de internet a cabo oferecidos por operadoras, e pela conexão direta de um cabo de um computador a um *modem* de internet.
- **Sem a utilização de cabos (*wireless* ou *wi-fi*):** as ondas eletromagnéticas se propagam pelo ar, como no acesso a roteadores de internet e na utilização da internet em aparelhos celulares.

Algumas dessas redes são de uso exclusivo de órgãos ou de empresas e são conhecidas como **intranet**. A **internet**, por outro lado, é uma rede que permite a comunicação entre pessoas, instituições, empresas e associações dos mais diversos tipos em todo o mundo.

Internet

A **internet** é uma rede mundial de computadores que permite a troca de informações em qualquer lugar do planeta. Isso é possível porque esses dispositivos se comunicam com uma linguagem computacional em comum, conhecida como **protocolo de internet**, sendo o TCP/IP (sigla para *transmission control protocol/internet protocol* – ou protocolo-controle de transmissão/protocolo de internet) o mais utilizado. Ao se conectar à internet com um computador, um *tablet* ou um *smartphone*, o usuário pode acessar um vasto universo de informações, de quase todos os lugares e de todas as culturas.

Atualmente, acredita-se que o advento da internet não só propiciou grande avanço tecnológico, pela troca de informações de pesquisa e pela comunicação entre os cientistas, mas também aproximou as pessoas e proporcionou celeridade na propagação de dados e notícias.

A internet permitiu uma comunicação mais ágil entre as diversas partes do planeta, favorecendo o encontro de pessoas, o compartilhamento de músicas, fotos e vídeos, pesquisas acadêmicas e trocas comerciais entre diferentes países. Cores-fantasia.

PARA EXPLORAR

Leia

***Ondas e* bits, de Mauro M. Doria e Francioli Marinho. São Paulo: Livraria da Física, 2006 (Coleção Temas Atuais de Física).**

A obra instiga uma leitura reflexiva sobre os princípios da Física necessários para o entendimento do mundo da comunicação digital, abordando desde o surgimento do telégrafo no século XIX, o eletromagnetismo, que permitiu o envio de sinais a grandes distâncias, até o advento da internet, que revolucionou o modo como enviamos e recebemos imagens e sons, ao utilizar números binários.

5. a) Os serviços de geolocalização combinam sinais de GPS, redes *wi-fi* e dados de torres de celular para determinar a posição de um dispositivo. Esses dados são processados e enviados aos aplicativos.

ROTEIRO

5. Pesquise como computadores, a internet e o processamento de dados são utilizados em:

a) Serviços de geolocalização para identificar a localização de dispositivos móveis.

b) Serviços de geoprocessamento para monitorar mudanças ambientais, como desmatamento e urbanização.

5. b) O serviço de geoprocessamento utiliza imagens de satélite e dados de sensores remotos, processados em computadores e cruzados com informações geográficas, para monitorar mudanças ambientais.

Representação sem proporção de tamanho.

Davi Augusto Studio/ID/BR

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

NA MEMÓRIA: RELEMBRE A EVOLUÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE ARMAZENAMENTO

HDs, SSDs, *pen drives* e disquetes. Desde o início da era digital[,] as pessoas sempre se preocuparam em arrumar formas de guardar dados e informações importantes. Com o avanço da tecnologia, a forma como os arquivos digitais são armazenados mudou, com dispositivos com capacidades cada vez maiores e em tamanhos com enorme portabilidade. [...]

O primeiro HD

Em 1956 [...] [foi criado] o primeiro computador com sistema de armazenamento em disco, ou seja, o HD (ou Disco Rígido) e o modelo chegou ao mercado em setembro do ano seguinte, 1957. Chamado de RAMAC 305 (sigla para Método de Acesso Aleatório de Contabilidade e Controle, na tradução para o português), o dispositivo tinha capacidade para armazenar até cinco *megabytes*, o que era incrível para a época. Ele era formado por 50 discos magnéticos, contendo 50 mil setores, e tinha dimensões de 1,52 m × 1,72 m × 73 cm.

TV-Yesterday/Interfoto/Fotoarena

RAMAC 305, o primeiro computador com disco rígido.

Fita cassete

As fitas cassete, fitas magnéticas para gravação e armazenamento de áudio, foram oficialmente lançadas em 1963 [...], e revolucionaram os padrões de captura de áudio. Ela[s] era[m] constituída[s] basicamente por dois lados, com fita magnética e todo o mecanismo alojados numa caixa plástica, que ajudava no manuseio e [na] utilização do dispositivo. Ainda, uma de suas maiores vantagens era poder iniciar a reprodução de qualquer ponto, sem precisar rebobinar.

Igor Kyrlytsya/Shutterstock.com/ID/BR

As fitas cassete surgiram em 1963.

Disquete

Os extintos disquetes tiveram seus primeiros modelos lançados no final da década de 1960, mas só chegaram ao mercado e foram disponibilizados para o consumidor final em 1971. As primeiras versões tinham oito polegadas e apenas 80 Kb de armazenamento disponível. Depois, surgiu o modelo de 5,25 polegadas e, em meados dos anos 1990, se popularizou o formato de 3,5 polegadas e capacidade de armazenamento de até 1,44 Mb. [...]

Levent Konuk/Shutterstock.com/ID/BR

Disquetes foram muito usados até a década de 1990.

Não escreva no livro.

CD-ROM

O CD-ROM (sigla para Disco Compacto – Memória Somente de Leitura, em tradução para o português) surgiu em 1985 [...]. Eles [...] eram finos e feitos de policarbonato, usados para gravar principalmente dados e músicas, algo que até então nenhum dispositivo fazia com sucesso. Depois, surgiram o CD-R e CD-RW, que [...] permitiam regravações.

DVD

Depois dos CDs, surgiram também os DVDs (sigla para Disco Digital Versátil, em tradução para o português). Os discos [...] eram um formato digital criado para armazenar arquivos diversos, como sonoros e imagéticos, e [...] possuíam capacidade de armazenamento maior do que a dos CDs, devido a uma tecnologia óptica superior. Eles foram anunciados em 1995, terminaram de ser produzidos no fim de 1996 e foram lançados no ano seguinte, chegando primeiro ao Japão.

[...]

Pen drive

O *pen drive* surgiu no ano 2000 com o objetivo de fazer *backup* (uma armazenamento de segurança) e registrar dados para substituir os disquetes e, posteriormente, os CDs, devido a sua maior portabilidade. Além disso, também são mais rápidos e contam com maior capacidade de armazenamento, o que fez com que caíssem no gosto popular. Hoje em dia, existem os mais diversos tipos, modelos e capacidades. [...]

SSD

Uma das últimas tecnologias de armazenamento que têm revolucionado a forma de guardar dados digitais é o SSD (sigla para Unidade de Estado Sólido, em tradução para o português). Ele é um dispositivo para armazenamento de dados digitais, e há quem diga que irão substituir os HDs modernos. A tecnologia tem se tornado cada vez mais popular, apesar de ainda ser cara. Apesar de parecer novidade, o primeiro registro [dessa] tecnologia é de um computador de 1989.

Fotografias: CD: TV-Yesterday/Interfoto/Fotoarena; DVD: Magic26/Shutterstock.com/ID/BR; *blu-ray*: Ifong/Shutterstock.com/ID/BR

(**A**) CD; (**B**) DVD; (**C**) *blu-ray*.

Tommaso79/Shutterstock.com/ID/BR

Pen drive.

Stockphoto-graf/Shutterstock.com/ID/BR

O SSD T1 tem capacidade de 1 TB.

NA MEMÓRIA: relembre a evolução dos dispositivos de armazenamento. *TechTudo*, 9 maio 2015. Disponível em: https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2015/05/na-memoria-relembre-a-evolucao-dos-dispositivos-de-armazenamento.html. Acesso em: 30 jul. 2024.

Para discutir

1. É interessante notar como, ao longo da história, os aparelhos providos de memória se tornaram cada mais eficientes, devido à alta capacidade de armazenar dados em dispositivos que ocupam cada vez menos espaço.

1 Com os colegas, identifique a capacidade de memória de alguns dispositivos eletrônicos, como *smartphones* e computadores pessoais.

2 Em sua opinião, por que a capacidade de memória de dispositivos eletrônicos vem aumentando com o passar do tempo?

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes percebam como os avanços da tecnologia permitem aprimorar e ampliar as ferramentas e os instrumentos que utilizamos no dia a dia. Essa evolução tecnológica ocorreu de modo acelerado nos séculos passados e continua em ritmo acelerado atualmente, sobretudo a partir do advento da computação.

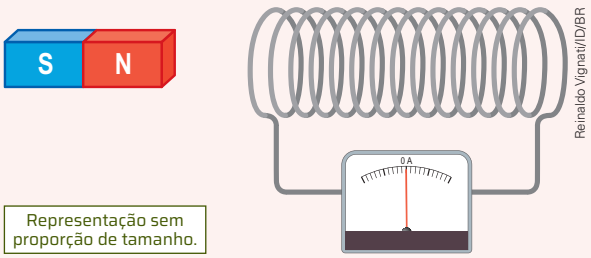
3 Além dos dispositivos citados no texto, atualmente é muito comum a utilização de "nuvens" de armazenamento de dados. Pesquise com os colegas o que isso significa e procurem identificar em que tipo de dispositivo físico os dados de uma nuvem são armazenados.

3. As nuvens de armazenamento são muito utilizadas atualmente, em *e-mails*, redes sociais e aplicativos de celular, por exemplo. É importante ressaltar que, apesar de esse tipo de armazenamento ser chamado "nuvem", são necessários dispositivos físicos (servidores) para armazenar os dados. O termo "nuvem" refere-se ao fato de que o acesso a esses dados é feito pela internet.

3. Nesse caso, ocorre inversão no sentido da força, mantendo-se a mesma direção e a mesma intensidade. Veja complemento da resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 Uma bobina está ligada aos terminais de um amperímetro analógico (de ponteiro). Nessa situação, um ímã está próximo à bobina, como indicado na figura (em cores-fantasia).



a) Descreva o que ocorre com a indicação do amperímetro quando o ímã está próximo da bobina e é movimentado em direção a ela. Identifique o fenômeno que ocasiona esse efeito.

b) Descreva o que ocorre com a indicação do amperímetro quando o ímã é afastado da bobina. Justifique sua resposta.

c) Caso o ímã pare muito próximo da bobina, qual será a indicação do amperímetro?

d) Imagine que o amperímetro seja substituído por uma lâmpada de baixa potência. Identifique o fenômeno que ocorre com a lâmpada ao se aproximar o ímã.

e) Considerando o item **d**, identifique as transformações de energia que ocorrem nesse caso.

Resolução

a) Ao se aproximar o ímã da bobina, surge uma corrente induzida devido ao fenômeno da indução eletromagnética e, consequentemente, o amperímetro indicará um determinado valor de corrente.

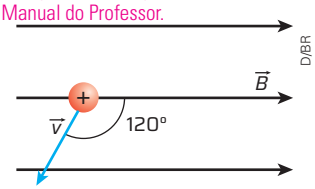
b) Ao se afastar o ímã da bobina, também surge uma corrente induzida, porém o amperímetro indicará uma corrente em sentido oposto quando comparado à situação em que o ímã se aproxima da bobina.

c) Quando o ímã fica parado, não surge corrente induzida e a indicação do amperímetro é zero.

d) Durante a aproximação do ímã, surge uma corrente induzida, e, por isso, a lâmpada brilhará.

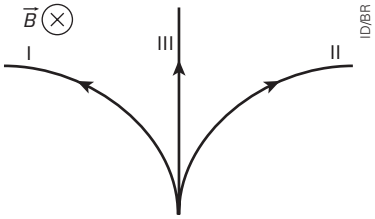
e) Como o ímã está em movimento, ele tem energia cinética. Pelo fenômeno da indução eletromagnética, uma parcela da energia do ímã será convertida em energia elétrica. Como a lâmpada está presente no circuito, essa energia elétrica será convertida em energia térmica e energia luminosa.

2 Uma partícula carregada com carga elétrica $q = 1\ \mu C$ viaja com velocidade igual a $3 \cdot 10^4$ m/s e entra em uma região de campo magnético uniforme, de intensidade $B = 2 \cdot 10^{-3}$ T. O ângulo entre a direção da velocidade e a das linhas de indução magnética é 120°. Caracterize a força magnética exercida na partícula. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

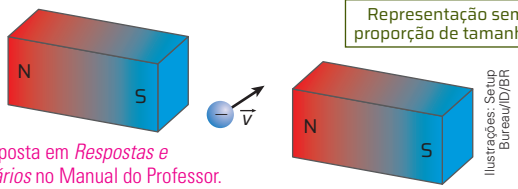


3 Caracterize a força magnética da situação expressa na atividade **2**, considerando os mesmos dados, com exceção do sinal da partícula, agora carregada negativamente.

4 Veja a figura a seguir. Nela, I, II e III são trajetórias descritas por partículas que penetram em uma região de campo magnético uniforme, perpendicular ao plano do papel e entrando nele. Apresente uma justificativa para os desvios nas trajetórias I e II, enquanto a partícula que descreve a trajetória III segue em movimento retilíneo.

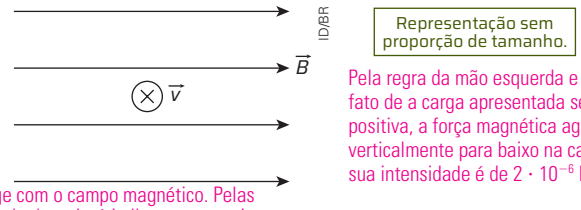


5 Na figura (em cores-fantasia), estão representados os polos de dois ímãs permanentes, próximos um do outro. Descreva o desvio que ocorrerá na trajetória de uma partícula carregada negativamente, ao penetrar na região entre esses dois polos com a velocidade $\vec{v}$ indicada na figura.



Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

6 A figura a seguir representa as linhas de indução magnética de um campo uniforme, de intensidade $B = 5 \cdot 10^{-3}$ T. Obtenha as características da força magnética que agirá em uma carga $q = 2$ nC ao penetrar nessa região com uma velocidade $v = 2 \cdot 10^5$ m/s, com o sentido indicado na figura.



Pela regra da mão esquerda e pelo fato de a carga apresentada ser positiva, a força magnética age verticalmente para baixo na carga e sua intensidade é de $2 \cdot 10^{-6}$ N.

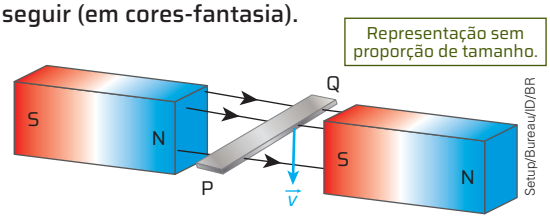
4. As partículas cujas trajetórias são representadas por I e II estão eletrizadas com cargas de sinais opostos, enquanto, na trajetória III, a partícula é neutra eletricamente, daí, somente esta não interage com o campo magnético. Pelas trajetórias, conclui-se que a partícula da trajetória I tem carga positiva, e a partícula da trajetória II, carga negativa. Sugira que os estudantes façam uma pesquisa sobre espectrômetro de massa e sua importância para a Física.

Não escreva no livro.

11. a) As faixas de frequência utilizadas por um aparelho de telefone celular são diferentes das utilizadas por um rádio convencional.

8. Quando a lanterna é agitada, o ímã passa repetidamente através da bobina, induzindo nela uma corrente que carrega a bateria. Esse tipo de dispositivo é chamado dínamo e tem a função de transformar energia mecânica em energia elétrica.

7 **Uma barra de ferro cai em queda livre até passar por uma região entre dois ímãs, de acordo com a figura a seguir (em cores-fantasia).**



A barra tem suas extremidades marcadas com as letras *P* e *Q*, e o eixo que liga essas duas extremidades apresenta direção ortogonal às linhas de campo e paralela à direção horizontal.

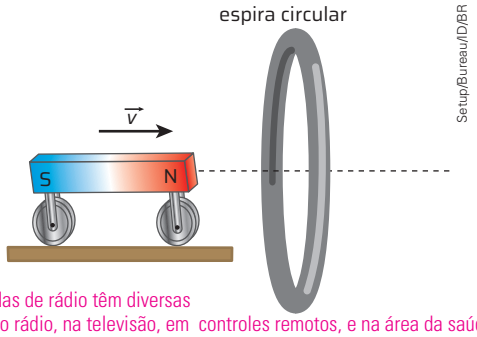
a) Caracterize a direção e o sentido da força magnética que atua nos elétrons livres da barra ao passar entre os ímãs.

b) Identifique o sinal das cargas que ficam concentradas nas regiões *P* e *Q*.

c) Represente a força eletromotriz induzida que surge na barra, utilizando o símbolo de um gerador ideal. **7. a), b)** e **c)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **Atualmente, é comum o uso de lanternas dotadas de um sistema de recarregamento. Em vez de pilhas convencionais, essas lanternas têm em seu interior um ímã e uma bobina. Agitando a lanterna continuamente, de modo que o ímã percorra a bobina de um lado para outro no interior da lanterna, sua bateria é recarregada. Explique como isso ocorre, levando em conta o conceito de corrente elétrica induzida.**

9 **Um ímã sobre rodas se aproxima de uma espira condutora circular, como mostra esta figura (em cores-fantasia).**



12. c) As ondas de rádio têm diversas aplicações: no rádio, na televisão, em controles remotos, e na área da saúde (em aparelhos de ressonância magnética, por exemplo).

No instante $t_0 = 0$, o campo magnético no centro da espira, devido ao ímã, tem módulo $B_0 = 0{,}2$ T. No instante $t = 0{,}2$ s, o ímã está em uma posição mais próxima da espira, e o campo magnético no seu centro tem módulo $B = 0{,}4$ T. A área da espira é 0,5 m², e o fio da espira tem resistência elétrica de 4 Ω. **9. a)** Em t_0, temos: $\phi_0 = 0{,}1$ Wb. Em t, temos: $\phi = 0{,}2$ Wb.

a) Calcule o fluxo magnético nos instantes t e t_0.

b) Calcule a variação do fluxo magnético entre os instantes t e t_0. $\Delta\phi = 0{,}1$ Wb

c) Determine a *fem* (força eletromotriz) induzida. $\varepsilon = 0{,}5$ V

d) Determine a corrente induzida. $i = 0{,}125$ A

e) Calcule a potência dissipada na espira em decorrência do efeito Joule. $P = 0{,}0625$ W

10 **Um aparelho de radar de um aeroporto emite micro-ondas de frequência 3 GHz e, em certo instante, detecta a presença de um avião a determinada distância. Nesse instante, sabe-se que o intervalo de tempo entre a emissão e a detecção das ondas emitidas é de 40 μs. Considere a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar como $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.**

a) Descreva o princípio de funcionamento de um radar. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Calcule o comprimento da micro-onda emitida pelo radar. $\lambda = 0{,}1$ m

c) Calcule a distância entre o avião e o aeroporto na situação descrita. $d = 6\,000$ m ou $d = 6$ km

d) Considerando-se que, após 4,5 segundos, uma nova micro-onda seja emitida pelo radar e o intervalo de tempo entre a emissão e a detecção das ondas seja 34 μs, determine a nova posição do avião. $d = 5\,100$ m ou $d = 5{,}1$ km

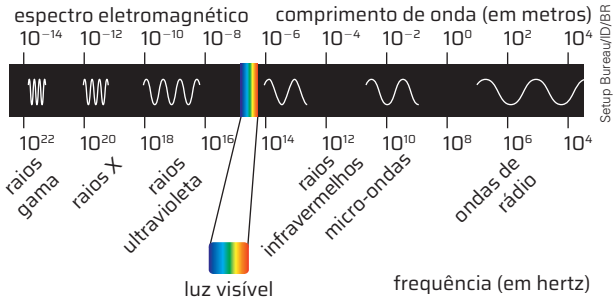
e) Calcule a velocidade média, em km/h, do avião entre o instante de detecção da primeira e da segunda micro-onda. $v = 720$ km/h

11 **A respeito dos telefones móveis e dos aparelhos de rádio, faça o que se pede.**

a) Identifique uma diferença entre um aparelho de telefone celular e um rádio convencional.

b) Explique por que, dependendo do local onde se está, um telefone celular fica sem "sinal".

12 **A imagem a seguir representa o espectro de algumas ondas eletromagnéticas, com os respectivos comprimentos de onda.**



a) Identifique as ondas que têm a maior e a menor frequência. Raios gama e ondas de rádio, respectivamente.

b) Identifique as ondas que têm o maior e o menor comprimento de onda. Ondas de rádio e raios gama, respectivamente.

c) Cite algumas aplicações das ondas de rádio.

11. b) As operadoras de telefonia celular utilizam antenas transmissoras espalhadas em uma área de cobertura. Se a pessoa estiver nessa área, seu telefone terá sinal; se estiver fora dessa região, ficará sem sinal.

Não escreva no livro.

ESTUDO DE CASO

QUAL LÂMPADA VOCÊ ESCOLHERIA PARA SUA CASA?

1. Nas lâmpadas fluorescentes, uma corrente elétrica passa entre dois eletrodos em uma mistura de gases, excitando elétrons, que emitem luz. Essa luz é gerada como radiação ultravioleta, que é convertida em luz visível pela substância que reveste o tubo da lâmpada. Já as lâmpadas LED são compostas de um diodo semicondutor emissor de luz, componente eletrônico que permite a passagem de corrente elétrica; ao fazer isso, o diodo emite luz.

2. Potência, fluxo luminoso e eficiência energética. Potência é a quantidade de energia que uma lâmpada consome por unidade de tempo e é medida em watt (W), que equivale a Joule/segundo (J/s). Fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma lâmpada que atravessa determinada área e é medido em lúmen (lm). A eficiência luminosa refere-se à quantidade de luz emitida pela lâmpada por energia consumida (lm/W). É, portanto, uma medida da eficiência energética da lâmpada, ou seja, indica o rendimento da lâmpada ao converter em luminosidade a energia elétrica consumida.

Como engenheiro elétrico que estuda novas tecnologias de iluminação, as pessoas sempre me perguntam qual tipo de lâmpada elas devem usar em suas residências, comércios e indústrias. Com razão, elas se preocupam com os gastos que terão com a compra de determinado tipo de lâmpada e com a conta de energia elétrica ao final do mês.

Antes de nos aprofundarmos mais nesse assunto, vale lembrar um pouco da história das lâmpadas. A primeira lâmpada incandescente foi criada em 1835 pelo inventor escocês James Bowman Lindsay (1799-1862), mas foi aprimorada pelo inventor estadunidense Thomas Edison (1847-1931) e produzida em escala comercial a partir de 1879. De lá para cá, em ordem cronológica, vários tipos de lâmpada foram desenvolvidos, como as lâmpadas halógenas, as de neon, as fluorescentes e as de LED (do inglês *light emitter diode* – diodo emissor de luz). Essas últimas, de tecnologia mais recente, inicialmente eram usadas somente como indicadores em aparelhos eletrônicos, mas hoje já são capazes de emitir mais luz, na cor branca, em forma de lâmpada.

Hoje, as principais lâmpadas usadas para a iluminação de ambientes são a fluorescente e a de LED. Mas, dentre elas, alguma seria mais eficiente do ponto de vista energético? E qual dessas lâmpadas seria mais vantajosa considerando os custos de compra comparados à economia de energia?

Vaaka/Shutterstock.com/ID/BR

Somchai Som/Shutterstock.com/ID/BR

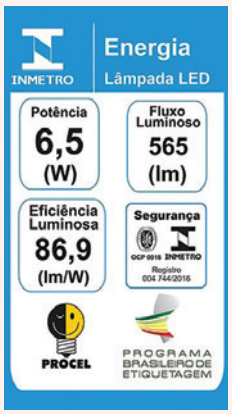
Da esquerda para a direita, lâmpadas fluorescente compacta e de LED.

Reúna-se em grupo com os colegas para resolver as atividades a seguir.

1 **Façam uma pesquisa e descrevam os diferentes processos que permitem que as lâmpadas fluorescentes e as de LEDs emitam luz.**

Lâmpadas certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) apresentam um selo em sua embalagem semelhante ao da imagem **A**, do qual constam informações importantes sobre elas.

A



Inmetro/ID/BR

Selo do Inmetro em embalagem de lâmpada de LED.

2 **Identifiquem quais são as informações constantes do selo do Inmetro e, com base no que vocês já aprenderam sobre eletricidade, expliquem o que cada uma delas significa. Façam uma pesquisa, caso seja necessária.**

É obrigatório constar, nas embalagens das lâmpadas de LED, um comparativo de equivalência com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, como na imagem **B**. A tabela a seguir também mostra a equivalência entre diferentes lâmpadas.

B

EllenM/Shutterstock.com/ID/BR

Embalagem de uma lâmpada de LED mostrando sua equivalência em relação a outros tipos de lâmpada.

Não escreva no livro.

TABELA DE EQUIVALÊNCIA ENTRE LÂMPADAS (VALORES APROXIMADOS)		
Lâmpada fluorescente compacta	**Lâmpada de LED**	**Fluxo luminoso (lm)**
10 W	7 W	600
15 W	9 W	850
20 W	12 W	1 200
25 W	15 W	1 500

Fonte de pesquisa: Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação (Abilumi). *Tabela de equivalência Abilumi (2020)*. São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.abilumi.org.br/tabela-de-equivalencia-abilumi-2020/. Acesso em: 30 jul. 2024.

3 **Analisem a tabela e identifiquem qual parâmetro é usado para estabelecer a equivalência entre diferentes tipos de lâmpada. Expliquem o que significa afirmar que determinado tipo de lâmpada equivale a outro tipo.** A equivalência entre lâmpadas se baseia na quantidade de luz emitida por elas. Ao observar a tabela, nota-se, por exemplo, que uma lâmpada fluorescente compacta de 10 W de potência produz a mesma quantidade de luz (600 lm) que uma lâmpada LED de 7 W. Dizemos, então, que essas lâmpadas com essas dadas potências equivalem entre si, ou seja, emitem quantidades equivalentes de luz.

4 **Analisando a tabela, vocês podem dizer que a quantidade de energia consumida por uma lâmpada tem relação direta com sua capacidade de iluminar um ambiente? Justifiquem sua resposta.**

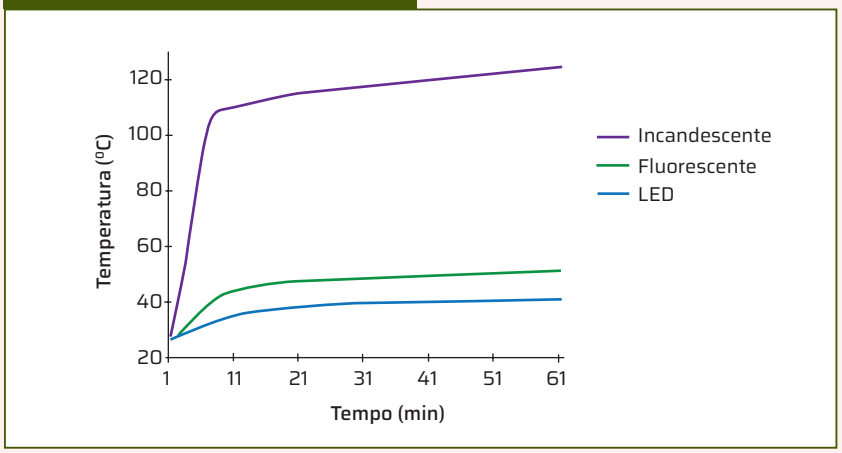
5. Gráficos dos estudantes. A lâmpada mais eficiente é a LED. Ao compararmos lâmpadas equivalentes entre si, ou seja, que emitem a mesma quantidade de luz (lm), verificamos que a que consome menos energia elétrica (menor potência) na produção de uma mesma quantidade de iluminação (lm) é a lâmpada LED, seguida pela lâmpada fluorescente.

5 **Determinem qual tipo de lâmpada é o mais eficiente e qual é o menos eficiente em termos de consumo de energia elétrica convertida em iluminação. Para isso, produzam um gráfico com os dados da tabela e identifiquem nele os elementos que embasaram a resposta.**

A eficiência energética entre diferentes tipos de lâmpada também pode ser comparada de outra maneira. Por exemplo, um grupo de pesquisadores do Laboratório de Física da Unijuí (RS) realizou um experimento no qual mediram, ao longo do tempo, a temperatura dentro de uma caixa de isopor onde se encontrava acesa uma lâmpada incandescente (100 W), depois uma fluorescente (20 W) e, por fim, uma de LED (15 W), sendo elas equivalentes entre si. O gráfico a seguir mostra os resultados obtidos.

TEMPERATURA POR TIPO DE LÂMPADA

ID/BR



4. A luminosidade emitida pela lâmpada torna-se mais intensa à medida que a potência aumenta. Essa relação entre consumo energético e luminosidade, entretanto, não é diretamente proporcional, mas existe uma interferência direta do consumo energético (potência) na luminosidade da lâmpada.

Fonte de pesquisa: Dallabrida, E. C.; Gonçalves, C. M.; Piovesan, T. R. Análise comparativa da eficiência energética em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED1. *In*: Seminário de Iniciação Científica, 23., Ijuí. *Relatórios* [...]. Ijuí: Unijuí, 2015. Disponível em: https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/4990/4176. Acesso em: 4 out. 2024.

6. A medida de temperatura na caixa reflete a quantidade de calor liberada por cada lâmpada em funcionamento. Parte da energia elétrica consumida por uma lâmpada é convertida em luminosidade, e a outra parte é dissipada em forma de calor. Lâmpadas mais eficientes do ponto de vista energético são aquelas que conseguem converter melhor a eletricidade em luminosidade e, portanto, dissipam menos energia como calor. O gráfico mostra que as lâmpadas incandescentes são as menos eficientes, pois produzem as maiores temperaturas e, portanto, são as que mais dissipam energia elétrica em forma de calor. Em seguida, estão as lâmpadas fluorescentes e, por fim, as de LED, que são as mais eficientes.

6 **Analisem o gráfico e expliquem por que podemos afirmar que esse experimento comparou realmente a eficiência energética dos três tipos de lâmpada.**

7 **Considerem que a vida útil aproximada da lâmpada fluorescente é 6 mil horas, e a de LED, 30 mil horas. Pesquisem o preço médio de cada um desses tipos de lâmpada, no município em que vocês vivem, e comparem os preços de lâmpadas equivalentes entre si. Com base nessas informações, qual das lâmpadas tem o preço mais vantajoso e qual tem o preço menos vantajoso a curto prazo (por exemplo, seis meses de uso contínuo)? E a longo prazo (por exemplo, três anos de uso contínuo)? Construam um gráfico com esses dados e apontem nele os elementos que embasaram a resposta de vocês.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **Qual dos dois tipos de lâmpada vocês escolheriam para usar na residência de vocês? Justifiquem a resposta.** Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes escolham a lâmpada de LED, pois, entre as duas, é a que tem maior eficiência energética e o menor custo de compra no longo prazo.

QUESTÕES GLOBAIS

1 (**Fuvest-SP**) Como ilustrado pela foto, o gerador de Van de Graaf, equipamento popular em parques de ciência, permite o acúmulo de cargas elétricas em uma cúpula metálica. A distribuição de cargas na cúpula de um desses geradores, quando ninguém a toca, pode ser considerada esférica. Dois desses geradores, A e B, estão separados por uma certa distância. O gerador A contém uma carga $+Q$, e o gerador B, uma carga $+2Q$, com $Q > 0$.

Fuvest, 2024. Fac-símile: ID/BR

Fuvest. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Entre as alternativas, assinale aquela que melhor corresponde ao vetor campo elétrico resultante produzido pelos geradores no ponto médio P entre eles.

a) →
b) ↑
c) ←
d) ↓
e) nulo

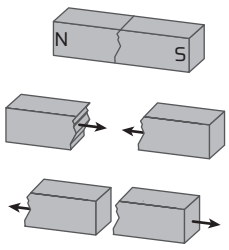
Alternativa **c**.

2 (**UFGD-MS**) As telas sensíveis ao toque, ou *touch screen*, vêm substituindo as telas convencionais nos mais diversos dispositivos eletrônicos, como celulares, computadores, etc. Essas telas são equipadas com sensores capazes de detectar o toque por meio da pressão exercida na tela. Diferentes tecnologias podem ser utilizadas na construção desses dispositivos; um exemplo é a tela resistiva que é composta por três finas camadas, tal que uma corrente elétrica de baixa intensidade passa entre a camada resistiva e capacitiva, enquanto a tela está ligada. Isso posto, se a tela *touch screen* de um dispositivo eletrônico ficar ligada por 2 horas, com uma corrente elétrica de 0,03 A, qual será a quantidade de carga elétrica que circula na tela durante esse tempo de uso?

a) 0,6 C.
b) 3,6 C.
c) 50 C.
d) 108 C.
e) 216 C.

Alternativa **e**.

3 Partindo-se um ímã ao meio, conforme ilustra a imagem ao lado, e reaproximando as partes, elas se atraem. No entanto, se a posição de uma delas for invertida, elas passarão a se repelir. Justifique a afirmação por meio das propriedades magnéticas.



Setup Bureau/ID/BR

4 (**UEPG-PR**) Maxwell demonstrou, a partir das equações do eletromagnetismo, a existência de ondas eletromagnéticas, que posteriormente foram confirmadas experimentalmente por Hertz. A utilização de ondas eletromagnéticas já faz parte de nosso dia a dia. Em relação às propriedades e às características das ondas eletromagnéticas, assinale o que for correto.

01) As ondas eletromagnéticas são ondas transversais que não precisam de um meio para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

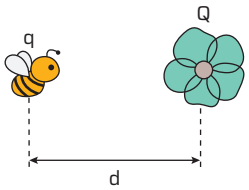
02) Todas as ondas eletromagnéticas, independentemente de suas frequências, se propagam no vácuo com a velocidade de 3×10^8 m/s.

04) Os raios X, utilizados na medicina, por apresentarem comprimentos de onda pequenos, são bastante energéticos, penetrando facilmente na pele e sendo absorvidos pelos ossos, podendo revelar a presença de fraturas ósseas.

08) O funcionamento do radar baseia-se na emissão e na detecção de ondas eletromagnéticas na faixa das micro-ondas.

4. Soma das alternativas corretas: 01 + 02 + 04 + 08 = 15

5 (**Unesp**) Devido ao atrito com o ar, insetos voadores podem acumular uma pequena quantidade de carga elétrica positiva em seu corpo enquanto voam. Considere uma abelha que tenha acumulado uma carga elétrica $q = 3{,}2 \times 10^{-11}$ C voando nas proximidades de uma flor, no centro da qual havia sido colocada uma carga elétrica, também positiva, $Q = 4 \times 10^{-11}$ C, em um experimento que investigava a eletrização dos corpos dos insetos. Nesse experimento observou-se que a menor distância a que essa abelha chegava do centro da flor era $d = 20$ cm $= 2 \times 10^{-1}$ m, a partir da qual se afastava, voando para longe, sugerindo que existia um campo elétrico mínimo ($E_{mín}$) ao qual as abelhas são sensíveis.



Unesp. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Adote para a carga elétrica elementar o valor $1{,}6 \times 10^{-19}$ C e, para a constante eletrostática do ar, o valor 9×10^9 N · m²/C².

a) Calcule a diferença entre o número de prótons e o número de elétrons que essa abelha tem em seu corpo, por estar eletrizada com a carga q positiva. Essa diferença deve-se ao fato de a abelha ter perdido elétrons ou ganhado prótons durante seu voo? Justifique sua resposta com base na posição dessas partículas nos átomos, segundo o modelo atômico clássico. 5. a) $n = 2 \cdot 10^8$

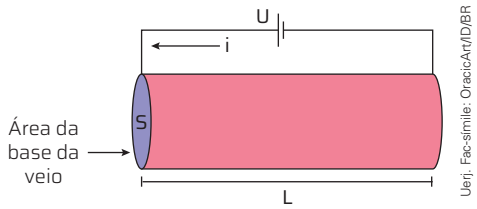
3. Ao partir um ímã ao meio, formam-se dois ímãs, cada um com polos norte e sul, já que monopólios magnéticos não existem. Assim, quando se aproxima o polo norte do sul, eles se atraem, mas, quando se aproximam dois polos norte ou dois polos sul, eles se repelem.

Não escreva no livro.

9. a) A água da superfície de rios, lagos e mares evapora pela ação do Sol e se condensa posteriormente em nuvens. A diferença de temperatura entre regiões do planeta provoca ventos na atmosfera, que transportam essas nuvens até regiões próximas dos reservatórios. Se ali ocorrerem chuvas, a água vinda das nuvens é depositada nos reservatórios.

b) Calcule a intensidade da força de repulsão, em N, entre a abelha e a flor, quando elas estão a 20 cm uma da outra. Calcule, também, a intensidade de $E_{mín}$, em N/C. $F = 2{,}88 \cdot 10^{-10}$ N, $E_{min} = 9$ N/C

6 (**Uerj**) Em procedimentos clínicos, a resistividade elétrica do sangue pode ser medida pela intensidade da corrente elétrica i produzida por meio de uma diferença de potencial U, sendo esta aplicada ao longo de uma região de veia de comprimento L, como ilustra a imagem.



Uerj. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

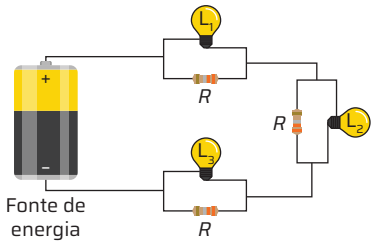
A hemólise, que consiste numa alteração dos glóbulos vermelhos, diminui o valor da resistividade elétrica média do sangue. Devido ao rompimento das hemácias, substâncias eletricamente carregadas são geradas na corrente sanguínea, provocando danos ao paciente. Sabendo que uma pessoa saudável possui resistividade elétrica média do sangue igual a 1,6 $\Omega \cdot$ m, considere os seguintes dados do procedimento clínico de um paciente:

- $L = 2{,}0 \times 10^{-3}$ m;
- $S = 2{,}0 \times 10^{-6}$ m²;
- $U = 0{,}1$ V;
- $i = 1{,}0 \times 10^{-4}$ A.

Resistividade de 1,0 $\Omega \cdot$ m. O valor de resistividade média obtido no exame para esse paciente está abaixo do valor de referência de 1,6 $\Omega \cdot$ m. Conclui-se, então, que ele sofreu hemólise.

Determine, em $\Omega \cdot$ m, a resistividade elétrica do sangue desse paciente. Indique, também, se ele sofreu hemólise, justificando sua resposta.

7 (**Enem**) O circuito com três lâmpadas incandescentes idênticas, representado na figura, consiste em uma associação mista de resistores. Cada lâmpada (L_1, L_2 e L_3) é associada, em paralelo, a um resistor de resistência R, formando um conjunto. Esses conjuntos são associados em série, tendo todas as lâmpadas o mesmo brilho quando ligadas à fonte de energia. Após vários dias em uso, apenas a lâmpada L_2 queima, enquanto as demais permanecem acesas.



Enem. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

Em relação à situação em que todas as lâmpadas funcionam, após a queima de L_2, os brilhos das lâmpadas serão: Alternativa **c**.

a) os mesmos.

b) mais intensos.

c) menos intensos.

d) menos intenso para L_1 e o mesmo para L_3.

e) mais intenso para L_1 e menos intenso para L_3.

8 (**Fuvest-SP**) Uma comunidade rural tem um consumo de energia elétrica de 2 MWh por mês. Para suprir parte dessa demanda, os moradores têm interesse em instalar uma miniusina hidrelétrica em uma queda d'água de 15 m de altura com vazão de 10 litros por segundo. O restante do consumo seria complementado com painéis de energia solar que produzem 40 kWh de energia por mês cada um. Considerando que a miniusina hidrelétrica opere 24h por dia com 100% de eficiência, o número mínimo de painéis solares necessários para suprir a demanda da comunidade seria de: Alternativa **b**.

Note e adote:
Densidade da água: 1 kg/litro.
1 mês = 30 dias.
Aceleração da gravidade: g = 10m/s².

a) 12 b) 23 c) 30 d) 45 e) 50

9 (**UFU-MG**) Usinas hidrelétricas utilizam a água represada em reservatórios para produção de energia elétrica. A depender das características de sua construção, possuem maior ou menor potência. A hidrelétrica de Furnas, localizada em Minas Gerais, possui potência instalada de cerca de 1200 MW e dispõe de oito comportas com 10 m de altura cada, que captam a água do reservatório e a levam até as turbinas. Considerando a situação descrita, responda aos itens abaixo.

a) Se, na natureza, a energia passa por processos de transformação, explique como a fonte de energia transporta a água de rios, lagos e mares para os reservatórios das usinas hidrelétricas.

b) Considerando que a potência instalada de Furnas não sofra nenhum tipo de perda, e que a água do reservatório flui pelas comportas caindo da altura de 10 m em direção à turbina, demonstre, por meio de cálculos, qual o volume de água que passa através de cada uma das comportas a cada segundo. (Considere g = 10 m/s² e densidade da água = 10^3 kg/m³). $1{,}5 \cdot 10^3$ m³/s

10 "Raios cósmicos" é o nome que se dá às partículas carregadas que viajam pelo espaço sideral a altas velocidades e eventualmente atingem a atmosfera terrestre. Essas partículas, em sua maioria prótons e núcleos de hélio, representam um risco para os astronautas e os instrumentos eletrônicos em órbita. Felizmente, grande parte delas é desviada pelo campo magnético terrestre, de modo que poucas chegam à superfície do planeta Terra. Nas regiões próximas aos polos, porém, observa-se uma intensidade de raios cósmicos maior que na região equatorial. Considerando as linhas de campo magnético da Terra, explique por que isso ocorre.

10. As linhas de campo magnético da Terra se concentram em maior intensidade nos polos e, por isso, carregam para lá maior quantidade de partículas.

FÍSICA DO "MUITO PEQUENO"

Entre o fim do século XIX e o início do século XX, alguns resultados experimentais em determinadas áreas da Física não estavam de acordo com o que previam as leis da Física Clássica – como o caso do espectro da radiação do corpo negro. Para explicar esses resultados discrepantes, foi preciso propor um novo conjunto de teorias, que culminou no desenvolvimento do que hoje chamamos Física Moderna e Física Contemporânea.

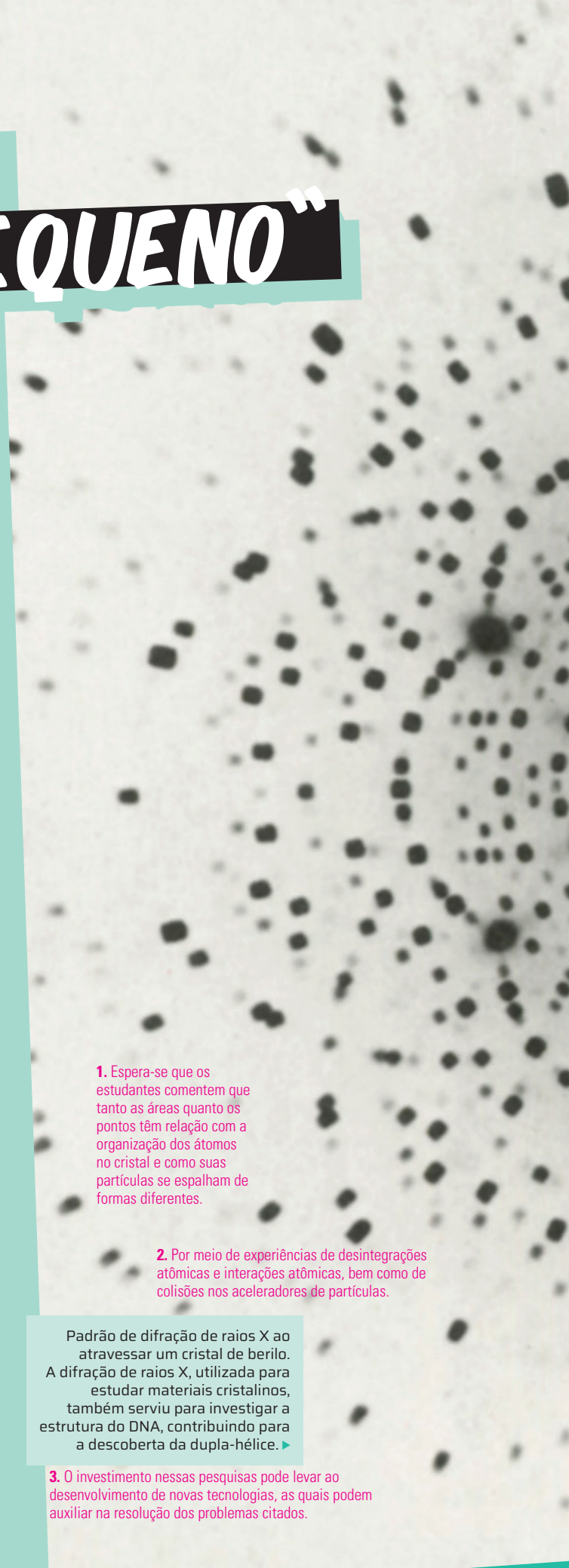
É importante destacar que a Física Moderna rompeu com os paradigmas da Física Clássica ao apresentar ideias que foram consideradas revolucionárias e mesmo absurdas na época, até que fossem comprovadas adequadamente mediante experimentos. O desenvolvimento tecnológico também teve papel importante, possibilitando novas percepções para a estrutura da matéria, como a apresentada na imagem.

OBJETIVOS

- Conhecer e analisar modelos atômicos e seus limites experimentais.
- Conhecer as partículas elementares e suas características.
- Identificar a quantização da energia como uma solução matemática para o problema da radiação do corpo negro.
- Descrever e analisar o efeito fotoelétrico, relacionando-o com a quantização da energia.
- Reconhecer a dualidade onda-partícula como fenômeno inerente à teoria quântica.
- Diferenciar a radiação ionizante da não ionizante.
- Entender o decaimento radioativo e as reações de fissão e fusão nucleares.
- Avaliar perigos decorrentes da exposição a certos tipos de radiação e identificar formas de proteção.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. Observe a imagem. Nela vemos áreas escuras e áreas claras, de diferentes tonalidades, e alguns pontos de tamanhos diversos. Você sabe explicar como isso acontece?
2. Como é possível detectar a existência de átomos, prótons, nêutrons, elétrons ou outras partículas?
3. Com tantos problemas sociais a resolver no mundo, por que é importante investir em pesquisas sobre a estrutura da matéria? Justifique.

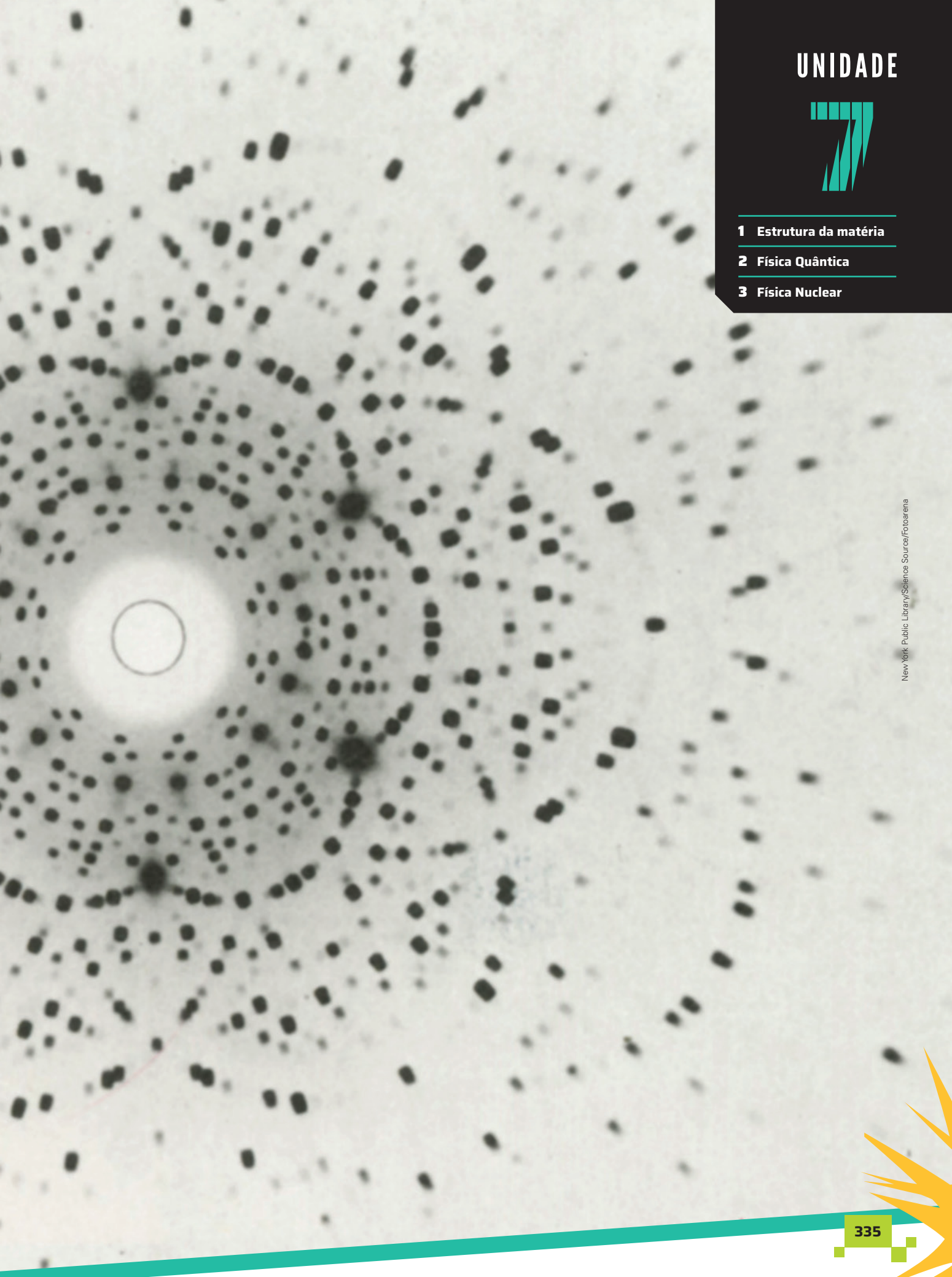


1. Espera-se que os estudantes comentem que tanto as áreas quanto os pontos têm relação com a organização dos átomos no cristal e como suas partículas se espalham de formas diferentes.

2. Por meio de experiências de desintegrações atômicas e interações atômicas, bem como de colisões nos aceleradores de partículas.

Padrão de difração de raios X ao atravessar um cristal de berilo. A difração de raios X, utilizada para estudar materiais cristalinos, também serviu para investigar a estrutura do DNA, contribuindo para a descoberta da dupla-hélice. ▸

3. O investimento nessas pesquisas pode levar ao desenvolvimento de novas tecnologias, as quais podem auxiliar na resolução dos problemas citados.



New York Public Library/Science Source/Fotoarena

UNIDADE 7

1 Estrutura da matéria

2 Física Quântica

3 Física Nuclear

CAPÍTULO 1

ESTRUTURA DA MATÉRIA

PARA COMEÇAR

1. Do que a matéria é composta?
2. Você sabe do que os átomos são compostos?
3. Quais são as principais diferenças entre os elementos que compõem o átomo?

MODELOS ATÔMICOS

1. A matéria é composta de átomos.
2. Os átomos são compostos de prótons, nêutrons e elétrons.
3. Massa e carga elétrica.

Ao longo do tempo e nas mais diversas sociedades, o ser humano sempre buscou compreender a origem e a evolução do Universo. Faz parte dessa busca tentar entender o que compõe a matéria, como ela é organizada e de que maneira ocorrem as interações entre os diferentes tipos de objeto, material, substância e elemento. Por exemplo, na Grécia Antiga, no século V a.C., o filósofo Demócrito defendia a ideia de que todas as coisas que constituem o mundo físico eram formadas por partículas invisíveis e indivisíveis, as quais chamou de átomos.

Hoje sabemos que nem todas as ideias de Demócrito estão de acordo com a realidade, mas ele acertou ao afirmar que todas as coisas são compostas de uma estrutura básica comum, o átomo. A imagem a seguir, do filme *A boy and his atom: the world's smallest movie*, feito com mais de 10 mil átomos, ilustra essa ideia.

Neste capítulo, vamos estudar os principais modelos atômicos propostos ao longo da história e explorar aspectos da Física e da Química que contribuíram para nosso entendimento atual sobre os átomos.

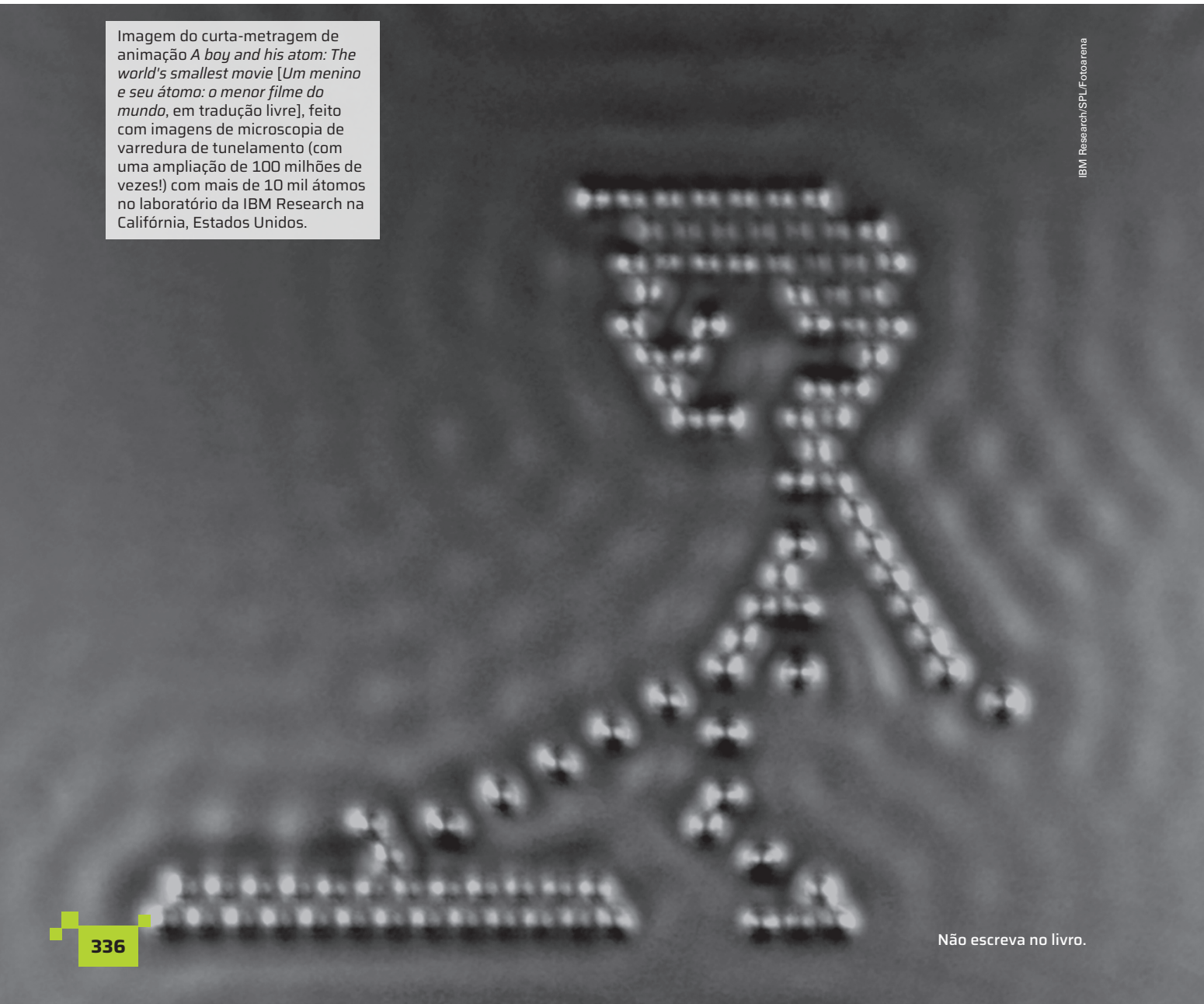


Imagem do curta-metragem de animação *A boy and his atom: The world's smallest movie* [*Um menino e seu átomo: o menor filme do mundo*, em tradução livre], feito com imagens de microscopia de varredura de tunelamento (com uma ampliação de 100 milhões de vezes!) com mais de 10 mil átomos no laboratório da IBM Research na Califórnia, Estados Unidos.

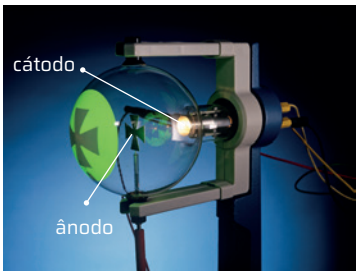
IBM Research/SPL/Fotoarena

Não escreva no livro.

Os átomos de Dalton e de Thomson

O desenvolvimento da ciência moderna contribuiu para a formulação, em 1808, da teoria atômica do cientista britânico John Dalton (1766-1844) – esta é considerada a primeira evidência consistente do modelo da matéria constituída de átomos. Esse cientista descreveu o átomo como maciço e indivisível.

Ao longo do século XIX, foram desenvolvidos os chamados tubos de Crookes, tubos de vidro selados dos quais o ar era extraído. Seu funcionamento baseava-se na aplicação de alta tensão entre duas placas metálicas – uma ligada ao polo positivo, o **ânodo**, e outra ligada ao polo negativo, o **cátodo** – colocadas em seu interior. No tubo de Crookes, quando havia uma quantidade de ar residual, o ânodo brilhava com cor esverdeada. Quando havia um vácuo parcial, observava-se um feixe brilhando entre o cátodo e o ânodo, demonstrando que havia corrente elétrica. Esse feixe foi chamado de **raio catódico**, uma vez que partia do cátodo.



Andrew Lambert Photography/SPL/Fotoarena

Tubo de Crookes em funcionamento.

Com essa tecnologia disponível, após experimentos em laboratório, o físico Joseph John Thomson (1856-1940) propôs um modelo de átomo diferente do modelo de Dalton. Ao submeter o feixe de raio catódico à ação de um campo magnético e à ação de um campo elétrico, Thomson observou que a trajetória do feixe era desviada. Sabia-se, à época, que somente era possível um corpo interagir com campos elétricos e magnéticos se houvesse a presença de carga elétrica. Assim, Thomson deduziu que havia partículas portadoras de carga elétrica no feixe e que o sinal dessas cargas era negativo. Por fim, calculou a razão entre carga e massa dessas partículas.

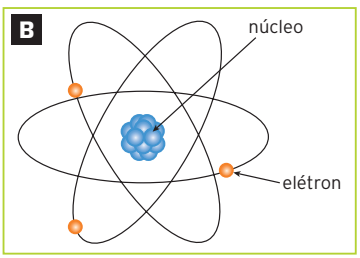
Como o feixe saía do cátodo e chegava ao ânodo, Thomson concluiu que havia partículas negativas no cátodo. E, como o cátodo estava neutro antes do lançamento do feixe, Thomson propôs que o átomo era constituído por fluido contínuo, com carga positiva, dentro do qual flutuavam cargas negativas, como sementes espalhadas em uma melancia. Esse modelo, então, passou a ser o mais aceito, porque propunha uma explicação para os raios catódicos que o modelo de esferas indivisíveis de Dalton não explicava.

O átomo de Rutherford

Após os avanços realizados por Thomson, outros cientistas propuseram e realizaram diversos experimentos para compreender o mundo atômico.

Em 1909, Ernest Rutherford (1871-1937) e os colegas Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970) realizaram um experimento sobre o espalhamento de partículas, que consistia em bombardear um alvo fixo – uma finíssima folha de ouro – com um feixe de partículas alfa, representado na figura **A**. Ao redor da folha, foi colocado um detector para verificar o desvio das partículas. Considerando o modelo atômico proposto por Thomson, o resultado esperado era que as partículas alfa atravessassem o alvo sofrendo um desvio de apenas poucos graus em sua trajetória, por causa da interação elétrica com as cargas (sabia-se, à época, que partículas alfa tinham carga elétrica positiva e eram capazes de atravessar finas películas de alguns materiais), porém, algumas partículas alfa foram ricocheteadas e sofreram grandes desvios.

Os desvios observados não podiam ser explicados pelo modelo de Thomson. Por isso, realizando seguidos arranjos experimentais e cálculos, Rutherford propôs, em 1911, um novo modelo atômico, representado na figura **B**. Neste modelo, toda a carga positiva do átomo e grande parte de sua massa estão concentradas em uma pequena região em seu interior, a qual ele denominou **núcleo**. As partículas de carga negativa (os elétrons) orbitariam ao redor do núcleo em um movimento contínuo, sem que acontecesse nenhum choque entre eles, e haveria regiões vazias (sem a presença de quaisquer partículas) em grande parte do átomo.

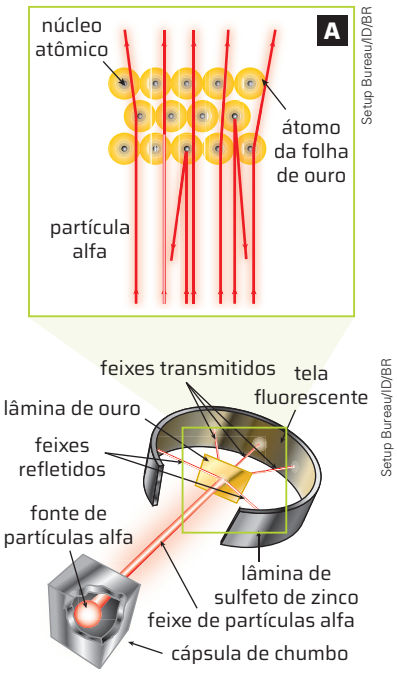


Setup Bureau/ID/BR

Representação do modelo atômico proposto por Rutherford. Cores-fantasia.

Representação sem proporção de tamanho e distância.

Representações sem proporção de tamanho e distância.



Setup Bureau/ID/BR
Setup Bureau/ID/BR

Representação simplificada do arranjo experimental de Rutherford realizado em 1909 e representação dos átomos da folha de ouro interagindo com o feixe de partículas alfa, segundo o modelo atômico de Rutherford. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Kotz, J. C.; Treichel, P. M. *Chemistry and chemical reactivity*. 10. ed. Boston: Cengage Learning, 2019. p. 66-67.

ROTEIRO

1. O feixe de luz indica o movimento de cargas elétricas.

1. Explique por que o brilho observado no tubo de Crookes indica a existência de corrente elétrica.

2. Na experiência de Rutherford apresentada nesta página, seria possível prever também a existência do nêutron? Justifique sua resposta.

2. Não seria possível prever a existência do nêutron, pois essa partícula tem carga nula, e as interações que aconteceram no experimento basearam-se na carga elétrica.

Não escreva no livro.

O nêutron

O próton e o elétron foram descobertos na mesma época. Foi mais fácil detectar essas partículas porque, tendo carga elétrica, elas interagem com campos elétricos e magnéticos.

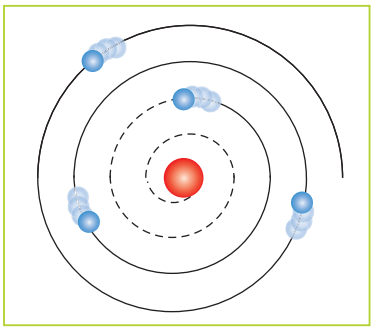
O nêutron, porém, por não ter carga elétrica, foi descoberto bem mais tarde, apenas em 1932, pelo físico inglês James Chadwick (1891-1974), quando trabalhava no mesmo laboratório que Rutherford. Os experimentos realizados na época envolviam conservação de massa e de energia.

A proposição da existência do nêutron no núcleo do átomo era fundamental para garantir que essas leis de conservação de energia e massa não fossem violadas. E foi Chadwick quem conseguiu prová-la.

As limitações do modelo atômico de Rutherford

O modelo atômico proposto por Rutherford não explicava como o elétron se mantinha orbitando o núcleo, fenômeno incompatível com a teoria do eletromagnetismo de Maxwell. Nessa teoria, cargas elétricas em movimento acelerado emitiam radiação, perdendo energia e, consequentemente, velocidade, o que faria os elétrons colapsarem com o núcleo. Além disso, os elétrons apresentavam um comportamento não compreendido na época: quando recebiam energia, desapareciam de um estado e reapareciam em outro mais excitado – segundo Rutherford, os elétrons orbitavam em diferentes estados. Perguntava-se, à época, como era possível que uma partícula "sumisse" entre esses dois estados – chegou-se a denominar de "proibida" a região em que os elétrons jamais seriam encontrados.

Na mesma época, houve consideráveis avanços com experimentos envolvendo o espectro eletromagnético, cujos resultados não eram condizentes com o modelo de átomo proposto por Rutherford.



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho e distância.

Pela teoria do eletromagnetismo, uma partícula em movimento acelerado emite radiação. O modelo de Rutherford não explicava por que o elétron não perdia energia e, portanto, não colapsava ao emitir radiação. Cores-fantasia.

ATIVIDADES RESOLVIDAS

- **Na Química, uma das maneiras de representar a interação entre átomos é pela fórmula eletrônica, como neste exemplo:**

$$Na\cdot + :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{C}}\ell: \longrightarrow Na^{+} + :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{C}}\ell:^{-}$$

  a) Identifique o modelo de átomo utilizado.

  b) Descreva o que essas representações mostram em relação aos elétrons.

  Resolução

  a) O modelo de átomo utilizado considera os elétrons pequenas esferas separadas do núcleo atômico; portanto, é o modelo de Rutherford.

  b) A representação evidencia que o sódio (Na) transfere um elétron ao cloro (Cℓ), promovendo a ligação iônica. Nesse caso, estão representados somente os elétrons que participam da ligação.

- **Releia o texto sobre os modelos atômicos e, depois, faça o que se pede.**

  a) Explique a diferença entre o modelo de Thomson e o modelo de Rutherford.

  b) Cite algumas questões não solucionadas pelo modelo de átomo de Rutherford.

  Resolução

  a) No modelo de Thomson, o átomo é composto de uma esfera maciça positiva, na qual estão os elétrons, de carga negativa. Assim, não há espaços vazios no interior do átomo.

  Já no modelo de Rutherford, toda a carga positiva está concentrada em um núcleo no interior do átomo, que também contém a maior parte de sua massa. Os elétrons orbitam o núcleo, sem colidirem entre si. Nesse modelo, há espaços vazios entre o núcleo e os elétrons.

  b) O modelo proposto por Rutherford não explicava por que, em decorrência da atração eletromagnética, os elétrons não caíam no núcleo, e também não explicava como os elétrons se movimentavam em órbitas sem colidir e sem haver perda de energia.

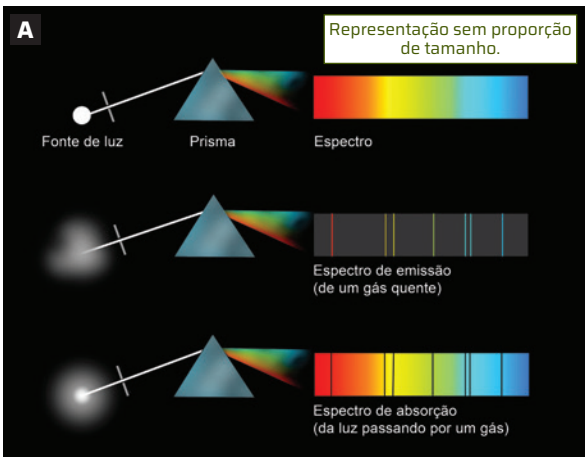
Não escreva no livro.

As linhas espectrais

A espectroscopia consiste na análise da luz emitida por um gás rarefeito submetido a uma descarga elétrica no interior de um tubo de Crookes. Essa luz atravessa um prisma decompondo-se em diversos comprimentos de onda e é registrada por detectores eletrônicos.

Na espectroscopia com luz branca, emitida pelo Sol ou por lâmpadas de filamento, obtém-se um **espectro contínuo**, como mostra a primeira linha da Figura **A**.

Quando o espectrômetro (aparelho com o qual se faz a espectroscopia) recebe luz de uma nuvem de gás rarefeito aquecido, o espectro apresenta algumas cores concentradas, chamadas de **raias** ou **linhas espectrais** – as quais constituem o **espectro de emissão**, como mostra a segunda linha da Figura **A**. As raias revelam que apenas algumas frequências são emitidas pela luz capturada pelo espectrômetro. A análise dessa luz permite deduzir quais substâncias ou elementos químicos estão presentes em sua fonte.



Ron Miller/SPL/Fotoarena

Espectro contínuo, espectro de emissão e espectro de absorção.

Se uma nuvem de gás estiver entre o espectrógrafo e uma fonte de espectro contínuo, como o Sol, o espectro registrado será contínuo, porém, no mesmo lugar em que se observavam raias coloridas para o gás, serão observadas linhas espectrais escuras e sem cor. Isso ocorre porque a emissão de radiação nos comprimentos de onda, presentes no espectro de emissão do gás, é absorvida pelo gás. Tem-se, então, o **espectro de absorção**, como mostra a terceira linha da Figura **A**.

O espectro do gás hidrogênio foi o mais estudado entre os anos 1860 e 1885, e acabou sendo tomado como padrão para se analisar espectros de outros elementos químicos. Um modelo para a estrutura interna dos átomos que explica as linhas espectrais foi apresentado por Niels Bohr (1885-1962), que reformulou o modelo de Rutherford, propondo o modelo conhecido como **Rutherford-Bohr**, ou simplesmente **modelo de Bohr**.

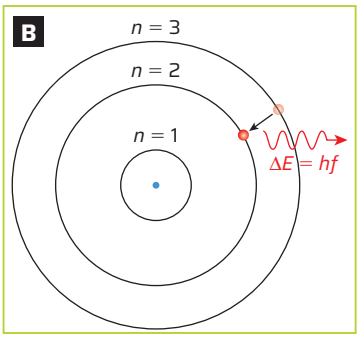
O átomo de Bohr

Em 1913, Bohr sugeriu um modelo atômico fundamentado nos espectros de emissão do hidrogênio. Seu modelo partia da compreensão e modificação do modelo de Rutherford, da utilização das propostas teóricas dos fótons de Einstein e da quantização de Planck (que serão apresentadas mais adiante), as quais consideram que a energia não é transferida em quantidades contínuas – ela se organiza e é transferida em "pacotes". No caso das ondas eletromagnéticas, esses pacotes são chamados fótons.

O modelo atômico de Bohr apresenta as características descritas a seguir.

- O elétron move-se em órbita circular ao redor do núcleo, sob ação da força coulombiana.
- O elétron realiza movimento circular apenas em algumas órbitas específicas, de raios bem determinados, nas quais a energia permanece constante. Essas órbitas são designadas por um **número quântico** ***n***.
- Para que o elétron mude de uma órbita estável para outra, é necessário que ele ganhe ou perca energia na forma de fótons (Figura **B**). Ao ganhar energia, o elétron passa para um estado mais energético, chamado **estado excitado**. Ao perder energia, o elétron passa para um estado de menor energia. O estado de menor energia possível é chamado de **estado fundamental**.
- As mudanças entre os estados de energia são chamadas de "saltos" do elétron, o qual pode ocupar somente um estado energético de cada vez. Com isso, Bohr procurou resolver o problema das regiões proibidas, que o modelo de Rutherford não conseguiu explicar.
- A variação de energia desses saltos é dada por $\boldsymbol{\Delta E = E_{final} - E_{inicial} = h \cdot f}$, em que $E_{inicial}$ é a energia do estado inicial, E_{final} é a energia do estado final, ΔE é a variação de energia entre os dois estados, h é a constante de Planck, e f é a frequência do fóton. A variação de energia ΔE corresponde à energia do fóton, de frequência f, que o elétron ganhou ou perdeu.

Representação sem proporção de tamanho e distância.



ID/BR

Representação do modelo atômico de Bohr. O estado fundamental é o indicado por $n = 1$, mais próximo do núcleo. A figura mostra um elétron que decai do nível 3 para o nível 2; para isso, esse elétron emite um fóton. Cores-fantasia.

Interpretação do modelo de Bohr

Segundo o modelo de Bohr, as linhas espectrais indicam a variação de energia dos elétrons ao mudar de estado no átomo. O ganho de energia que ocorre quando o elétron "salta" para um estado mais excitado deve-se à tensão elétrica aplicada no gás. No entanto, os elétrons não permanecem no estado de maior energia; eles decaem para estados de menor energia e, ao fazer isso, emitem fótons de comprimentos de onda bem definidos, formando as linhas espectrais. Nos espectros de absorção, a ausência de determinada linha ocorre quando fótons com energia correspondente são absorvidos pelos elétrons.

Para representar as mudanças de nível dos elétrons no átomo – também conhecidas como **transições** –, são utilizados diagramas de energia, como o mostrado ao lado. Nele, as linhas horizontais representam os diferentes estados de energia acessíveis aos elétrons, e as linhas verticais representam as transições entre esses estados. O sentido "para baixo" das setas indica transições de um estado mais energético para outro menos energético. Cada transição corresponde à diferença de energia entre os estados inicial e final. A unidade de energia apresentada é o **eletron-volt (eV)**, que é definida como a quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de 1 V, no vácuo, ou $1{,}60217733 \cdot 10^{19}$ J.

O modelo de Bohr combina conceitos da Física Clássica aos da então iniciante Física Quântica, os quais aparentemente apresentavam contradições. Estas começaram a ser resolvidas em 1925, com as proposições do físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) e do físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976).

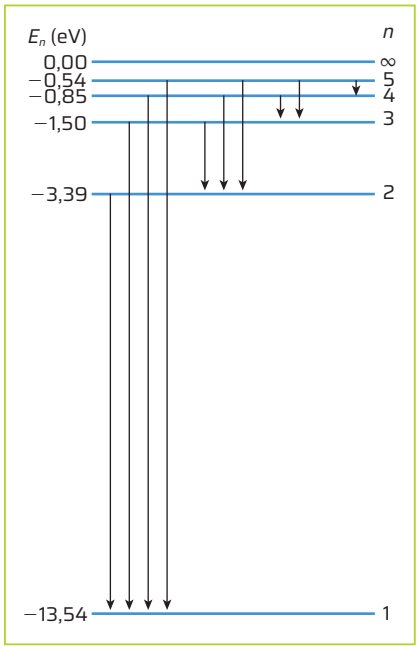


Diagrama de energia do átomo de hidrogênio. Cada linha horizontal representa um estado diferente, e as linhas verticais representam as transições entre os estados.

ROTEIRO

3. **Como as órbitas propostas por Bohr estão relacionadas com as emissões luminosas?**

Ao saltar entre essas órbitas, os elétrons liberam energia na forma de luz.

PARA EXPLORAR

Leia

***Uma breve história do átomo e seus modelos*, de Marcelo Delena Trancoso. Curitiba: CRV, 2018.**

Esse livro discute temas que vão das especulações sobre a constituição da matéria às pesquisas envolvendo eletricidade e o magnetismo em nível atômico, abordando acontecimentos políticos, religiosos e socioeconômicos que influenciaram o trabalho de vários atomistas.

ATIVIDADE RESOLVIDA

Com base no diagrama de energia do átomo de hidrogênio, responda às questões.

a) Verifique o valor da energia de um átomo de hidrogênio quando seu elétron se encontra no estado fundamental e quando está no primeiro estado excitado.

b) Explique por que os valores para energia estão com sinal negativo.

c) Calcule a energia que deve ter um fóton para que o elétron, ao absorvê-lo, passe do estado fundamental para o primeiro estado excitado.

Resolução

a) Cada linha horizontal indica um nível energético diferente. O nível de menor energia é o nível fundamental, em que $n = 1$. Nesse caso, de acordo com o diagrama, a energia do átomo é −13,54 elétrons-volt. O primeiro estado excitado ocorre para $n = 2$, e temos $E_2 = -3{,}39$ eV.

b) O sinal negativo está relacionado ao referencial adotado para a energia potencial elétrica e gravitacional, em que a energia potencial é considerada zero no infinito.

c) Para calcular a energia do fóton que o elétron absorve para mudar do estado fundamental para o primeiro estado excitado, usamos a equação:

$\Delta E = E_{final} - E_{inicial}$

Substituindo os dados conhecidos, obtemos:

$\Delta E = -3{,}39 - (-13{,}54)$

$\Delta E = -3{,}39 + 13{,}54$

$\Delta E = 10{,}15$ eV

Portanto, para possibilitar a transição mencionada, a energia do fóton deve ser 10,15 eV.

Não escreva no livro.

O ÁTOMO CONTEMPORÂNEO

O modelo atômico de Bohr já antecipava alguns conceitos da Física Quântica, principalmente a quantização da energia, porém, via os elétrons como partículas que se moveriam em órbitas bem definidas. Com o avanço da Física Quântica, novas interpretações do átomo foram sendo formuladas.

Em 1926, Erwin Schrödinger elaborou equações inspiradas nas funções de ondas para descrever partículas (como os elétrons), e na sequência, em 1927, Heisenberg formulou o princípio da incerteza. Veremos no próximo capítulo que essas contribuições tornaram-se os pilares da Física Quântica.

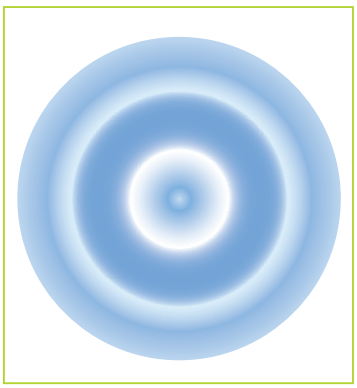
O importante aqui é notarmos que essas mudanças na compreensão e na descrição dos elétrons implicam uma mudança no entendimento das órbitas dos elétrons. Com os elétrons compreendidos como ondas e com o princípio da incerteza afirmando que não é possível determinar simultaneamente a posição e a velocidade dessas partículas, as órbitas são interpretadas, no modelo quântico, como regiões de probabilidade, ou seja, regiões nas quais é mais provável encontrar um elétron, e não mais como trajetórias definidas.

Podemos fazer uma analogia com uma nuvem ao redor do núcleo do átomo que representa a probabilidade de encontrar um elétron naquela região. Essas nuvens continuam sendo chamadas de orbitais e estão associadas às órbitas previstas por Bohr.

Uma das principais diferenças nessa interpretação totalmente quântica do modelo atômico é que o comportamento ondulatório do elétron explica por que somente algumas órbitas ou estados de energia são permitidos. De maneira simplificada, podemos dizer que, para um elétron se manter estável ao redor do núcleo, a onda que descreve esse elétron precisa ser estacionária. As condições que possibilitam uma onda estacionária definem quais órbitas são permitidas.

As nuvens de probabilidade dos elétrons formam padrões que representam as possíveis formas de distribuição do elétron ao redor do núcleo atômico, como podemos observar na figura a seguir. A compreensão desses orbitais é essencial na Química para investigar a configuração eletrônica de um átomo, para o estudo das ligações químicas e para prever o comportamento de átomos e moléculas e a organização das estruturas moleculares.

Representação sem proporção de tamanhos e distâncias.



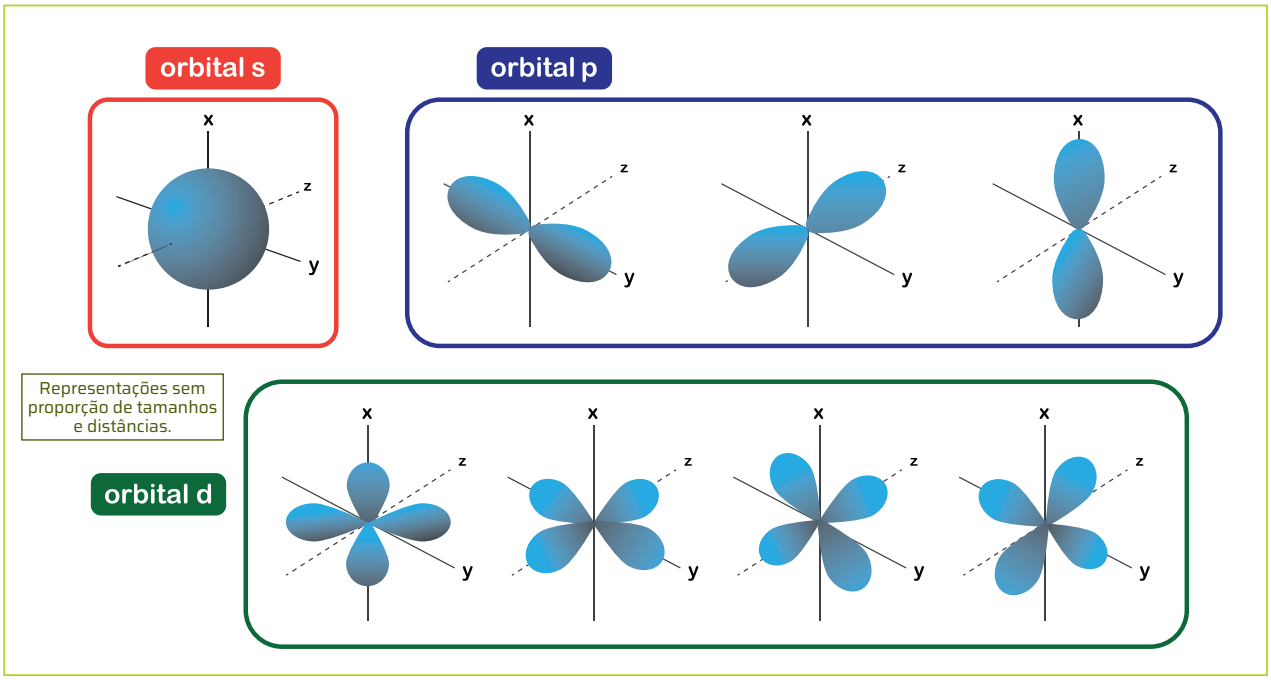
Anshuman Rath/Shutterstock.com/ID/BR<

Representação da interpretação do modelo atômico pela teoria de Erwin Schrödinger. Cores-fantasia.

ROTEIRO

4. Explique como a ideia da nuvem de probabilidade do modelo atômico quântico pode ser comparada com as órbitas do modelo de Niels Bohr.

A nuvem de probabilidade substitui as órbitas de Bohr, indicando as regiões onde o elétron tem maior probabilidade de estar, em vez de descrever uma trajetória definida.



Trinset/iStock/Getty Images

Representações das órbitas dos elétrons em três dimensões nos orbitais chamados de s, p e d. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Kotz, J. C.; Treichel, P. M.; Weaver, G. C. *Química geral e reações químicas*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. v. 1. p. 278-282.

2. Os estudantes podem responder que o comportamento das partículas alfa durante a simulação foi o esperado, já que no modelo atômico de Thomsom os elétrons são distribuídos de forma uniforme na região da carga positiva, por todo o átomo, fazendo com que a maior parte dele não tenha carga. Logo, não ocorre o espalhamento das partículas.

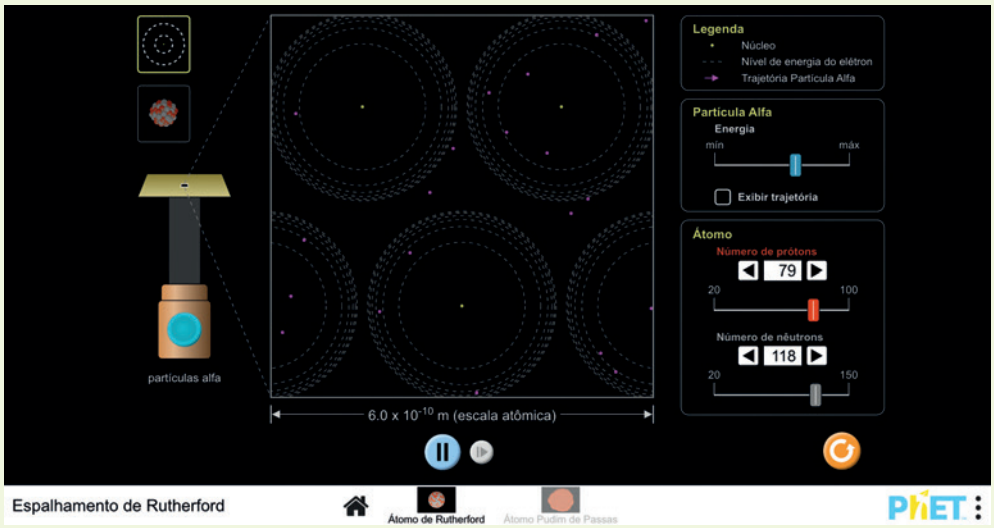
Investigando o espalhamento de Rutherford

Do que a matéria é formada? Como ela está organizada? Qual é a menor porção da matéria?

Essas e inúmeras outras questões têm intrigado os cientistas ao longo do tempo. Mas como investigar algo que não se pode ver a olho nu?

No intuito de representar a realidade, a ciência recorre ao uso de modelos, como é o caso dos modelos atômicos. Nesta atividade, você e os colegas vão realizar a simulação de um experimento que levou à descoberta do núcleo do átomo e a um dos modelos atômicos, o de Rutherford, fazendo uma análise, no nível atômico, dos resultados obtidos nesse experimento.

1. Ao alterar a energia das partículas alfa, para mais e para menos, ocorre uma variação no ângulo de deflexão dessas partículas, bem como ao variar a carga do átomo alvo, podendo-se observar maior e menor desvio por repulsão. Já no modelo atômico de Thomson, a variação tanto da energia quanto da carga do átomo alvo não provoca mudança nas trajetórias das partículas alfa.



PhET Simulações Interactivas, Universidade do Colorado Boulder, licenciada sob CC-BY4.0 (https://phet.colorado.edu)

Simulador do espalhamento de Rutherford.

Material

- dispositivo com acesso à internet
- simulador do espalhamento de Rutherford, (disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=pt_BR; acesso em: 24 set. 2024)

Como fazer

1. Reúnam-se em grupos. Acessem o simulador do espalhamento de Rutherford, no *link* indicado na lista acima, e selecionem a tela "Átomo de Rutherford".
2. Ao acessá-lo, na opção de vista do átomo (que pode ser selecionada à esquerda), cliquem no botão "Partículas alfa", e vejam o comportamento dessas partículas ao se movimentar em meio a uma fina camada de átomos. Vocês podem escolher "Exibir trajetória" para essas partículas, na opção à direita. Anotem suas observações no caderno.
3. Em seguida, reiniciem a simulação e usem as opções à direita para aumentar e diminuir a energia das partículas alfa e para mudar a composição do núcleo do átomo, realizando a etapa descrita no item **2** quantas vezes julgarem necessário. Anotem suas observações no caderno.
4. Depois, na tela do modelo atômico de Rutherford, escolham a opção de vista do núcleo (que pode ser selecionada à esquerda) e realizem as etapas **2** e **3**, explorando o que causa os desvios das partículas alfa ao se aproximarem do núcleo do átomo. Anotem suas observações no caderno.
5. Agora, acessem novamente o simulador do espalhamento de Rutherford no mesmo *link* e selecionem a tela "Átomo pudim de passas" (o modelo de átomo de Thomson). Usem os recursos do simulador e explorem o comportamento esperado para o movimento das partículas alfa com base nesse modelo atômico. Anotem suas observações no caderno.

Para concluir

1 **De acordo com os resultados observados nas simulações, é possível identificar fatores que podem alterar o espalhamento das partículas alfa? De que forma eles afetam os desvios dessas partículas? Justifiquem suas respostas para os dois modelos analisados na simulação.**

2 **Ao realizar a etapa 5, os resultados que vocês observaram para as partículas alfa foram compatíveis com o comportamento que esperavam? Justifiquem suas respostas.**

3 **Discutam, com os demais grupos, o papel e a importância dos modelos na construção do conhecimento científico.**

3. Espera-se que os estudantes comentem que os modelos simplificam conceitos complexos, podendo ser usados como guias para experimentos e teorias. Eles podem concluir que, embora todos os modelos tenham limitações, eles são essenciais na tentativa de representação da realidade e na produção do conhecimento científico. No que diz respeito aos átomos, os modelos são a própria representação deles. Os modelos também mostram como as ideias de cientistas de diferentes épocas são modificadas e aperfeiçoadas na busca do estudo e da descrição dos fenômenos.

Não escreva no livro.

10. Existem cinco raias na figura, relacionadas à frequência da luz emitida pelo átomo de hidrogênio quando o elétron decai de um estado mais energético para um de menor energia.

ATIVIDADES

1. a) Os átomos de hidrogênio fazem uma ligação covalente, gerando a molécula de hidrogênio.
b) O modelo atômico é o modelo atômico de Rutherford, porque considera os elétrons separados do núcleo atômico.

1 Na Química, uma das maneiras de representar a interação entre dois átomos é esta:

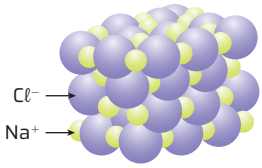
H [• •] H

a) Descreva o que essa representação mostra em relação aos elétrons.

b) Identifique o modelo de átomo utilizado nela.

2 A fotografia a seguir é de cristais de sal de cozinha ($NaC\ell$), e o modelo ao lado dela, fora de escala e em cores-fantasia, é da estrutura molecular desse sal.

Piotr_malczyk/iStock/Getty Images



Setup Bureau/ID/BR

Identifique e descreva o modelo atômico utilizado no esquema do $NaC\ell$.

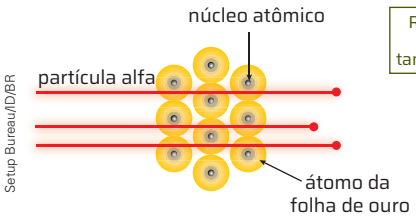
3 Analise se a Química adota um único modelo para elaborar suas explicações. Justifique.

4 O modelo de Rutherford é também descrito como um "modelo planetário do átomo". Dê sua opinião sobre essa afirmação, justificando seus argumentos.

2, **3** e **4.** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 No modelo de Rutherford, o núcleo do átomo poderia ser considerado negativo? Justifique com base nos resultados do experimento de Rutherford. Essas partículas sofreram desvios muito significativos, que só poderiam existir sob uma repulsão do núcleo atômico de ouro, portanto, o núcleo poderia ser positivo e não negativo.

6 Um resultado observado no experimento de Rutherford foi que algumas partículas atravessavam o alvo sem sofrer nenhum desvio em relação ao feixe inicial.



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanhos e distâncias.

Representação do resultado experimental de Rutherford. Cores-fantasia.

Explique o que esse resultado experimental evidencia a respeito da estrutura do átomo. **6.** Esse resultado evidencia que existe um espaço vazio entre os elétrons e o núcleo atômico, caminho pelo qual passaram as partículas alfa sem sofrer desvio.

7 A experiência de Rutherford esclareceu dúvidas sobre o peso de diferentes substâncias. Explique por que um átomo de prata pesa cerca de 137 vezes mais que um átomo de hidrogênio, embora o átomo de prata não seja 137 vezes maior que o de hidrogênio.

7 e **9.** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 Explique o sentido da frase: "A matéria é feita em grande parte de espaços vazios".

9 Faça uma síntese dos limites do modelo de átomo proposto por Bohr.

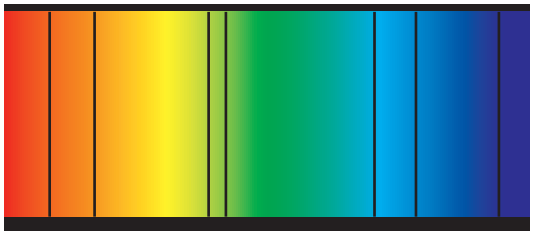
8. Existe grande distância entre os elétrons e o núcleo no que diz respeito ao tamanho dessas partículas. Por isso, dentro do átomo existe mais espaço vazio do que a própria matéria (elétrons, prótons e nêutrons).

10 A figura a seguir representa o espectro de emissão do hidrogênio na região do espectro visível.

Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Indique quantas raias há na figura e a que grandeza física elas estão relacionadas. **11.** Existem sete raias de absorção. As diferentes posições que ocupam são resultado da absorção de determinadas frequências da luz pelos elétrons dos átomos de hélio.

11 Observe o espectro de absorção do gás hélio.


Setup Bureau/ID/BR

Indique quantas raias há no espectro e explique a que se devem as diferentes posições que ocupam.

12 Observe o diagrama de energia representado na página 340 e faça o que se pede.

a) Descreva o que ocorre com a energia dos níveis eletrônicos quando o número *n* torna-se muito grande. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Explique o que ocorre com um elétron do nível fundamental quando um fóton de 13,54 eV é absorvido. O elétron vai ocupar uma camada muito distante do núcleo atômico, ou seja, esse elétron escapará do átomo.

13 Observe as figuras a seguir.

13. a) Na figura **2** o elétron está ganhando a energia do fóton, e na figura **1** está perdendo energia.

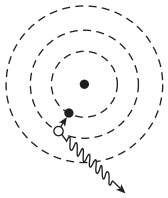


Figura 1

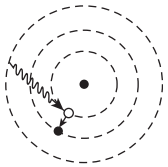


Figura 2

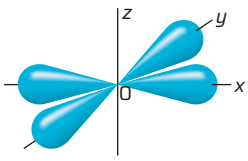
Ilustrações: ID/BR

13. b) Sim. Veja complemento da resposta em *Resposta e comentários* no Manual do Professor.

a) Identifique em qual figura o elétron está perdendo energia e em qual está ganhando.

b) Na figura **2**, o elétron poderia emitir um fóton? Justifique sua resposta.

14 A figura ao lado é uma possível representação de um átomo de hidrogênio com seu orbital formado por quatro lóbulos.



Setup Bureau/ID/BR

a) Aponte o número de dimensões dessa representação. São três dimensões: *x*, *y* e *z*.

b) Localize o núcleo do átomo, descrevendo como ele está representado. O núcleo está no cruzamento dos três eixos, ponto (0, 0, 0).

c) Explique a localização do elétron. A região de probabilidade da localização do elétron está representada em azul.

CAPÍTULO 2 CAPÍTULO 2 CAPÍTULO 2

FÍSICA QUÂNTICA

1. Os estudantes podem supor que existem diferentes forças atuando sobre as partículas do feixe. As trajetórias ocorrem porque há, no feixe, partículas eletricamente carregadas (positivas e negativas) e partículas neutras.
2. Resposta pessoal. Um *quantum* de energia é a menor quantidade de energia que pode ser absorvida ou emitida.

PARA COMEÇAR

1. Com argumentos da Física, tente explicar por que as partículas que compõem o átomo descrevem diferentes trajetórias.
2. Você conhece o termo *quantum*? Se sim, qual a relação desse termo com o estudo dos átomos?

FENÔMENOS ATÔMICOS

A câmara de bolhas é um dispositivo usado em experimentos de Física e consiste em uma caixa transparente cheia de vapor saturado, onde se formam rastros de bolhas quando as partículas passam.

A imagem a seguir mostra as trajetórias de partículas atômicas e subatômicas fotografadas em uma câmara de bolhas ao interagir com um campo magnético perpendicular ao plano da imagem. Cada trajetória apresenta características específicas, como ser retilínea ou curvilínea, e permite a identificação dos componentes da estrutura atômica.

Os experimentos realizados em câmaras de bolha aprofundaram as discussões sobre questões da Física de partículas e da Física Quântica.

Registro de um experimento com feixe de partículas interagindo em um meio superaquecido, parcialmente líquido e parcialmente gasoso, em um detector conhecido como câmara de bolhas.

Goronwy Tudor Jones, Universidade de Birmingham/SPL/Fotoarena

Não escreva no livro.

O TRABALHO DE PLANCK

No final do século XIX, acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos conhecidos. Segundo alguns cientistas da época, restavam apenas alguns "poucos problemas a resolver". Contudo, para explicar esses problemas, a Física Clássica teve de ser "complementada" por outro corpo teórico, cujos princípios eram bem diferentes dos postulados até então.

Essas mudanças levaram ao desenvolvimento da Física Quântica e transformaram os conceitos da Física Clássica, redefinindo aqueles já estabelecidos, como energia, posição e momento.

Ao observar um carvão em brasa ou um pedaço de metal muito quente, podemos ver uma luz sendo emitida. Essa luz é a emissão de radiação eletromagnética por um corpo devido a sua temperatura. Todo corpo emite radiação eletromagnética em um espectro contínuo característico. Quando essa radiação depende apenas da temperatura é chamada de **radiação de corpo negro**.

Corpo negro é o nome que se dá a um corpo idealizado que absorve toda a radiação incidente sem proporcionar nenhuma reflexão. Na prática, não existe um corpo negro perfeito, mas alguns objetos podem ter comportamento aproximado – por exemplo, uma pequena abertura em um cilindro de carvão muito quente.

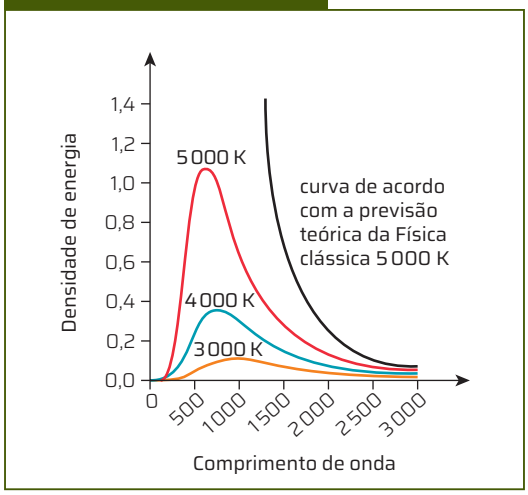
O gráfico da radiação de corpo negro mostra que a curva experimental para grandes comprimentos de onda se aproxima da previsão teórica. Porém, para comprimentos de onda menores, a teoria clássica traz uma divergência entre os resultados previstos e os que foram observados. Enquanto a teoria previa que a densidade de energia da radiação tenderia ao infinito, experimentalmente observou-se o oposto, isto é, a densidade de energia tendeu a zero. Essa diferença era notável na região do comprimento de onda do ultravioleta e, por isso, a discrepância ficou conhecida como **catástrofe do ultravioleta.**

A solução para esse problema foi proposta pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), em 1900. Ele modificou as equações matemáticas que descreviam a radiação do corpo negro, o que resultou em uma aproximação entre as curvas teóricas e experimentais. De início, essas modificações foram vistas como uma nova abordagem matemática, mas com o tempo percebeu-se que elas levaram a novas interpretações dos fenômenos físicos.

Max_grpo/iStock/Getty Images

Objetos submetidos a altas temperaturas emitem radiação eletromagnética visível.

RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO



ID/BR

Gráfico da radiação emitida por um objeto considerado um corpo negro que mostra os resultados experimentais (linhas coloridas) e a previsão teórica da Física Clássica (linha preta).

Fonte de pesquisa: Kotz, J. C.; Treichel, P. M.; Weaver, G. C. *Química geral e reações químicas*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. v. 1. p. 262.

Para o caso do problema do corpo negro, Planck propôs a seguinte interpretação, que pode ser aplicada em outras situações:

A matéria emite radiação eletromagnética cuja energia E é proporcional a um múltiplo da sua frequência de vibração. Matematicamente:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Nessa expressão, n é um número natural (0, 1, 2, 3...), h é a constante de proporcionalidade denominada **constante de Planck** e f é a frequência.

Assim, a matéria só pode absorver ou emitir energia em quantidades específicas. A energia passou a ser considerada uma grandeza discreta, proporcional a números inteiros, em vez de contínua, que se manifesta em forma de pacotes de uma quantidade definida, que foi chamada ***quantum*** (plural: *quanta*).

A solução de Planck para o problema do corpo negro é considerada o marco inicial da história da Física Quântica.

DE OLHO NO CONCEITO

Comprimento de onda (λ)

É a distância entre dois pontos consecutivos em mesma fase de uma onda, como entre duas cristas ou dois vales adjacentes.

Frequência (*f*)

É o número de ciclos completos de uma onda em um determinado período de tempo. No vácuo, as ondas eletromagnéticas propagam-se na velocidade da luz (c), em que:

$$c = \lambda \cdot f$$

O EFEITO FOTOELÉTRICO

Em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) verificou que uma placa de metal eletricamente neutra adquiria carga positiva quando atingida por luz de alta frequência. Entretanto, o mesmo não acontecia quando essa placa era atingida por luzes de baixas frequências, como a luz amarela. Sabendo que a placa fica com carga positiva porque perde elétrons, definiu-se:

Efeito fotoelétrico é o fenômeno no qual determinadas substâncias liberam elétrons quando atingidas por radiação eletromagnética.

Era difícil compreender a relação entre o comprimento de onda da radiação e a eletrização – ou não eletrização – da placa metálica. A Física Clássica não fornecia alicerce teórico para explicar os resultados experimentais obtidos.

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs uma explicação para esse fenômeno – trabalho que lhe rendeu o prêmio Nobel. Assumindo a quantização, Einstein sugeriu que a luz é formada por pequenos pacotes de energia. Quando incide sobre a placa, a luz transmite a ela energia necessária para liberar elétrons, tornando o metal carregado positivamente. Para se desprender da placa metálica, o elétron precisa de certa quantidade de energia, fornecida pelo fóton. A energia do fóton depende da frequência da luz incidente, e não de sua intensidade (como era previsto pelas teorias clássicas). Assim, apenas luz acima de determinada frequência é capaz de remover elétrons do metal.

O efeito fotoelétrico, representado na figura, tem as seguintes características.

- Deve existir uma frequência mínima da radiação incidente para que os elétrons sejam emitidos. Com frequências abaixo desse valor, não é possível fazer os elétrons se desprenderem da superfície metálica.
- Luz mais intensa resulta em mais elétrons desprendidos e não mais energéticos. Ou seja, quando os elétrons são emitidos, sua energia cinética é constante, não depende da intensidade da luz incidente.

Com essa abordagem, a radiação eletromagnética ganhou nova compreensão: além de seu caráter ondulatório, passou a incorporar um caráter corpuscular já defendido por alguns estudiosos da Física Clássica, como Isaac Newton. Dessa forma, as ondas eletromagnéticas podem ser consideradas pequenos pacotes de energia, posteriormente chamados de fótons, cuja energia é dada por:

$$E = h \cdot f$$

Nessa equação, h é a constante de Planck e f é a frequência da onda.

A teoria ondulatória previa um intervalo de tempo entre a incidência de luz e a emissão dos elétrons. Quando a luz tivesse baixa intensidade, o elétron deveria acumular energia durante um período antes de se desprender da placa. No entanto, esse intervalo de tempo nunca foi observado, o que contribuiu para que o modelo ondulatório fosse colocado de lado para explicar o efeito fotoelétrico.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Fóton

A maioria dos cientistas, inclusive o próprio Planck, não aceitou de imediato que a luz pudesse ser tratada, ao mesmo tempo, como onda (teoria já amplamente aceita na época) e como partícula sem massa (caso dos fótons). O próprio Einstein chegou a pensar nessa ideia como mero subsídio especulativo e momentâneo.

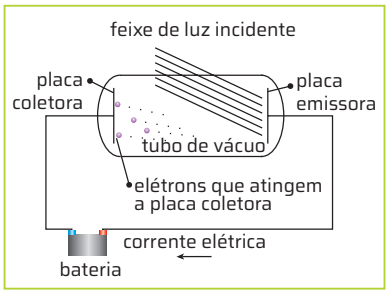
Contudo, novas evidências da quantização da luz e da energia surgiram logo depois, de modo que a teoria passou a ser cada vez mais aceita. Ao final, a própria explicação para o efeito fotoelétrico proposta por Einstein reforçou a solução de Planck para o problema do corpo negro.

1. **Qual é a importância das evidências para a ciência?**

As evidências podem validar ou refutar uma hipótese. As evidências de que a luz se comporta como onda e como partícula validaram o comportamento dual da luz, por exemplo.

Representação sem proporção de tamanhos e distâncias.

ID/BR



Representação do efeito fotoelétrico decorrente da ação do campo elétrico sobre os elétrons emitidos, estabelecendo uma corrente elétrica mensurável. Cores-fantasia.

AÇÃO E CIDADANIA

Múltiplos usos das células fotoelétricas

A descoberta do efeito fotoelétrico possibilitou a construção de aparelhos dotados de células fotoelétricas, nas quais a energia da luz é transformada em corrente elétrica. Em alguns casos, essas células são utilizadas na automatização de equipamentos (desde o acendimento de lâmpadas até máquinas industriais).

Alguns desses usos foram fundamentais para a segurança no mundo do trabalho, como para interromper o funcionamento de uma máquina industrial caso o trabalhador esteja em risco.

1. **Você conhece equipamentos como os descritos? Que benefícios o uso deles pode trazer?**

Respostas pessoais. Os estudantes podem citar como benefícios a economia de energia elétrica e a segurança.

ROTEIRO

1. **A constante de Planck é igual a $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J · s. Calcule a energia do fóton correspondente a um comprimento de onda de 700 nm.** $2{,}83 \cdot 10^{-19}$ J

Não escreva no livro.

Investigando o funcionamento de uma célula fotovoltaica

As células fotovoltaicas funcionam de forma semelhante às fotoelétricas, pois ambas envolvem a interação da luz com materiais para liberar elétrons. Porém, as células fotovoltaicas convertem a energia dos fótons em energia elétrica, o que possibilita o funcionamento de aparelhos eletrônicos sem que estejam conectados a tomadas.

No caso da calculadora retratada na foto, podemos dizer, de modo simplificado, que os fótons atingem a célula fotovoltaica desse aparelho e removem elétrons de seus átomos, fornecendo a esses elétrons energia suficiente para que ocorra sua transferência da célula para um semicondutor. Será que esse tipo de calculadora funciona se for iluminada com qualquer cor de luz? Nesta atividade, vamos verificar isso.

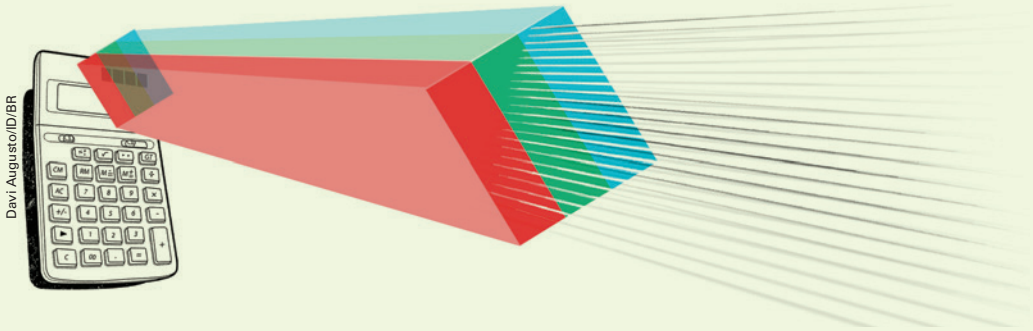
As calculadoras que funcionam com energia solar têm uma espécie de barra marrom na parte superior, onde estão as células fotovoltaicas.

Material

- calculadora que funcione com energia luminosa, com célula fotovoltaica
- tiras de papel-celofane de várias cores (no mínimo, três cores diferentes)

Como fazer

1. Seguindo a orientação do(a) professor(a), organizem-se em grupos. Levem a calculadora para um ambiente bem iluminado (de preferência com luz solar direta).
2. Escolham um dos pedaços de papel-celofane e, com ele, cubram completamente o sensor fotovoltaico da calculadora. Exponham a calculadora à luz. Com isso, a luz do ambiente é filtrada na cor do papel-celofane. Verifiquem se a calculadora continua funcionando com o sensor coberto pelo celofane na cor que escolheram.
3. Repitam o passo **2** usando pedaços de celofane de outras cores.



4. Registrem, em uma tabela, com quais cores de papel-celofane a calculadora funcionou e com quais ela não funcionou. Vejam, a seguir, um modelo de tabela.

Cor	Calculadora funciona	Calculadora não funciona
//	//	//
//	//	//

Para concluir

1 **Analisem a tabela com os resultados do experimento e justifiquem esses resultados de acordo com a teoria quântica.**

1. Resposta pessoal. Em um dia muito ensolarado, é possível que a calculadora funcione com qualquer cor de luz, pois a luminosidade será suficiente para gerar a corrente elétrica necessária. Nesse caso, peça aos estudantes que repitam o experimento em um ambiente iluminado artificialmente, como a sala de aula. Eles também podem realizar o experimento utilizando, em um ambiente escurecido, lâmpadas de mesma potência e diferentes cores, todas elas colocadas a mesma distância (> 10 cm) das células fotoelétricas da calculadora. Como justificativa, os estudantes devem apontar que existem frequências de onda com mais energia ou menos energia.

2. A teoria clássica não explicava a geração de corrente elétrica pela interação da luz com a matéria. Essa explicação foi dada pela Física Moderna, pelo efeito fotoelétrico.

2 **Justifiquem por que a teoria clássica não é capaz de explicar esses resultados.**

3 **Pesquisem na internet outras aplicações de células fotovoltaicas.**

Exemplos de aplicações de células fotovoltaicas: painéis solares para geração de energia residencial e em locais remotos.

A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

O físico francês Louis de Broglie (1892-1987) contribuiu de maneira significativa para a elaboração da Física Quântica ao fazer proposições teóricas sobre o comportamento da matéria. Ele sugeriu que se a luz, que era entendida como onda, podia apresentar também um comportamento de partícula, então o elétron, que era uma partícula, poderia também apresentar comportamento de onda.

Em 1923, De Boglie apresentou a seguinte equação para calcular o comprimento de onda do elétron em movimento:

$$\lambda = \frac{h}{Q} = \frac{h}{m \cdot v}$$

Nessa equação, λ é o comprimento de onda do elétron em movimento, h é a constante de Planck, Q é a quantidade de movimento do elétron, m é sua massa e v é sua velocidade.

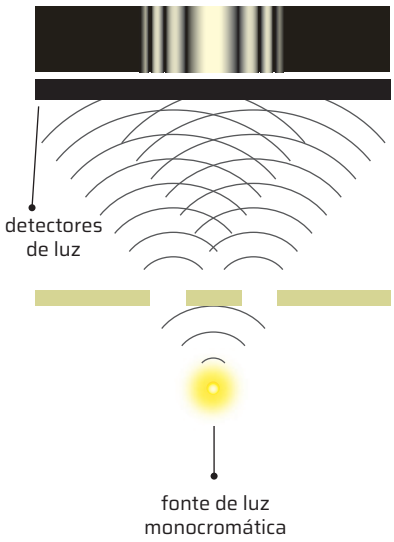
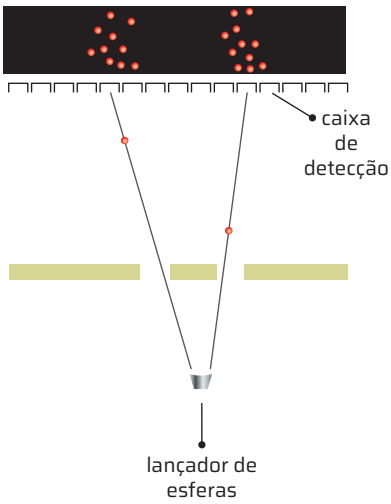
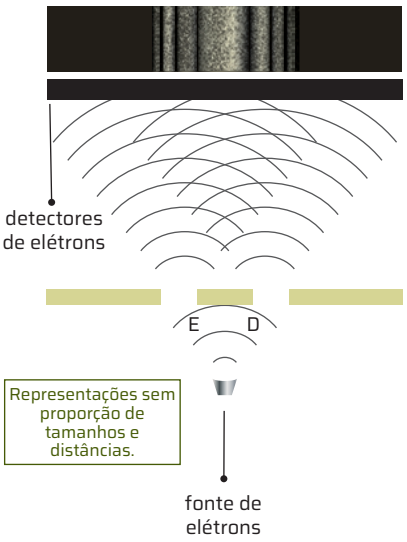
Além disso, De Broglie postulou que a frequência f de cada onda de matéria pode ser calculada pela expressão $f = \frac{E}{h}$, em que E é a energia total e h é a constante de Planck.

A comprovação experimental dessa teoria de De Broglie foi obtida em 1927, tendo por base o experimento da dupla fenda realizado pelo físico e médico britânico Thomas Young (1773-1829), como representado a seguir.

O padrão de duas faixas como mostrado na situação **2**.

ROTEIRO

2. **Supondo que os elétrons se comportassem apenas como partículas, qual seria o padrão observado na tela do experimento de dupla fenda?**

Situação 1: Padrões de interferência de uma onda eletromagnética	Situação 2: Padrões de distribuição de esferas lançadas em experimento de dupla fenda	Situação 3: Padrões de interferência de um feixe de elétrons
		
O experimento de Young consistiu em fazer uma luz monocromática incidir sobre duas fendas próximas. Depois de a luz passar pelas fendas, ocorria interferência. O resultado foi um padrão de linhas paralelas no anteparo. Cores-fantasia.	Empregando um arranjo experimental similar ao de Young, porém com esferas suficientemente pequenas para passar pelas fendas, é obtido um padrão de distribuição das esferas que é diferente do padrão ondulatório da situação **1**. Cores-fantasia.	Por analogia com o experimento de Young, De Broglie propôs que um feixe de partículas também seria difratado ao passar por uma fenda dupla. Os físicos estadunidenses Clinton J. Davisson (1881-1958) e Lester H. Germer (1896-1971), quatro anos depois da proposição de De Broglie, montaram um arranjo experimental similar ao de Young e lançaram um feixe de elétrons sobre as fendas obtendo os padrões de interferência da situação **1**. Cores-fantasia.

Ilustrações: OracicArt/ID/BR

Não escreva no livro.

O PRINCÍPIO DA INCERTEZA

Em 1927, mesmo ano em que se realizava o experimento de dupla fenda com esferas, o físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) desconstruiu mais paradigmas da Física Clássica ao apresentar o **princípio da incerteza**:

> Não é possível determinar ao mesmo tempo a posição e a quantidade de movimento de uma partícula atômica. A expressão que relaciona a incerteza da medida da posição (Δx) e a incerteza da quantidade de movimento (ΔQ) é:
>
> $$\Delta x \cdot \Delta Q \geqslant \frac{h}{4\pi}$$

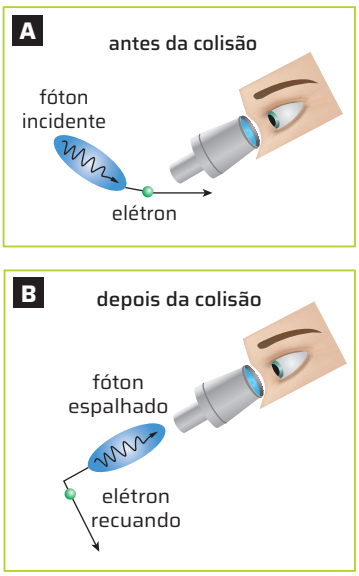
Na Física Clássica, as medidas de posição e de quantidade de movimento apresentam incertezas associadas a fatores como a precisão do equipamento e erros de medidas. As imprecisões podem ser minimizadas ao se adotar procedimentos para melhorar a qualidade de equipamentos e cuidados na coleta de dados.

Na Física Quântica, porém, de acordo com o princípio da incerteza, a indeterminação não pode ser minimizada de nenhuma maneira, já que o simples ato de medir causa uma mudança irreversível no sistema.

Para ilustrar o princípio da incerteza, Heisenberg apresentou um experimento fictício. Supôs que, com um microscópio óptico, seria possível medir a posição e a velocidade de um elétron com exatidão. Porém, para realizar a medição, um fóton deveria colidir no elétron, passar pelas lentes do microscópio e ser visualizado pelo observador (figura **A**). Mas, ao interagir com o elétron, o fóton transfere para ele parte de sua energia, alterando a quantidade de movimento do elétron (figura **B**). Assim, quando se busca localizar o elétron com precisão, há alteração em sua velocidade, aumentando a incerteza na medida.

O princípio da incerteza aprofundou a compreensão da dualidade onda-partícula da matéria, e os físicos concluíram que é possível evidenciar apenas um único desses aspectos em cada experimento realizado. Isto é, o efeito fotoelétrico evidencia somente o comportamento de partícula do fóton e não permite observar seu aspecto ondulatório. O experimento da dupla fenda, por sua vez, evidencia o comportamento ondulatório do elétron, sem que seja observado seu comportamento de partícula. Portanto, na Física Quântica, todos os participantes são ondas e partículas ao mesmo tempo, mas somente uma dessas características pode ser observada em cada situação experimental.

Representações sem proporção de tamanhos e distâncias.



Ilustrações: Setup Bureau/ID/BR

Representação do experimento imaginado por Heisenberg para ilustrar o princípio da incerteza. Um fóton atinge um elétron (figura **A**) e modifica sua velocidade, alterando seu estado inicial; captado pelo observador (figura **B**), este percebe que o fóton tem algumas de suas características modificadas. Assim, a própria observação de um sistema físico altera suas características. Cores-fantasia.

O princípio da correspondência

Ao propor que, dependendo do fenômeno observado, a matéria e a energia podem se comportar como onda e como partícula, a Física Quântica rompeu com o determinismo típico da Física Clássica. Por isso, o princípio da incerteza foi chocante para alguns cientistas da época, acostumados a uma visão absoluta dos fatos. Com o tempo, foi aceito que a compreensão dos fenômenos do mundo atômico exigia uma nova perspectiva.

Outra diferença da Física Clássica para a Quântica está relacionada à questão da causalidade. O modelo de átomo proposto por Niels Bohr refutava a noção de trajetória ao afirmar que um elétron pode estar em qualquer um dos níveis de energia, mas jamais estaria na região entre os níveis de energia.

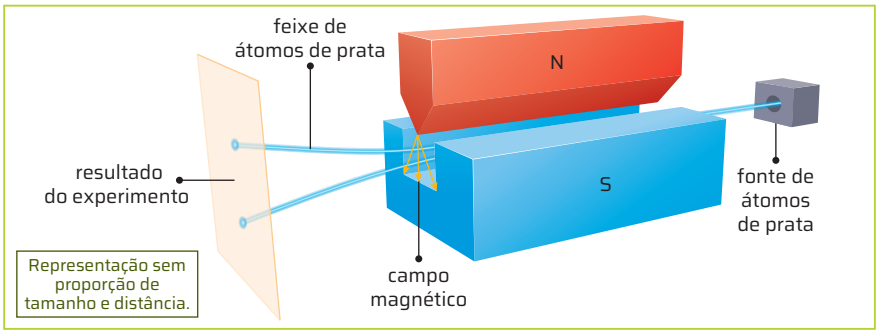
No entanto, não se pode ignorar os avanços conquistados pela Física Clássica e passar a adotar a Física Quântica para todas as situações. Por isso, estabeleceu-se o **princípio da correspondência** entre as duas teorias:

- A natureza dual da matéria só pode ser observada na ordem de grandeza do átomo e de seus constituintes.
- Nas dimensões do átomo, as leis da Física Clássica não conseguem explicar todos os fenômenos; é preciso adotar, então, os conceitos da Física Quântica.

A DESCOBERTA DO *SPIN*

Os princípios da Física Quântica também explicaram os resultados de um experimento de Stern-Gerlach realizado em 1922, que estudou a trajetória de um feixe de átomos ao atravessar um campo magnético não uniforme. Esperava-se que a placa fotográfica usada para registrar a incidência dos átomos mostrasse uma mancha uniforme, já que os átomos, sendo neutros, não deveriam interagir com o campo magnético e se distribuiriam uniformemente na placa. No entanto, a imagem formada foi diferente, apresentando duas manchas distintas de mesma intensidade (figura a seguir).

O experimento foi repetido com feixes de diferentes átomos, e o resultado permaneceu inalterado, indicando que os átomos tinham uma característica de campo magnético que permitia a interação com o campo magnético externo.



Ilustrações: OracicArt/ID/BR

Esquema de experimento que evidenciou a presença do *spin*. Nesse experimento, o campo magnético não é uniforme (pode-se deduzir essa informação pelo formato do ímã). Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Pessoa Jr., O. Experimento de Stern-Gerlach. *In: Conceitos de Física Quântica*: curso de um semestre. [*S. l.*]: e-Disciplinas, 2023. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7683286/mod_resource/content/1/CFQ6a-07.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

De acordo com o eletromagnetismo, uma carga elétrica em movimento gera um campo magnético. Os físicos (considerando o elétron como uma partícula clássica) inicialmente propuseram que, além de girar ao redor do núcleo, o elétron deveria também girar em torno de seu próprio eixo, gerando um campo magnético associado a cada uma das cargas. A esse giro individual do elétron, gerando campo magnético, foi dado o nome de *spin*.

No entanto, um problema persistia. Se o *spin* fosse interpretado como uma rotação física do elétron em torno de si mesmo, a velocidade de rotação necessária seria maior que a velocidade da luz, o que é fisicamente impossível. Esse resultado levou os físicos a concluir que o *spin* é uma característica fundamental do elétron, que não pode ser explicada por modelos clássicos de rotação. Assim, o ***spin*** foi definido como uma propriedade intrínseca do elétron que pode assumir dois estados diferentes: *spin* para cima ou *spin* para baixo.

O campo magnético total gerado pelo elétron no átomo é, portanto, resultado de seu movimento de translação ao redor do núcleo e de seu campo magnético intrínseco, o *spin*.

PARA EXPLORAR

Leia

***Feynman e Gell-Man: luz,* quarks, ação, de Rogério Rosenfeld. São Paulo: Odysseus, 2003 (Coleção Imortais da Ciência).**

O livro apresenta ideias e histórias dos estadunidenses Richard Feynman (1918-1988) e Murray Gell-Mann (1929-2019), dois grandes físicos do século XX diretamente envolvidos na ampliação do conhecimento sobre partículas subatômicas.

A FÍSICA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

A descoberta do nêutron estimulou a construção de um modelo teórico consistente para explicar a massa do núcleo atômico. No entanto, a existência de uma partícula com carga neutra não explicava o fato de as partículas positivas do núcleo não se repelirem a ponto de se separar. Assim, uma pergunta persistia: Como o núcleo atômico se mantém coeso, contendo prótons e nêutrons?

Para responder a essa pergunta, tornou-se necessário rediscutir os tipos de força conhecidos até então. A coesão do núcleo atômico (ou seja, por que os prótons ficam juntos no núcleo atômico mesmo tendo cargas de mesmo sinal) foi explicada pela proposição de uma força chamada **nuclear forte** (ou apenas **força forte**). Essa força tem uma intensidade muito superior à força eletromagnética (que é de repulsão) e à força gravitacional (que é de atração). Outra força, chamada **nuclear fraca** (ou **força fraca**), foi proposta para explicar a transformação de prótons em nêutrons ou de nêutrons em prótons, fenômeno conhecido como decaimento β, a ser estudado adiante.

Não escreva no livro.

A tabela a seguir apresenta a intensidade média das quatro forças fundamentais, tendo como referência a força nuclear forte. Analisando-a, notamos que a força gravitacional é significativamente menos intensa que a força nuclear forte, por exemplo.

Intensidades relativas das interações	
Nuclear forte	1
Eletromagnética	10^{-2}
Nuclear fraca	10^{-14}
Gravitacional	10^{-37}

Tabela comparativa da intensidade dos quatro tipos de interação em que a força nuclear forte é usada como referência.

Cada uma dessas forças tem uma partícula associada, chamada **partícula mediadora da interação** e classificada como **bóson**. No caso da força nuclear forte, os bósons são chamados **glúons**; no da força nuclear fraca, os bósons são chamados W^+, W^- e Z^0. Os mediadores da força eletromagnética são os **fótons**, e os da força gravitacional são os **grávitons**, partícula hipotética que ainda não foi detectada experimentalmente. Outro bóson, que foi descoberto em 2012, é o bóson de Higgs, partícula responsável por transferir massa para as outras partículas.

Para ilustrar como as descobertas de partículas elementares e partículas mediadoras acontecem, vamos conhecer a história da partícula méson π, ou píon, proposta pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981) em 1934. Com base em cálculos teóricos, ele evidenciou que alguma partícula seria emitida e absorvida por prótons e nêutrons e seria responsável pela atração de curto alcance entre elas, e, com isso, explicava-se a estabilidade nuclear. Por ter massa intermediária entre a do elétron e a do próton, essa partícula recebeu o nome de méson, mais especificamente de méson π. A dificuldade em detectar essa partícula devia-se ao fato de ela só existir durante um período muito curto, porque sua desintegração fora do núcleo atômico ocorre depois de apenas cerca de 1 bilionésimo de segundo.

Por volta de 1937, ao fazerem pesquisas com raios cósmicos, os físicos estadunidenses Carl Anderson (1905-1991) e Seth H. Neddermeyer (1907-1988) encontraram uma partícula que parecia ser aquela proposta por Yukawa. Contudo, experimentos seguintes mostraram que se tratava de outra partícula, chamada **múon**. A partícula de Yukawa, o méson π, só foi detectada em 1947, pelo físico brasileiro César Lattes (1924-2005) e seu grupo de pesquisa.

Colidir para descobrir

Alguns dos equipamentos mais utilizados na busca por novas partículas subatômicas são os aceleradores de partículas. Eles apresentam percursos com alto vácuo, onde feixes de partículas são lançados e acelerados por diferença de potencial ou por um campo magnético. Quando os feixes atingem uma velocidade extremamente alta, próxima à da velocidade da luz, as partículas são colocadas em rotas de colisão com outras partículas ou com sólidos para que, literalmente, se quebrem em pedaços menores.

Assim, são investigadas as partes que compõem as partículas do feixe inicial ou o sólido usados como alvo. As colisões servem, por exemplo, para obter a composição química de objetos sólidos.

Sirius: acelerador de partículas brasileiro

FÍSICA E HISTÓRIA

Descoberta do bóson de Higgs

A detecção da partícula chamada bóson de Higgs foi um marco na história da ciência.

Em 4 de julho de 2012, os pesquisadores do Grande Colisor de Hádrons anunciaram ter encontrado a última peça de um quebra-cabeça que estava incompleto havia 48 anos.

[...] A "peça" que ele descobriu é uma partícula do mundo subatômico e um dos blocos elementares que compõem tudo o que conhecemos.

Essa peça é chamada de bóson de Higgs, e a comprovação da sua existência é uma das maiores conquistas da Física moderna.

Com a descoberta do bóson de Higgs, completou-se o modelo-padrão, que descreve o conjunto de partículas elementares que compõem tudo o que conhecemos e as forças que interagem entre elas.

Mas essa descoberta teve origem décadas antes, nos anos 1960.

A façanha do Grande Colisor de Hádrons foi uma aventura que começou em 1964, quando Higgs publicou uma teoria que previa a existência do bóson.

QUEM foi Peter Higgs, físico britânico que criou teoria da "partícula de Deus" e mudou [a] compreensão do Universo. *BBC News*, 9 abr. 2024. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/articles/cx7dngz5l4jo. Acesso em: 24 set. 2024.

Belish/Shutterstock.com/ID/BR

Foto de uma parte do Grande Colisor de Hádrons (Large Hadron Collider, em inglês), no CERN, em 25 junho de 2019.

1. Com base no que é exposto no texto e em seu conhecimento sobre as mudanças na sociedade nos últimos 50 anos, comente por que foram necessários tantos anos para a descoberta experimental do bóson de Higgs.

1. Para a descoberta do bóson de Higgs foi necessária uma tecnologia avançada, como o LHC. Nos últimos 50 anos, houve muitos avanços técnicos na área de análise de dados, recursos computacionais e colaborações internacionais.

Modelo-padrão

A teoria que descreve as partículas fundamentais e suas interações é chamada de modelo-padrão. Nesse modelo, as partículas são separadas em dois grupos: férmions e bósons. Os **férmions** são partículas constituintes da matéria e são classificados em: seis tipos de ***quarks***, os quais compõem os hádrons, partículas mais pesadas e maciças, como prótons, nêutrons e mésons; e os **léptons**, partículas leves e indivisíveis, como os elétrons. Os **bósons**, partículas sem massa, mediadoras das interações entre *quarks* e léptons, são: os fótons (γ), mediadores da força eletromagnética; glúons (g) mediadores da força nuclear forte; bósons W^+, W^- e Z^0, mediadores da força nuclear fraca; e o bóson de Higgs (H), responsável por atribuir massa às partículas.

Para cada *quark* e cada lépton, existe uma antipartícula, idêntica à partícula em todos os aspectos, como massa e energia, mas com carga de sinal oposto.

Quark (*antiquark*)	Símbolo	Carga elétrica
up (*antiup*)	u ($\bar{u}$)	$+\frac{2}{3}e$ $\left(-\frac{2}{3}e\right)$
down (*antidown*)	d ($\bar{d}$)	$-\frac{1}{3}e$ $\left(+\frac{1}{3}e\right)$
charm (*anticharm*)	c ($\bar{c}$)	$+\frac{2}{3}e$ $\left(-\frac{2}{3}e\right)$
strange (*antistrange*)	s ($\bar{s}$)	$-\frac{1}{3}e$ $\left(+\frac{1}{3}e\right)$
top (*antitop*)	t ($\bar{t}$)	$+\frac{2}{3}e$ $\left(-\frac{2}{3}e\right)$
bottom (*antibottom*)	b ($\bar{b}$)	$-\frac{1}{3}e$ $\left(+\frac{1}{3}e\right)$

Quarks e léptons

Os *quarks* são organizados em três pares. O par de *quarks* com menor massa é o *up* e *down*, e o par com maior massa é o *top* e *bottom*; o outro par é composto dos *quarks charm* e *strange*. Uma característica dessas partículas é que elas não podem ser observadas isoladamente, ou seja, elas apenas são observadas quando formam os hádrons. A tabela dos *quarks* apresenta suas cargas fracionárias.

Os léptons podem ser de dois tipos: com carga elétrica e sem carga elétrica. O elétron, o múon (μ) e o tau (τ) possuem carga, sendo que o elétron tem massa bem menor que a dos outros dois. Os neutrinos (ν) têm carga elétrica nula e pequena massa. Essas informações estão organizadas na tabela dos léptons.

Léptons	Símbolo	Carga	Massa (1 para o próton)
Elétron	e^-	$-e$	$\sim\frac{1}{2000}$
Antielétron (pósitron)	e^+	$+e$	$\sim\frac{1}{2000}$
Múon	μ^-	$-e$	$\frac{1}{9}$
Antimúon	μ^+	$+e$	$\frac{1}{9}$
Tau	τ^-	$-e$	$\sim 1{,}9$
Antitau	τ^+	$+e$	$\sim 1{,}9$
Neutrinos	ν_e	0	0
	ν_μ	0	0
	ν_τ	0	$< 0{,}07$
Antineutrinos	$\bar{\nu}_e$	0	0
	$\bar{\nu}_\mu$	0	0
	$\bar{\nu}_\tau$	0	$< 0{,}07$

Hádrons

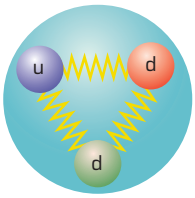
Uma propriedade comum aos hádrons é a de apresentarem cargas elétricas inteiras, porque são combinação de *quarks*, com cargas elétricas individuais fracionárias. Os hádrons são classificados em: bárions e mésons. Os bárions são partículas formadas por três *quarks* – caso do próton e do nêutron. Os mésons são partículas instáveis, por serem constituídas de um *quark* e de um *antiquark*, como o píon (π). O mésons kaon (K^+) também é chamado de *strange*, por ter um *quark* estranho em sua composição.

A carga elétrica, a composição e a classificação dos hádrons estão descritas na tabela a seguir.

	Nome (símbolo)	Constituição em função dos *quarks up* (*u*) e *down* (*d*) e suas antipartículas	Carga elétrica	Massa (1 para o próton)
Bárions	Próton (p)	2 u e 1 d	$+e$	1
	Antipróton ($\bar{p}$)	2 $\bar{u}$ e 1 $\bar{d}$	$-e$	1
	Nêutron (n)	1 u e 2 d	0	1
	Antinêutron ($\bar{u}$)	1 $\bar{u}$ e 2 $\bar{d}$	0	1
Mésons	Píons (π^{+0})	1 u e 1 $\bar{d}$	$+e$	$\frac{1}{7}$
		1 u e 1 $\bar{u}$	0	$\frac{1}{7}$
	(π^-)	1 d e 1 $\bar{u}$	$-e$	$\frac{1}{7}$

ROTEIRO

3. A figura a seguir representa a constituição de um nêutron, com três *quarks* no interior.



ID/BR

Identifique os *quarks* que constituem esse nêutron.

O nêutron é formado por um *quark up* e dois *quarks down*.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

ILUMINAÇÃO LED: PRINCIPAIS BENEFÍCIOS

2. As lâmpadas de LED têm melhor eficiência energética, pois produzem mais lúmens por watt consumido e, consequentemente, são mais econômicas. Essa economia gera menos impactos ambientais devido à redução da demanda por energia elétrica e de seus respectivos impactos no processo de geração. Além disso, essas lâmpadas não emitem radiação UV nem apresentam vapor de mercúrio, tóxico se descartado irregularmente.

Os diodos emissores de luz ou LED [Light Emitting Diode, na sigla em inglês] são conhecidos há mais de meio século e têm sido usados em uma infinidade de aplicações simples, como mostradores luminosos e indicadores de *status*. No entanto, a partir das inovações tecnológicas recentes, como a descoberta do LED emissor de luz azul e o aumento da vida útil das lâmpadas desse tipo, e da queda persistente do custo desses componentes eletrônicos, a tecnologia passa a ser considerada uma forte substituta das soluções utilizadas na iluminação em geral. [...]

Os LED são dispositivos semicondutores que emitem luz por eletroluminescência (passagem de corrente elétrica). Essa característica os difere das fontes de luz tradicionais. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, requerem um filamento aquecido para emitir luz; as fluorescentes produzem luz a partir da descarga elétrica no gás – vapor de mercúrio – que emite luz ultravioleta; esta provoca a excitação do fósforo que reveste internamente as lâmpadas [...]. A complexa infraestrutura industrial requerida para a produção das lâmpadas convencionais, como o bulbo contendo gases e/ou camadas protetoras e substâncias tóxicas (mercúrio, chumbo, etc.), criou, historicamente, elevadas barreiras de entrada no setor de iluminação. Tal situação não se verifica na tecnologia LED, na qual fabricantes de equipamentos eletrônicos se tornam elegíveis a fabricar lâmpadas, módulos e luminárias. O[s] LED oferece[m] vantagens absolutas de desempenho quando comparado[s] às demais tecnologias de iluminação [...]:

Eficiência energética: produz[em] mais luz (lúmens) por watt consumido, levando à economia de energia – de 50% a 80% – quando comparado[s] a tecnologias tradicionais, resultando em redução de custo e de emissões de carbono. Nas lâmpadas incandescentes, mais de 90% da energia elétrica é desperdiçada em forma de calor (radiação infravermelha) [...].

Economia de custos: redução da demanda de energia, proteção contra elevação de preços, menor custo de manutenção e de inspeção. Com isso, o custo total de propriedade [...] é reduzido.

Controlabilidade: ajuste dinâmico (dimerização) [...] [do] espectro de cor da luz, [da] intensidade e direção permite novos projetos de sistemas de iluminação.

Segurança: LED oferecem visibilidade superior nos ambientes, bem como reduzem a poluição visual.

Tempo de vida: LED são construídos para terem durabilidade estimada em até cem mil horas de uso. Quanto à durabilidade dos produtos, estima-se menor tempo de vida (iluminação pública, cinquenta mil horas; e aplicação geral, 25 mil horas) em função do módulo eletrônico empregado.

Rapidez para ligar/desligar: LED têm muita rapidez no acionamento e, por isso, são ideais para uso, por exemplo, em automóveis.

Proteção ao meio ambiente: LED não emitem radiação UV e não contêm mercúrio, substância tóxica encontrada principalmente nas lâmpadas de descarga de alta pressão de vapor de mercúrio e, em menor quantidade, nas fluorescentes e fluorescentes compactas. A energia consumida é o fator de maior impacto ambiental durante o ciclo de vida das lâmpadas – período entre a fabricação, utilização [...] [e] fim de vida (descarte) [...]. Ademais, a fase de produção das lâmpadas mencionadas (incandescentes, CFL e LED) é insignificante quando comparada à de fabricação, visto que utiliza cerca de 2% do total de energia demandada. Essa é a razão pela qual, mesmo não contendo materiais tóxicos, as lâmpadas incandescentes geram maior impacto ambiental em comparação com as CFL e as LED [...].

ILUMINAÇÃO LED: principais benefícios. BNDES, Rio de Janeiro, 6 jan. 2017. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/iluminacao-led. Acesso em: 25 set. 2024.

3. Resposta pessoal. Os estudantes podem mencionar que, embora o custo inicial seja maior, ao longo do tempo, a economia na conta de luz pode compensar o investimento. Além disso, podem citar a redução do impacto ambiental tanto no consumo de energia elétrica quanto no processo de produção das lâmpadas.

Para discutir

1 Considerando os aspectos físico-químicos, quais são as diferenças entre as lâmpadas de LED e os outros tipos de lâmpada citados no texto?

Enquanto as lâmpadas de LED têm semicondutores que emitem luz por eletroluminescência, as lâmpadas incandescentes requerem um filamento aquecido para emitir luz e as lâmpadas fluorescentes produzem luz a partir da descarga de vapor de mercúrio, emitindo luz ultravioleta.

2 De acordo com o texto, por que as lâmpadas de LED são mais eficientes que as lâmpadas fluorescentes? Como essa eficiência econômica está relacionada a menores impactos ambientais?

3 Lâmpadas de LED utilizadas em residências costumam ser mais caras que as lâmpadas fluorescentes. Dados os fatores do texto, qual é sua opinião sobre a economia gerada em longo prazo?

4 Você conhece outros materiais ou tecnologias do cotidiano que usam semicondutores? Pesquise aplicações no dia a dia, como na tecnologia da informação, e discuta-as com os colegas.

Resposta pessoal. Com base nas pesquisas, promova uma discussão sobre as relações entre conceitos científicos e o desenvolvimento de tecnologias utilizadas no dia a dia.

Não escreva no livro.

9. As antipartículas têm cargas elétricas opostas às das partículas. Então, se um átomo fosse formado por antipartícula, o núcleo seria negativo, e a eletrosfera, positiva.

ATIVIDADES

4. b) A imprecisão na posição do próton é muito maior que o tamanho do próton; isso nos informa uma região que ele pode ocupar, e não sua posição determinística.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Um elétron de massa $9{,}0 \cdot 10^{-31}$ kg se move com uma velocidade igual a 100 m/s. A precisão na medida de velocidade é igual a 0,01%.**

- Partindo do princípio da incerteza, calcule a imprecisão associada à posição do elétron.

Resolução

Massa do elétron: $m_e = 9{,}0 \cdot 10^{-31}$ kg

Velocidade do elétron: $v = 100$ m/s

Erro associado à velocidade do elétron:

$0{,}01\% = 0{,}0001 = 10^{-4}$

Constante de Planck: $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ J · s

O princípio da incerteza é: $\Delta x \cdot \Delta Q \geqslant \frac{h}{4\pi}$.

Inicialmente, calcula-se a quantidade de movimento: $Q = m \cdot v$

Substituindo os valores:

$Q = 9{,}0 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{2} = 9{,}0 \cdot 10^{-29}$ kg · m/s

Em seguida, determina-se o erro associado à medida da quantidade de movimento:

$\Delta Q = 9{,}0 \cdot 10^{-29} \cdot 10^{-4} \Rightarrow \Delta Q = 9{,}0 \cdot 10^{-33}$ kg · m/s

Substituindo esse valor na equação do princípio da incerteza, tem-se:

$$\Delta x \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-33} \geqslant \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{4\pi}$$

$$\Delta x \geqslant \frac{5{,}25 \cdot 10^{-35}}{9{,}0 \cdot 10^{-33}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta x \geqslant \frac{5{,}25}{9{,}0} \cdot \frac{10^{-35}}{10^{-33}} \Rightarrow \Delta x \geqslant 0{,}006 \text{ m}$$

Assim, a incerteza da posição do elétron é da ordem de 6 mm.

2 **Com relação ao comprimento de onda de De Broglie, responda às questões a seguir.**

a) Considerando que um próton e um elétron se deslocam com mesma velocidade, verifique qual terá maior comprimento de onda e qual terá maior frequência. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Explique o que pode acarretar diferenças nos comprimentos de onda de uma partícula. A variação da massa ou da velocidade.

3 **Ainda sobre o comprimento de onda de De Broglie, faça o que se pede.**

Dado: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.

a) Calcule o comprimento de onda de uma pedra de 1 kg que é arremessada com velocidade igual a 100 m/s. $6{,}63 \cdot 10^{-36}$ m

b) Julgue se esse comprimento de onda pode ser evidenciado por meio do experimento de duas fendas, justificando sua resposta.

c) Escreva uma afirmativa discutindo o comprimento de onda associado a corpos macroscópicos.

4 **Sobre o princípio da incerteza, responda às questões a seguir.**

a) Um próton de massa $1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg se move com velocidade igual a 1000 m/s. A precisão na medida de velocidade é igual a 0,01%. Partindo do princípio da incerteza, calcule a imprecisão associada à posição do próton. $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ m

Dado: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.

b) Avalie o resultado obtido, comparando-o com o tamanho do próton.

5 **Calcule o comprimento de onda de um próton com massa igual a $1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg e que se move com velocidade igual a 100 m/s.** $4{,}14 \cdot 10^{-9}$ m

Dado: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s.

6 **Identifique as situações em que a incerteza associada à posição e ao momento tem um valor significativo.**

a) Um grão de arroz caindo da mesa.

b) Um grão de poeira flutuando no ar.

c) Uma molécula de água em estado gasoso.

d) Uma célula da pele humana observada ao microscópio eletrônico.

e) Duas partículas alfa chocando-se.

f) Uma molécula de gás hidrogênio em movimento no ar.

6. O princípio da incerteza é aplicável em situações que envolvam velocidades altas e/ou massas pequenas (para átomos ou moléculas), o que encontramos nas alternativas **c**, **e** e **f**.

7 **O princípio da incerteza manifesta-se em outros pares de grandezas, além da posição e da quantidade de movimento. Por exemplo, existe uma incerteza associada à medida da energia e do tempo:** $\Delta E \cdot \Delta t \geqslant \frac{h}{4\pi}$.

- Considerando essa afirmação e sabendo que o tempo médio entre a absorção e a emissão de um fóton por um átomo é cerca de 10^{-8} s, calcule a incerteza na determinação da energia do fóton emitido.

Dado: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s. $5{,}27 \cdot 10^{-27}$ J

8 **Resolva as questões, considerando a equação do comprimento de onda formulada por De Broglie.**

a) Um próton e um elétron deslocam-se com a mesma velocidade. Analise qual terá maior comprimento de onda e qual terá maior frequência. Considere a seguinte relação entre a massa do próton e a do elétron: **a)** e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

$$\frac{m_p}{m_e} = 1840.$$

b) Explique o que pode acarretar diferenças nos comprimentos de onda de uma partícula.

9 **Descreva como seriam os sinais das cargas presentes no núcleo e na eletrosfera de um átomo formado por antipartículas.**

3. b) Não. Para haver difração, a largura da fenda deve ser da ordem de grandeza do comprimento de onda, que, nesse caso, é muito pequena.
c) Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Não escreva no livro.

1. Resposta pessoal. Os exames médicos mais conhecidos que utilizam material radioativo são radiografia, cintilografia óssea, gamagrafia com gálio, tomografia por emissão de pósitrons (PET *scan*) e gamagrafia de tireoide.

FÍSICA NUCLEAR

2. Resposta pessoal. O estudante pode responder que podem causar algum efeito colateral, mas que são irrelevantes pelo benefício do exame. Os cálculos de dose são muito precisos, por isso, o corpo humano não se torna radioativo nem sofre lesões pela exposição aos equipamentos em funcionamento ou pela ingestão do material radioativo.

MEDICINA NUCLEAR

Embora a Física Nuclear costume ser associada à fabricação de material bélico e a guerras, esse campo da Física está presente em outras áreas, como na medicina nuclear, onde é utilizada para diagnósticos e tratamentos, como na radioterapia, na tomografia por emissão de pósitrons (PET) e em exames de cintilografia, como mostra a foto desta página.

Na cintilografia, o material radioativo é ministrado ao paciente por via oral ou injetado em sua corrente sanguínea. Ao captar as imagens da região do corpo ou do órgão a ser analisado, a absorção, ou não, de material radiativo sinaliza eventuais alterações funcionais que são então analisadas pelo médico para se chegar a um diagnóstico.

A menção ao termo "radioativo" pode causar temor em alguns pacientes. No entanto, exames com materiais radioativos são seguros e não invasivos.

O principal benefício desses exames é que eles podem evidenciar o funcionamento de estruturas do corpo humano e sua anatomia, aspectos que exames que não usam esses materiais nem sempre conseguem mostrar.

PARA COMEÇAR

1. Quais exames médicos você conhece que usam material radioativo?
2. Você acha que há riscos em realizar exames desse tipo? Em caso positivo, quais? Explique sua resposta.

Paciente realizando exame de cintilografia, especialidade da medicina nuclear que usa material radioativo.

Burger/Phanie/AFP

Não escreva no livro.

A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

Os raios X são ondas eletromagnéticas –, fótons emitidos por processos de desaceleração de elétrons de alta energia ou por transições eletrônicas.

A descoberta dos raios X se deu em 1896, com os experimentos realizados com tubos de raios catódicos, pelo físico e engenheiro alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923). Para verificar a existência e os efeitos dos raios X, Röntgen pediu à esposa que deixasse a mão sob a incidência desses raios durante 15 minutos e colocou um filme fotográfico atrás da mão. Ao revelar a imagem, foi possível visualizar os ossos da mão (imagem ao lado). Era, portanto, a descoberta de um modo não invasivo de ver as estruturas internas do corpo.

SPL/Fotoarena

A primeira radiografia da história foi obtida da mão da esposa de Röntgen. Foto de 1895.

Dois meses após esse fato, o físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852-1908) fez experimentos para investigar se existia algum elemento na natureza que emitisse radiação similar à dos raios X de forma espontânea. Os resultados mostraram que o urânio emitia uma radiação invisível e penetrante, diferente da dos raios X, que, depois, foi identificada como radioatividade.

Com o passar do tempo, foram sendo descobertos outros elementos com propriedades semelhantes às do urânio. O tório teve suas propriedades radioativas descobertas, em 1898, pelo químico alemão Gerhard Carl Schmidt (1865-1949) e pela física polonesa Marie S. Curie (1867-1934), que pesquisavam de modo independente. O polônio e o rádio foram descobertos, em 1898, pelo casal Pierre Curie (1859-1906), físico francês, e Marie Curie.

Dessa forma, concluiu-se que a maioria das emissões espontâneas partia do interior do núcleo do átomo, e não da região periférica, onde ficavam os elétrons. A emissão de radiação pelo núcleo é chamada **decaimento** ou **desintegração**, e os elementos que sofrem essa transformação são denominados **radioativos** ou **radioelementos**. Alguns elementos são naturalmente radioativos, como o urânio, e outros tornam-se radioativos quando expostos a estímulos externos.

A radioatividade é frequentemente associada a armas, como a bomba atômica, ou a acidentes, como o da usina de Chernobyl (na Ucrânia, à época uma das repúblicas da União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, a URSS), em 1986, e o de Goiânia (GO), em 1987. No entanto, existem muitas aplicações benéficas da radioatividade: usinas nucleares produzem energia elétrica; na agricultura, a radioatividade serve para melhorar a qualidade de sementes e tratar produtos agrícolas contra pragas; na medicina, em exames e tratamentos.

Em todas essas atividades, com o intuito de minimizar os riscos do uso de materiais radioativos, existem normas rígidas para manuseá-los, aplicadas por pessoas especializadas em uma área conhecida como proteção radiológica.

Radiografias

Na imagem radiográfica, as partes mais claras indicam a presença de tecidos mais densos, como os ossos, e as partes mais escuras indicam tecidos menos densos, como a pele. Isso acontece porque os ossos são menos transparentes à radiação, sensibilizando menos o filme ou o detector digital que registra a imagem. Quanto mais clara a imagem, menor é a quantidade de radiação que atravessou o tecido e chegou até o detector.

PARA EXPLORAR

Acesse

Conheça a medicina nuclear

O *site* da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN) oferece respostas a várias perguntas comuns sobre a medicina nuclear.

Disponível em: https://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/. Acesso em: 25 set. 2024.

Leia

Irradiação, de Murillo Freire Junior e Hélio de Carvalho Vital.

Nesse texto, publicado no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), os autores dão informações sobre o uso da irradiação na agroindústria, destacando os benefícios dessa prática.

Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/tipos-de-processos/irradiacao. Acesso em: 25 set. 2024.

Não escreva no livro.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

O PRÊMIO NOBEL E MADAME CURIE

A construção da Física Moderna contou com a participação de várias mulheres em suas descobertas. A mais famosa delas foi Marie S. Curie, cientista de origem polonesa que, no início do século XX, participou da Primeira Guerra Mundial (1914-1918) instalando equipamentos de raios X nos hospitais das frentes de guerra francesas.

Em 10 de dezembro de 1896, o industrial Alfred Nobel morreu, deixando sua fortuna (em 1867, ele havia patenteado a dinamite) para ser administrada pela Academia sueca, para distribuir prêmios às realizações notáveis em literatura, medicina, física, química e paz. [...] O primeiro Prêmio Nobel de Física foi concedido a Röntgen em 1901. Naquele ano e no próximo, Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel foram indicados por Charles Bouchard, um médico com direito vitalício de indicação, mas o prêmio de Física foi para H. A. Lorentz e Pierre Zeeman, por suas pesquisas na "influência do magnetismo sobre os fenômenos da radiação". Isso foi desapontador, porque Pierre Curie havia estabelecido grande parte da base daqueles estudos. No ano seguinte, num exemplo impressionante do que era ser uma mulher em ciência, um machismo odioso eliminou qualquer pretensão de que Marie Curie viesse a ser aceita em termos de igualdade.

Albert Harlingue/Roger-Viollet/AFP

Marie Curie medindo radioatividade de uma amostra em seu laboratório. Foto feita entre 1896 e 1905.

Quatro cientistas influentes colaboraram em uma carta oficial indicando Pierre Curie e Henri Becquerel para o Prêmio Nobel de Física de 1903. Marie Curie não foi mencionada. A carta continha um relato distorcido da descoberta do polônio e do rádio. Afirmava que aqueles dois homens, competindo com rivais estrangeiros, haviam "trabalhado juntos e separadamente para procurar, com alguma dificuldade, alguns decigramas daquele material precioso". Isso apesar do fato de as descobertas espantosas de Marie Curie serem conhecidas por toda a comunidade científica e de três dos quatro homens que assinaram a carta terem se envolvido no trabalho dela e saberem muito bem a quem cabia o mérito. [...]

Especulou-se que Becquerel influenciara os cientistas para que sua própria participação fosse aumentada na carta. Um membro da comissão de ciência do Nobel, Magnus Costa Mittag-Leffler, matemático famoso e editor-chefe de *Acta Mathematica*, acreditava que as mulheres que faziam ciência não eram devidamente reconhecidas e deplorou a omissão de Marie Curie da carta de indicação. Para sondar o clima, escreveu uma carta particular a Pierre Curie informando-o da situação. Pierre respondeu que, se aquela indicação era real, ele não poderia aceitar o prêmio sem que a comissão do Nobel incluísse Marie Curie. Munido da resposta de Pierre, Mittag-Leffler exerceu sua influência considerável para exigir que o nome de Marie Curie fosse acrescentado à carta de indicação. Certos membros antagônicos da comissão alegaram que aquilo era impossível, pois a carta de indicação havia sido protocolada. Foi aí que Charles Bouchard lembrou à comissão que aquilo não era bem verdade, já que ele havia incluído Marie em suas nomeações para o Prêmio Nobel de 1901 e 1902. Àquela altura, a política da comissão estava tão desmoralizada que enfim o nome de Marie Curie foi acrescentado ao prêmio [...].

GOLDSMITH, B. *Gênio obsessivo*: o mundo interior de Marie Curie. São Paulo: Companhia das Letras, 2006. p. 92-94.

Para discutir **3.** Em 1901, Wilhelm Conrad Röntgen foi agraciado com esse prêmio pela descoberta dos raios X; em 1902, foi a vez de Hendrik Antoon Lorentz e Pieter Zeeman, pela descoberta e pelas pesquisas da pelas influência do magnetismo sobre as radiações.

1 **Quais foram as descobertas realizadas por Pierre e Marie Curie?**
Pierre e Marie Curie foram cientistas pioneiros no estudo com o rádio e o polônio e contribuíram para a compreensão da radioatividade.

2 **As descobertas dos Curie foram realizações experimentais ou teóricas? Justifique.**
Seus estudos foram realizados experimentalmente. Marie Curie faleceu de leucemia, em consequência de exposição ao rádio.

3 **Identifique as outras descobertas que ganharam Prêmio Nobel de Física nos anos 1901 e 1902.**

4 **Em sua opinião, quais desafios as mulheres ainda enfrentam para serem reconhecidas na ciência? Pesquise nomes de cientistas mulheres brasileiras.** A falta de representatividade e a desigualdade de oportunidades. A resposta depende da pesquisa feita pelos estudantes. Eles podem mencionar a física Sonia Guimarães e a psiquiatra Nise da Silveira.

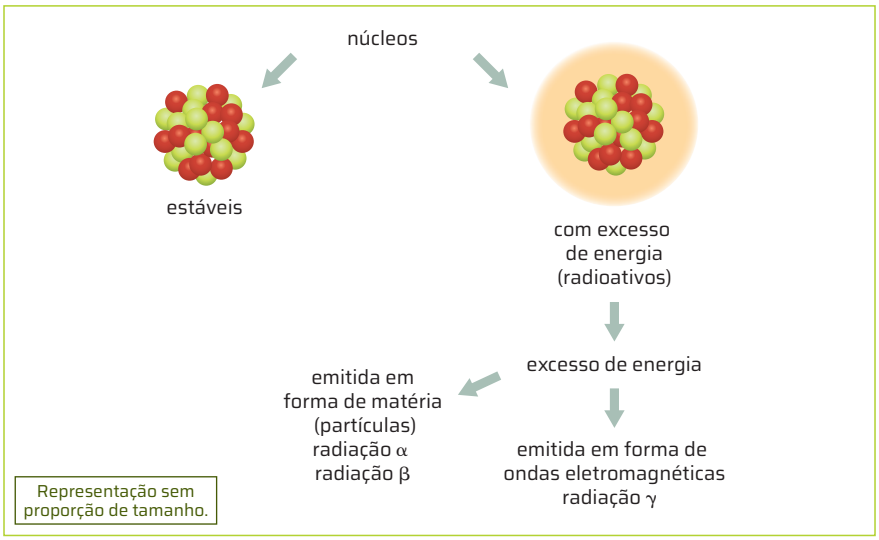
Não escreva no livro.

DECAIMENTO RADIOATIVO

Entre as partículas que compõem o núcleo atômico (os prótons e os nêutrons), ocorrem interações promovidas por três forças: a elétrica, a nuclear forte e a nuclear fraca. As interações nucleares são consideradas forças de curto alcance, pois só agem no interior do núcleo.

Quanto maior for o número de prótons e de nêutrons de um núcleo, maiores serão as interações entre essas partículas. Quando muito pesado, o núcleo pode ficar instável, dependendo da relação entre o número de prótons e nêutrons, e passa a emitir radiação naturalmente, perdendo energia e tornando-se gradativamente mais estável. Essa emissão de radiação se repete até o núcleo alcançar uma configuração estável. Esse processo é chamado **decaimento radioativo** ou desintegração radioativa. No decaimento, a energia pode ser liberada com emissão de radiação alfa (α), beta (β) ou gama (γ). A tabela a seguir apresenta os tipos de decaimento e alguns aspectos relacionados a eles.

Decaimento alfa	Decaimento beta	Decaimento gama
Emissão de um núcleo de hélio (dois prótons e dois nêutrons).	Emissão de pósitrons ou elétrons.	Emissão de fótons. Radiação eletromagnética com carga elétrica neutra.
O núcleo de um elemento pesado (comumente núcleos mais pesados que o do chumbo, que tem 82 prótons) transforma-se em outro, emitindo um núcleo de hélio.	Ocorre em núcleos com excesso ou com falta de nêutrons. Se houver falta de nêutrons, o próton se transformará em nêutron, com liberação de um pósitron e de um neutrino. Se houver excesso de nêutrons, o nêutron se transformará em próton, com liberação de um elétron e de um antineutrino.	Decaimento do núcleo excitado para estados de energia mais baixos. Em geral, ocorre após um núcleo decair para um estado excitado em decorrência da emissão de radiação alfa ou beta.



Setup/Bureau/ID/BR

Representação do processo de decaimento radioativo que pode ocorrer por radiação alfa, beta ou gama. Cores-fantasia.

Atividade nuclear e meia-vida

A velocidade das desintegrações de uma amostra pode ser medida pelo número de desintegrações ocorridas por unidade de tempo. Essa medida é denominada **atividade**. A unidade de medida da atividade no SI é o becquerel (Bq); 1 becquerel equivale a uma desintegração por segundo.

Outra informação relevante sobre a radioatividade é o tempo necessário para que a metade dos núcleos de uma amostra sofra desintegração. Essa grandeza é definida como o tempo de **meia-vida**.

ROTEIRO

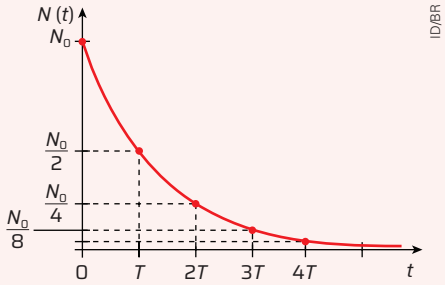
1. Suponha que uma amostra de material radioativo tenha meia-vida de 12 horas. Qual será a fração remanescente dessa amostra depois de 36 horas?

$\frac{1}{8}$ da amostra inicial.

Não escreva no livro.

ATIVIDADE RESOLVIDA

O gráfico a seguir representa a meia-vida de um elemento radioativo. A variável tempo está representada no eixo *x*, e o número de núcleos ativos está representado no eixo *y*. A quantidade de núcleos ativos inicialmente é indicada por N_0.



a) Identifique a meia-vida da amostra inicial.

b) Descreva o que ocorre após um período de tempo igual a 2*T* em relação à amostra inicial e em relação à amostra no tempo *T*.

Resolução

a) A meia-vida ocorre quando a metade dos núcleos da amostra inicial decai e deixa de emitir radiação. No gráfico, esse período equivale a *T*, quando o número de núcleos ativos cai para $\left(\frac{N_0}{2}\right)$.

b) Após decorrer 2*T*, a quantidade de núcleos ativos decai para um quarto $\left(\frac{N_0}{4}\right)$. Esse ponto representa também a meia-vida da amostra que restava no tempo *T*.

ROTEIRO

2. A expressão a seguir mostra o decaimento do urânio-238, com liberação de radiação.

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + \alpha$$

Identifique:

a) o número de prótons e de nêutrons presentes no urânio;

b) o número de prótons e de nêutrons presentes no tório;

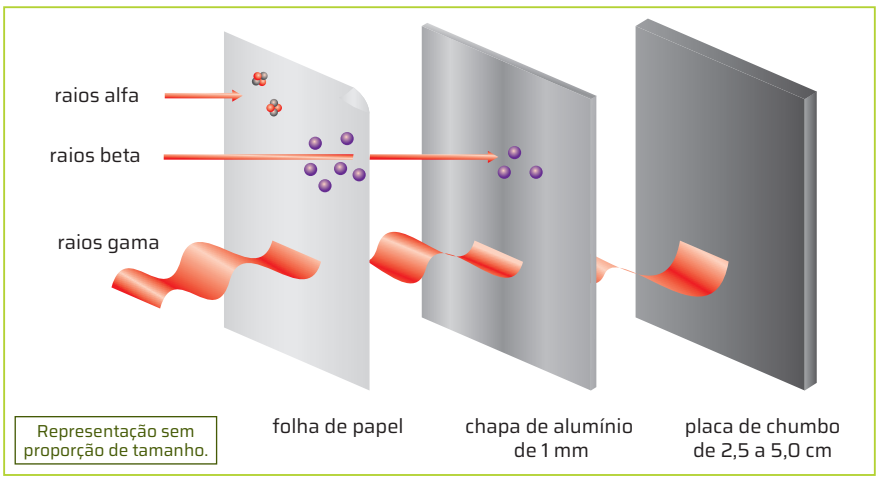
c) a transformação nuclear indicada pela equação.

2. a) Na notação de cada símbolo, o índice da parte superior indica o número total de prótons e de nêutrons presentes no núcleo daquele elemento, que, no urânio, é 238. O índice da parte inferior indica o número de prótons: o urânio tem 92 prótons. Portanto, o número de nêutrons é igual a: 238 – 92 = 146.
2. b) No tório, o número total de prótons e nêutrons é 234, e o número de prótons é 90. Assim, o número de nêutrons é: 234 – 90 = 144.
2. c) A equação descreve o decaimento do urânio em tório com emissão de uma partícula alfa, isto é, uma partícula com dois prótons e dois nêutrons.

Penetração da radiação

Cada tipo de radiação interage de maneira diferente com a matéria sobre a qual incide. A relação entre a densidade de **ionização** e a capacidade de penetração da radiação é inversamente proporcional. A partícula alfa, por exemplo, penetra pouco mais de 1,5 cm no ar e pode ser blindada por uma folha de papel. Porém, a transferência de energia ao longo dessa distância é muito grande. A radiação beta atravessa a folha de papel, mas não a folha de alumínio. A radiação gama é a mais penetrante; são necessários alguns centímetros de chumbo sólido para blindá-la, mas tem densidade de dissipação de energia muito menor. A figura a seguir ilustra os materiais que podem ser usados na blindagem dessas radiações.

ionização: processo no qual um átomo ou molécula ganha ou perde elétrons, adquirindo carga elétrica.



Representação da capacidade de penetração das emissões radioativas. Cores-fantasia.

EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Vimos que a capacidade de penetração da radiação em dado material depende do tipo de radiação. As radiações ionizantes têm energia suficiente para arrancar elétrons do material sobre o qual incide e tornar esse material ionizado. Essas radiações não são percebidas pelos órgãos sensoriais dos seres vivos, mas podem causar danos à saúde humana e de outros organismos.

As emissões de radiação alfa e beta são ionizantes. Entre as radiações eletromagnéticas ionizantes, estão os raios X e os raios gama. A radiação ultravioleta (UV) geralmente não tem energia suficiente para ser considerada ionizante, no entanto, sua alta energia pode causar danos em seres vivos. Em casos de exposição prolongada ou intensa à radiação UV, nem sempre o organismo consegue reparar os danos causados, o que aumenta o risco de mutações e câncer.

Interação da radiação ionizante com a matéria

A radiação ionizante, ao incidir sobre a matéria, transmite energia suficiente para remover elétrons de suas órbitas, superando a energia de ligação dos elétrons do meio e ionizando os átomos que se encontravam ligados. Os elétrons removidos se movem, interagindo com outros átomos do meio, e podem provocar novas ionizações. A incidência de radiação ionizante sobre um ser vivo pode acarretar modificação das moléculas e das células de seu corpo, mas não deixa o ser vivo radioativo.

Os efeitos biológicos que decorrem desse tipo de radiação são divididos em quatro estágios, sintetizados no quadro a seguir.

CONSEQUÊNCIAS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM A MATÉRIA

Estágio	Efeito	Dano
1º	Ionização e excitação de átomos do corpo.	Não há dano celular.
2º	As ligações físico-químicas são rompidas e formam-se os radicais livres.	Dano às células, que são reparadas pelo próprio organismo.
3º	Os radicais livres danificam moléculas importantes para o funcionamento do organismo.	Morte das células ou incapacitação delas para se reproduzir.
4º	Alterações morfológicas e funcionais.	O núcleo das células é lesado.

Nos seres humanos, quando a radiação ionizante afeta as células somáticas, as consequências atingem somente a pessoa que foi irradiada; quando ocorre em células germinativas, as consequências são hereditárias.

Os **efeitos somáticos** são diversos. Dependendo do tipo de radiação ionizante e do tempo de exposição a ela, os efeitos podem ser percebidos em poucos dias, em poucas horas ou até após minutos, e incluem náuseas, vômitos, febre, queimaduras na pele, diarreia e intensa dor de cabeça.

Os **efeitos hereditários** podem incluir deficiência física e mental ou disposição para desenvolver doenças crônicas.

No início do século XX, os efeitos dessas radiações ainda não haviam sido identificados, e muitos cientistas sofreram as consequências da exposição à radiação ocorrida ao longo de anos de pesquisa em laboratórios – desde queimaduras leves na pele e fadiga crônica até câncer em diversos órgãos.

Atualmente, os efeitos da radiação são conhecidos e, nos ambientes de laboratórios e de cuidados médicos, adotam-se procedimentos de segurança, evitando que as pessoas sejam expostas a doses de radiação prejudiciais à saúde.

AÇÃO E CIDADANIA

Dosímetro

Dosímetro é um dispositivo essencial e de uso obrigatório para profissionais na área de saúde que trabalham com radiação. A forma mais comum de monitorar essa exposição é o uso de pastilhas dosimétricas presas na região do tórax, que registram a radiação acumulada, permitindo um controle preciso.

Jürgen Schulzki/imageBROKER/Fotoarena

Crachá com pastilha dosimétrica.

1. **Converse com os colegas sobre a necessidade desse controle com dosímetro para os profissionais da saúde e a importância da indicação médica para realizar exames que envolvem radiação.**

DE OLHO NO CONCEITO

Células somáticas

O nome dessas células vem do grego *soma*, que significa "corpo". Nos seres humanos, elas são diploides e constituem a maioria das células do corpo.

Células germinativas

Conhecidas também como células reprodutivas (ou gametas). Nos seres humanos são células haploides e somente após a fecundação – quando ocorre a fusão dos núcleos do óvulo e do espermatozoide – o número cromossômico típico da espécie se estabelece.

1. Espera-se que os estudantes comentem que o dosímetro é essencial para monitorar a exposição à radiação pelos profissionais de saúde, que os exames radiológicos só são realizados com indicação médica e que são importantes para o tratamento de diversas doenças.

Não escreva no livro.

Explicando a radioatividade

A radioatividade é um tema que desperta curiosidade nas pessoas, e o desconhecimento sobre seus usos e benefícios, questões de segurança, entre outros aspectos relacionados à radiação, é muitas vezes a origem do medo que ela pode gerar. De que maneiras podemos conscientizar a sociedade acerca dos benefícios da radioatividade, principalmente nas aplicações na área da saúde?

Nesta atividade, você e os colegas vão pesquisar esse tema na mídia e elaborar um material de divulgação científica destinado ao público em geral.

Tim Christensen/Shutterstock.com/ID/BR

Veículos autorizados a transportar material radioativo precisam ser devidamente identificados.

Luciana Whitaker/Pulsar Imagens

Nos hospitais em que há algum tipo de tratamento ou de exame que utilize material radioativo, o local de armazenamento desse material deve ser devidamente identificado e ter acesso restrito.

Material

- dispositivo com acesso à internet
- eventuais itens necessários para elaboração do material de divulgação científica escolhido pelos grupos

Como fazer

1. Formem grupos e escolham um tópico relacionado à radioatividade que julguem ser interessante para o público não especialista – por exemplo, aplicações da radioatividade na área da saúde, instalação de novas usinas nucleares, fabricação de bomba atômica ou a descoberta da radioatividade.
2. Façam uma pesquisa minuciosa em *sites* confiáveis sobre o tópico que decidiram explorar. Caso encontrem informações contraditórias, discutam-nas com o(a) professor(a) e esclareçam eventuais dúvidas.
3. Depois, escolham que tipo de material vão elaborar. Pode ser um texto para um blogue, um vídeo, um infográfico, cartazes a serem afixados na escola, entre outros suportes.
4. Mãos à obra! Elaborem com criatividade o material de divulgação científica. Lembrem-se de que ele é destinado a um público leigo no assunto e de que seu objetivo é passar conhecimento de forma clara e direta, despertando interesse sobre o tema radioatividade. Por isso, utilizem suas próprias palavras para explicar os conceitos, mas sem perder o rigor.

1. Espera-se que os estudantes apontem como confiáveis, por exemplo, *sites* vinculados a universidades e *sites* de empresas, jornais e revistas reconhecidos por sua credibilidade.
2. Espera-se que os estudantes concluam que qualquer pessoa pode produzir um material e disponibilizá-lo na internet. Portanto, é preciso ter responsabilidade para não propagar informações inverídicas ou *fake news*. Pesquisar em *sites* confiáveis aumenta a probabilidade de divulgar informações verdadeiras.

Para concluir

3. Espera-se que os estudantes concluam que a divulgação científica é importante para conectar a população em geral com a comunidade científica. Assim, é possível que o público não especialista saiba o que está sendo desenvolvido pelos cientistas. Além disso, a popularização da ciência pode evitar prejuízos, por exemplo, à saúde pública, combatendo a desinformação e a divulgação de informações que não correspondem aos conhecimentos científicos aceitos atualmente.

1 Nas pesquisas realizadas, o grupo encontrou informações contraditórias? Se sim, quais? Qual critério foi utilizado para distinguir os *sites* confiáveis dos *sites* não confiáveis?

2 O material elaborado pelo grupo pode ser publicado na internet para que qualquer pessoa possa consultá-lo. Qual é a importância de pesquisar em fontes confiáveis para produzir materiais informativos, especialmente aqueles que serão divulgados na internet?

3 A divulgação científica também é uma forma de popularização da ciência. Na opinião de vocês, por que ela é importante para a sociedade, em especial quanto ao tema da radioatividade?

FÍSICA E BIOLOGIA

ESTERILIZAÇÃO DO MOSQUITO *AEDES AEGYPTI*

Doenças como dengue, Chikungunya, zika e febre amarela podem ser transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*. Umas das formas de evitar o contágio dessas doenças é eliminar a proliferação do mosquito transmissor.

A esterilização de mosquitos machos criados em laboratório por incidência de radiação ionizante, como raios gama ou raios X, é uma das técnicas utilizadas para isso. Nesse processo, a radiação altera o DNA dos espermatozoides dos mosquitos, impedindo que eles fertilizem os ovos das fêmeas.

Arquivo/BirdView

Foto do mosquito *Aedes aegypti*.

A compreensão de como a radiação é capaz de alterar as células de organismos permite modificar características biológicas de interesse. Esse é um caso direto de como um conhecimento da Física pode ser aplicado na Biologia.

[...]

Passar repelente diariamente, não deixar pontos de água parada e se vacinar são algumas das ações individuais que podem ser tomadas pela população a fim de se proteger da dengue. Com relação aos governos, a elaboração de campanhas de conscientização e o desenvolvimento de planos de enfrentamento são algumas das responsabilidades que devem ser garantidas para combater as epidemias, que acontecem de forma sazonal no país.

Há também a demanda por alternativas e novas tecnologias que busquem potencializar a luta contra a proliferação do *Aedes aegypti* e otimizar a proteção contra o mosquito. Pensando nisso, diversos pesquisadores brasileiros desenvolveram produtos altamente eficientes, sustentáveis e adaptados à realidade do país. [...]

[...]

- **Lançamento de *Aedes* estéreis por *drones* [...]**

Frank60/Shutterstock.com/ID/BR

Foto do *drone* usado para lançar mosquitos *Aedes aegypti* estéreis em uma zona rural.

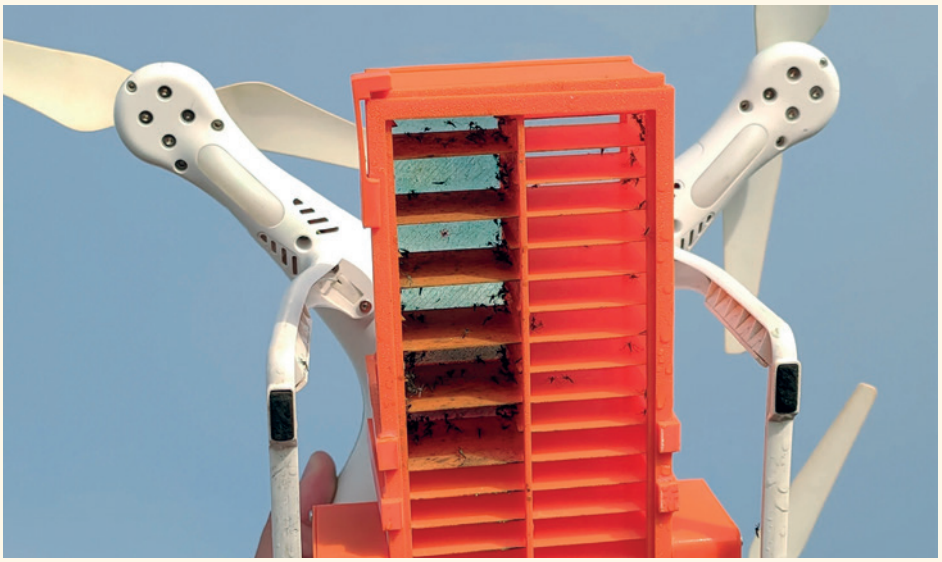
Não escreva no livro.

[...]

Esse método de controle já foi empregado anteriormente para combater outras epidemias de arboviroses. Sua origem remonta a 1927, quando foi observado que a radiação ionizante provocava mutações letais na mosca-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), resultando principalmente na infertilidade das fêmeas. Atualmente, a esterilização é realizada seguindo as diretrizes do órgão de controle nuclear da Organização das Nações Unidas (ONU), que desenvolveu um método específico por irradiação.

Quando machos estéreis são soltos na natureza, eles acasalam com fêmeas selvagens, que botam ovos apenas uma vez na vida. Como essas fêmeas não produzirão descendentes – já que a fecundação não aconteceu, o ovo fica vazio –, a população de insetos tende a diminuir gradualmente. [...]

[...]



Arquivo/BirdView

Foto do compartimento utilizado para transportar os mosquitos *Aedes aegypti* estéreis por drone.

A inclusão desse método nas práticas de controle biológico do *Aedes aegypti* também ajudaria a evitar o uso excessivo de inseticidas, que contaminam o meio ambiente com seus resíduos e contribuem para o fenômeno da resistência. Desenvolvida a partir do uso inadequado de pesticidas, a resistência em insetos se manifesta na redução da penetração do produto por suas cutículas. Devido ao ciclo de vida curto e à prole abundante dos insetos, surgem rapidamente populações com diferentes características genéticas que conseguem "driblar" a ação dos inseticidas.

[...]

Almeida, C. 5 iniciativas brasileiras sustentáveis e inovadoras que auxiliam no combate à dengue. *Galileu*, 29 maio 2024. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/saude/noticia/2024/05/5-iniciativas-brasileiras-sustentaveis-e-inovadoras-que-auxiliam-no-combate-a-dengue.ghtml. Acesso em: 25 set. 2024.

Conecte as ideias

1 **Explique por que a radiação ionizante pode modificar o DNA dos mosquitos.** A intensidade da radiação ionizante é suficiente para penetrar nas células do mosquito e alterar suas características, danificando algumas de suas funções, como a capacidade de reprodução.

2 **Os mosquitos que são expostos à radiação ficam radioativos? Justifique.** Não. A exposição à radiação causa mutação, mas não deixa os mosquitos radioativos.

3 **Com base nas informações do texto, explique por que lançar machos inférteis de *Aedes aegypti* diminui, com o tempo, a população desse mosquito.** As fêmeas colocam ovos apenas uma vez na vida; se uma fêmea acasala com um mosquito infértil, ela gerará "ovos" não fecundados, ou seja, dos quais não nascerão novos mosquitos.

4 **Por que o uso de insetos estéreis pode ser uma alternativa mais sustentável ao uso de inseticidas no controle do *Aedes aegypti*?** O uso de insetos estéreis reduz o uso de inseticidas.

5 **Pesquise os principais cuidados que devem ser tomados para evitar a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* e para prevenir as doenças mencionadas no texto. Organizem-se em grupos e, com base nas informações obtidas nas pesquisas, elaborem um *post* criativo que possa ser publicado na rede social da escola para chamar a atenção da comunidade para esses cuidados.** Espera-se que os estudantes citem principalmente evitar a água parada.

1. Resposta variável. Atue no debate promovendo um ambiente respeitoso e sadio e orientando a defesa de ideias com base em fatos e informações confiáveis. Espera-se que os estudantes citem como pontos favoráveis às usinas nucleares a energia limpa, com baixa emissão de gases de efeito estufa, e a estabilidade no fornecimento de energia, e como pontos desfavoráveis o risco de acidentes e a produção e o descarte de resíduos radioativos.

ALTERAÇÃO DO NÚCLEO ATÔMICO

Controlar a transformação de um elemento químico em outro é uma ambição anterior à ciência moderna. Muitos alquimistas promoveram reações químicas com o objetivo expresso de transformar chumbo em ouro. Esse feito, porém, nunca foi alcançado, pois, nas reações químicas, somente há interações entre as camadas da eletrosfera e, para transmutar elementos, seria necessário intervir no núcleo dos átomos.

Os processos que podem alterar o núcleo são os decaimentos e as reações nucleares de fissão e de fusão. Com o conhecimento dessas reações, surgiu a possibilidade de transformar elementos artificialmente, mas com outro objetivo: aproveitar a energia presente no núcleo. A energia nuclear passou a ser empregada em diversas atividades, como a geração de energia elétrica.

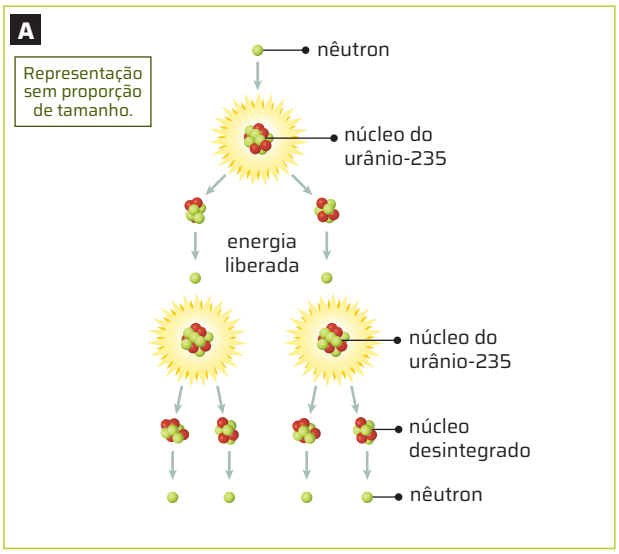
Atualmente, é possível colidir prótons, elétrons e nêutrons para dividir átomos ou mesmo para fundi-los em reações nucleares de dois tipos: a **fissão nuclear** e a **fusão nuclear**.

Fissão nuclear

Na fissão nuclear, os nêutrons são acelerados e incidem em um núcleo pesado. Com essa interação, o núcleo original se parte em núcleos menores, formando outros elementos químicos e liberando grande quantidade de energia.

É o que ocorre, por exemplo, na fissão do urânio-235, um elemento instável que, ao ser atingido por um nêutron, divide-se em dois núcleos menores, liberando nêutrons e radiação gama. Uma das possíveis configurações finais é a divisão em um núcleo de bário-141 e um núcleo de criptônio-92.

Quando o produto de uma fissão inclui nêutrons livres, estes podem colidir com outros núcleos pesados, promovendo novas fissões, que, por sua vez, liberam outros nêutrons, e assim sucessivamente. Esse evento é chamado **reação em cadeia**. No caso do urânio-235, a reação libera nêutrons que podem colidir com outros núcleos de urânio-235 e causar novas fissões, como indica o esquema **A**.



Setup/Bureau/ID/BR

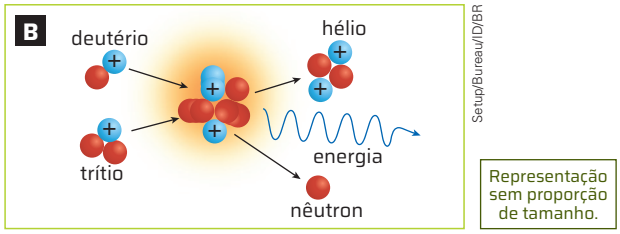
Esquema de uma fissão nuclear em cadeia. Cores-fantasia.

Fusão nuclear

A fusão nuclear consiste em colidir núcleos leves, como os isótopos do hidrogênio, provocando a junção dos núcleos em um novo, com número atômico maior e liberando energia.

O processo de fusão é mais difícil de ser realizado, pois, para vencer a força de repulsão entre os núcleos até uma distância em que a força nuclear forte passe a atraí-los, é necessário submeter os núcleos leves a condições de alta temperatura e alta pressão por um intervalo de tempo suficiente para que a reação ocorra. Para atingir essas condições, despende-se muita energia; por isso, o desenvolvimento de processos de fusão como meio de obter energia em larga escala encontra-se ainda em fase de estudo.

As condições ideais para que ocorra a fusão nuclear estão no interior das estrelas, como ocorre com o Sol.



Setup/Bureau/ID/BR

Representação do processo de fusão deutério-trítio: um núcleo de hidrogênio com um nêutron (deutério) colide com um núcleo de hidrogênio com dois nêutrons (trítio), formando um núcleo de hélio e liberando um nêutron e energia. Cores-fantasia.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Energia nuclear é uma boa opção na descarbonização?

Quais são as vantagens e desvantagens da energia nuclear?

- Vantagens: Emite poucos gases de efeito estufa durante sua operação; emite pouco carbono nos processos indiretos (como extração do minério, construção e desmonte de usina); fornece energia elétrica em larga escala e de forma contínua.
- Desvantagens: É uma fonte de energia não renovável; os possíveis acidentes nucleares envolvem riscos como perda de controle do reator nuclear, perda de controle dos sistemas de refrigeração, vazamento de radiação que impacta [...] a saúde da população, resultando em doenças cancerígenas, leucemia e aumento de mortalidade; contaminação do lençol freático e de terras[,] que se tornam impróprias ao plantio e [à] criação de animais; [...]

THERRIE, B. Energia nuclear é uma opção na descarbonização? *Ecoa UOL*, 19 jun. 2024. Disponível em: https://www.uol.com.br/ecoa/faq/energia-nuclear-e-uma-boa-opcao-na-descarbonizacao.htm. Acesso em: 25 set. 2024.

1. Você e os colegas vão organizar um debate. Formem dois grupos. Com base na leitura do texto e em conhecimentos prévios, um grupo defenderá a ampliação do número de usinas nucleares no Brasil e o outro grupo argumentará contra.

Não escreva no livro.

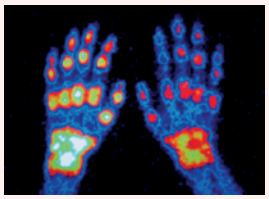
ATIVIDADES

3. Elementos químicos radioativos são átomos capazes de emitir radiação por serem muito instáveis. O núcleo desses átomos é pesado e instável; por meio de decaimento, desintegram seu núcleo e liberam energia até formar núcleos mais estáveis.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 Observe as imagens e faça o que se pede.

Kaling2100/Shutterstock.com/ID/BR



Cnri/SPL/Fotoarena

a) Identifique a imagem de radiografia e a imagem de cintilografia.

b) Descreva o que se vê na imagem de radiografia.

c) Descreva o que se vê na imagem de cintilografia.

d) Diferencie os aspectos do interior do corpo humano evidenciados em cada um dos exames.

Resolução

a) A imagem da esquerda é uma radiografia, obtida por raios X. A imagem da direita é uma cintilografia.

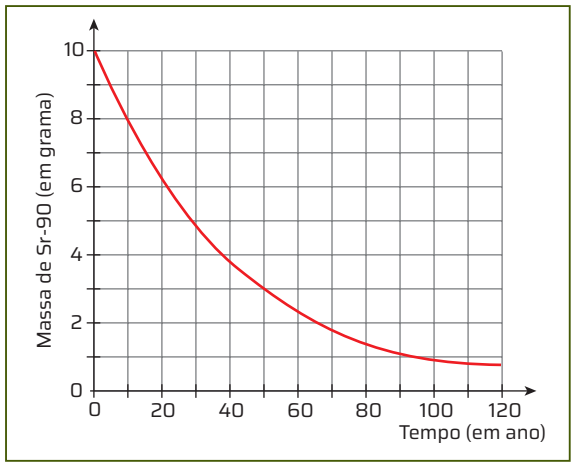
b) Na radiografia, são percebidos detalhes da estrutura da mão, com os ossos em tons mais claros. O contorno dos músculos e da pele não é evidente.

c) Na cintilografia, as mãos estão emitindo radiação com diferentes intensidades. Os dedos aparecem mais claros, de maneira uniforme. Nos punhos, há manchas mais escuras, indicando maior concentração de radiação.

d) Os exames de raios X destacam a morfologia do corpo, principalmente de estruturas mais densas, como os ossos. Já a cintilografia capta aspectos relacionados ao funcionamento do organismo, ou seja, sua fisiologia.

2 Observe o gráfico e faça o que se pede a seguir.

ID/BR



a) Determine o valor aproximado da meia-vida da amostra de estrôncio (Sr-90).

b) Determine o valor da massa radioativa restante após 50 anos. 3 gramas.

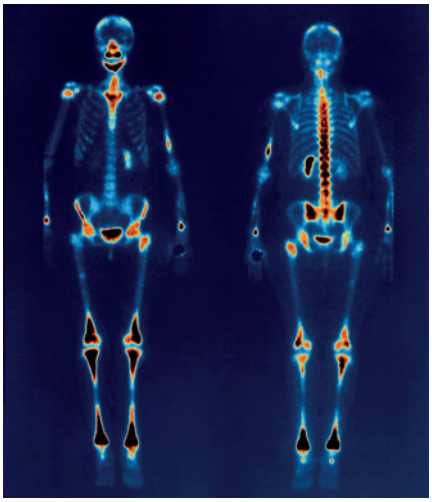
2. a) Para essa amostra de 10 gramas de Sr-90, a meia-vida ocorre para a massa de 5 gramas, que corresponde ao tempo de, aproximadamente, 28 anos.

3 O que são elementos químicos radioativos?

4 O tório-230 decai naturalmente, transformando-se em rádio-226. Identifique o tipo de radiação emitida nesse processo. Como o tório-230 decai para o rádio-226, consultando a tabela periódica, determina-se que ocorre a liberação de 2 prótons e 2 nêutrons, ou seja, um decaimento alfa.

5 Explique o que é um átomo estável.
Átomo estável é aquele que não sofre decaimentos radioativos espontâneos.

6 Observe a imagem e faça o que se pede a seguir.



Zephyr/SPL/Fotoarena

a) Analise se essa imagem foi obtida por raios X ou por cintilografia. Cintilografia.

b) Faça um esquema das imagens e indique os joelhos, a coluna vertebral, a bacia, o crânio e os pés. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 Uma aplicação da radiação ionizante é a irradiação de alimentos, com o objetivo de reduzir o número de bactérias em alimentos industrializados e de retardar o tempo de maturação de frutas, como mostram estas fotografias.

7. a) Não. Quando esses alimentos são irradiados, eles absorvem, mas não emitem radiação, portanto, não são elementos radioativos.

Cordelia Molloy/SPL/Fotoarena

Morangos de uma mesma origem, depois de alguns dias: os da esquerda foram expostos à radiação ionizante, e os da direita, não.

a) Os alimentos expostos à radiação ionizante tornam-se radioativos? Justifique.

b) Analise se esse procedimento representa algum risco de contaminação para os seres humanos.

8 A pessoa que precisa fazer um exame de radiografia deve recear os efeitos biológicos da radiação de raios X? Justifique. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7. b) Em geral, o processo de irradiação acarreta poucas alterações químicas nos alimentos. Nenhuma das alterações conhecidas é nociva ou perigosa.

Não escreva no livro.

PENSANDO CIÊNCIAS

É REAL OU FICÇÃO CIENTÍFICA?

VectorXpert/Shutterstock.com/ID/BR

Ilustração de um óvni, retratado em muitos filmes e em livros de ficção científica.

Uma das parcerias entre ciência e arte é a ficção científica. Desde a britânica Mary Shelley (1797-1851), que se inspirou nos experimentos de Galvani para criar *Frankenstein,* uma das primeiras obras de ficção científica, outros autores se aventuraram em narrativas literárias e cinematográficas em que teorias e conceitos científicos, assim como descobertas tecnológicas deram asas à imaginação para as produções artísticas do gênero. Ocorre que, durante o processo criativo, alguns conceitos científicos são adaptados ou transformados, e essas alterações podem levar a distorções desses conceitos apresentados de maneira exacerbada ou imprecisa em relação ao conhecimento científico. Assim, diante de uma obra de ficção científica, é importante questionar: É real ou ficção científica?

Decompondo o problema

Para resolver um problema de maneira mais simples, é sempre útil dividi-lo em partes menores e, em seguida, unir as soluções. Da mesma forma, para responder à pergunta "É real ou ficção científica?", vocês podem adotar essa abordagem. Nesse momento, vocês vão dividir o problema em partes menores e mais simples, e analisar cada uma separadamente e, depois, juntar as informações para resolver o problema como um todo.

Reúnam-se em grupos e discutam quais serão as perguntas. A seguir, listamos algumas opções:

- Quais elementos científicos são base para o enredo da obra?
- Os conceitos abordados estão sendo utilizados de forma coerente com o que a ciência explica?
- Ocorreu alguma extrapolação de conceito na construção da obra de ficção científica? Qual?
- Outros elementos inseridos no roteiro da obra podem causar alguma imprecisão nos conceitos científicos? Quais seriam?
- É possível que a obra tenha um papel de provocação ou de desinformação para quem a assiste ou lê?

Walt Disney Studios Motion Pictures/Maximum Film/Alamy/Fotoarena

A personagem de ficção científica Homem-Formiga.

Reconhecendo padrões

Nesta etapa, vocês vão procurar exemplos e informações eficientes para as questões levantadas.

Como exemplo, considerem o filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania* (Direção: Peyton Reed. Estados Unidos, 2023, 125 min). Nesse filme, o herói consegue encolher até o tamanho de um inseto e crescer em tamanho gigantesco. Com essas habilidades, o personagem explora o "Reino Quântico", uma dimensão subatômica fictícia abordando conceitos científicos da Física Quântica.

Contudo, reflitam sobre esta questão: Será que o filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania* apresenta bases científicas para as afirmações feitas em seu enredo?

Não escreva no livro.

Para responder à questão, iniciem pesquisando os conceitos principais abordados no filme, como princípio da incerteza, estrutura atômica, entre outros conceitos da Física Quântica. Procurem avaliar o que encontra respaldo científico e o que é uma extrapolação ou distorção criada pela obra cinematográfica. Vocês também podem procurar por padrões e comparar essa obra com outras que apresentem a mesma temática científica.

Abstraindo o problema

Reúnam todas as informações coletadas até o momento e classifiquem-nas em muito importante, importante ou irrelevante. Esta etapa é necessária para organizar e validar as informações levantadas, e com isso vocês podem priorizar dados importantes e descartar aqueles que considerarem irrelevantes para responder à pergunta proposta.

Agora, pensando de maneira mais ampla, elaborem um quadro para ajudá-los a responder à pergunta: É real ou ficção científica?.

Vejam um exemplo a seguir:

Obra de arte	Tema científico	Verdades científicas	Extrapolações científicas	Desinformações científicas
Filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania*	Física Quântica	• Os átomos são em grande parte espaço vazio. • Tunelamento quântico.	• Reduzir o espaço vazio nos átomos e entre os átomos para encolher. • O Homem-Formiga atravessar barreiras que seriam impenetráveis, como paredes.	• Reduzir o espaço vazio dos átomos viola as leis de conservação de massa e energia. • Partículas têm probabilidade pequena de atravessar barreiras, mas isso só é possível em escalas atômicas.
//////////////////	//////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////
//////////////////	//////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////
//////////////////	//////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////	//////////////////////////////

Buscando soluções

Em grupo, utilizem tudo o que foi pesquisado e construído até o momento e conversem sobre a classificação das obras de ficção científica, priorizando os conceitos, processos e possíveis materiais necessários para responder à questão "É real ou ficção científica?".

Elaborando o algoritmo

Utilizando os dados pesquisados e discutidos, criem um algoritmo para descobrir se determinada obra de arte é real ou é ficção científica. Lembrando que um algoritmo para a solução de um problema (neste caso, uma questão) é um passo a passo do que deve ser feito, ou seja, uma sequência de etapas a serem realizadas. Vocês também podem fazer isso usando um organizador gráfico.

Para discutir

1 **Escolha algumas obras de ficção científica para aplicar o algoritmo e validar a eficiência dele.** Espera-se que os estudantes verifiquem que o algoritmo não engloba todas as situações.

2 **Discuta com os colegas se o algoritmo criado pode ser utilizado em qualquer obra de ficção científica ou se ele é limitado a um tipo de arte.**
Espera-se que os estudantes percebam a necessidade de incluir especificidades para alguns tipos de obra.

3 **Olhando para os processos de obtenção de dados até a criação do algoritmo final, existe alguma possibilidade de melhoria?**
Espera-se que os estudantes percebam a necessidade de incluir passos intermediários e talvez análises de dados mais específicos para cada tipo de obra.

QUESTÕES GLOBAIS

3. Alternativa **c**. Para ser visível ao operador do dispositivo, o cintilador precisa absorver a radiação na frequência dos raios X e emitir uma resposta na faixa da luz visível.

4. Alternativa **a**. Para ocorrer efeito fotoelétrico, o metal precisa receber um fóton com energia maior que a função trabalho do material da placa e de valor exatamente igual ao necessário para ejetar o elétron de seu nível de energia.

1 (**UEM-PR**) Uma partícula de massa *m* se move com uma velocidade tangencial $\vec{v}$ em torno de um corpo esférico, de massa *M*, em repouso em relação a um referencial inercial. A origem do sistema de referência é colocada no centro de *M*, e o raio da trajetória da partícula é igual a *R*. Sobre esse sistema de dois corpos, assinale o que for correto.

01) Se o módulo da velocidade tangencial for constante, a aceleração tangencial da partícula será nula, mas haverá uma aceleração resultante devido à mudança da direção de $\vec{v}$.

02) Nesse sistema, a velocidade angular $\vec{\omega}$ da partícula de massa *m* será nula.

04) No modelo atômico de Bohr, um elétron, em um átomo, move-se em uma órbita circular estável, e o movimento está de acordo com as leis de Newton na mecânica clássica.

08) Mantendo-se o módulo da velocidade tangencial constante, a força necessária para manter a trajetória circular do corpo de massa *m*, em torno do corpo de massa *M*, diminuirá com o aumento do raio da trajetória.

16) No átomo de hidrogênio, de acordo com o modelo atômico de Bohr, se o elétron se encontra no estado fundamental, a órbita do movimento é estável. Soma das alternativas corretas: 01 + 04 + 08 + 16 = 29

2 (**UPF-RS**) Após a aula de Física na escola de Ensino Médio, num dia em que a professora ministrou conteúdos de Física Moderna abordando os modelos atômicos, um grupo de alunos conversa e faz as seguintes afirmações:

I. No seu modelo atômico, Bohr considera que cada elétron se movimenta em uma órbita circular estável em torno do núcleo, não havendo assim emissão de radiação por parte do elétron.

II. Ao criar o seu modelo atômico, Bohr utilizou a ideia de Planck, segundo a qual os elétrons podem ser arrancados de certos metais pela incidência de um feixe de luz.

III. Em um átomo de hidrogênio, o elétron se movimenta em órbitas circulares em torno do próton devido à ação de uma força centrípeta que se origina da interação gravitacional entre as massas das partículas.

IV. Em um átomo de hidrogênio, o módulo da força de atração eletrostática entre o próton no núcleo e o elétron girando ao seu redor é maior do que o módulo da força gravitacional entre as massas das partículas.

Está correto apenas o que se afirma em: Alternativa **d**.

a) I e III.
b) II, III e IV.
c) II e IV.
d) I e IV.
e) I, II e III.

3 (**Enem**) O ser humano é incapaz de enxergar a radiação infravermelha e as ondas de rádio (baixas frequências), assim como a ultravioleta e os raios X (altas frequências).

A observação dessas faixas do espectro pode ser realizada por meios indiretos, por exemplo, usando um cintilador, que é uma placa utilizada como sensor para detectar um feixe de raios X, pois emite luz quando o feixe incide sobre ela.

Para que uma pessoa enxergue a incidência de raios X no cintilador, é necessário que essa placa

a) reflita o feixe de raios X, alterando sua polarização.
b) transmita o feixe de raios X, alterando sua polarização.
c) absorva o feixe de raios X, reemitindo parte de sua energia na região do visível.
d) absorva o feixe de raios X, reemitindo parte de sua energia na região do ultravioleta.
e) absorva o feixe de raios X, reemitindo parte de sua energia na região do infravermelho.

4 (**Enem**) As células fotovoltaicas (placas semicondutoras compostas de silício) são os componentes principais dos painéis solares e são capazes de converter, com certa eficiência, parte da energia dos raios solares em energia elétrica. Essa conversão é causada pelo fenômeno físico denominado "efeito fotoelétrico", que pode ocorrer em uma variedade de materiais, incluindo metais e semicondutores.

Na superfície dos metais, a sequência de eventos que caracteriza esse efeito, de forma simplificada, é a

a) absorção de fótons e a emissão de elétrons.
b) absorção de elétrons e a emissão de fótons.
c) emissão de fótons e a absorção de elétrons.
d) absorção e a emissão de elétrons.
e) absorção e a emissão de fótons.

5 (**Fuvest-SP**) .

"De acordo com o órgão responsável pela área de telecomunicações e radiodifusão dos Estados Unidos, considera-se ionizante qualquer radiação eletromagnética que transporte energia maior que 10 eV (elétron-volts). Essa energia é equivalente àquela transportada pelo ultravioleta longínquo, uma das faixas mais energéticas do ultravioleta, que se estende entre 122 nm e 200 nm de comprimento de onda."

Disponível em https://mundoeducacao.uol.com.br/. Adaptado

Não escreva no livro.

"De acordo com a professora Patricia Nicolucci, da USP, há dois tipos de radiação: a ionizante e a não ionizante. Mas elas possuem características diferentes de interação com o corpo humano. '[Alguns tipos de radiação] são [considerados] não ionizantes porque a energia não é suficiente para liberar elétrons quando interagem com o tecido do corpo humano ou qualquer outro material. Já a radiação ionizante, utilizada em medicina nuclear e em radioterapia, tem uma energia maior, o que lhe confere essa característica de tirar elétrons dos átomos da matéria com a qual interage'."

Disponível em: https://www5.usp.br/noticias/. Adaptado.

Com base nos textos e nos seus conhecimentos, assinale a alternativa correta. Alternativa **a**.

a) A luz de lâmpadas brancas, as micro-ondas e o *laser* vermelho podem ser considerados exemplos de radiação não ionizante.

b) Radiação eletromagnética de comprimentos de onda maiores tem um efeito ionizante mais acentuado do que a de comprimentos de onda menores.

c) Luz visível não pode ser considerada uma forma de radiação, uma vez que tem efeitos desprezíveis sobre tecidos do corpo humano.

d) O efeito fotoelétrico é um exemplo de interação de radiação não ionizante com a matéria.

e) A liberação de elétrons de moléculas de tecidos do corpo humano por radiações ionizantes não afeta as propriedades químicas dessas moléculas.

6 (**Udesc**) Considere os seguintes dispositivos tecnológicos e algumas aplicações deles.

I. O sistema de posicionamento global (GPS) é usado para localizar um objeto na superfície terrestre.

II. A célula solar converte energia luminosa em energia elétrica.

III. A microscopia eletrônica utiliza um feixe de elétrons para gerar imagens de objetos mil vezes menor que uma célula.

IV. A radiação de micro-ondas aquece alimentos.

V. O raio *laser* é usado para diversas aplicações cirúrgicas na medicina.

Assinale a alternativa que ilustra, diretamente, uma aplicação tecnológica da dualidade onda-partícula.

a) I

b) III

c) II

d) IV

e) V

Alternativa **b**. A opção que melhor ilustra uma aplicação tecnológica da dualidade onda-partícula é a microscopia eletrônica (**III**). Os elétrons do feixe comportam-se como ondas ao serem acelerados pelo aparelho, mas se comportam como partículas ao sofrer difração enquanto interagem com as moléculas das amostras.

7 (**Famerp-SP**) No modelo do átomo de hidrogênio proposto por Bohr, os elétrons só podem ocupar certos estados estacionários e a energia de cada um desses estados é dada, em elétron-volts (eV), por $E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}$, sendo n o número quântico principal do estado considerado. Apenas ao passar de um estado para outro o elétron absorve ou emite uma quantidade de energia que corresponde à diferença entre as energias desses dois estados. Nesse modelo, quando um elétron faz uma transição do estado $n = 2$ para o estado $n = 3$, ele absorve uma quantidade de energia que é de, aproximadamente, Alternativa **a**.

a) 1,89 eV.

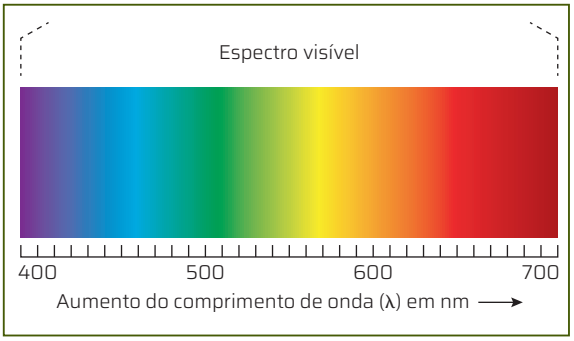
b) 1,51 eV.

c) 2,72 eV.

d) 3,40 eV.

e) 4,53 eV.

8 (**Fuvest-SP**) O *laser* consiste em uma fonte de luz coerente e monocromática, sendo largamente utilizado em leitores de códigos de barras e também em aplicações na física, na medicina e em outras áreas. Seu princípio de funcionamento é baseado na emissão estimulada de fótons. Em um tipo comum de *laser*, uma quantidade de átomos é excitada para um estado de energia E_2. Em seguida alguns desses átomos são estimulados a decair para um estado de energia menor E_1, emitindo um fóton com energia dada pela diferença entre E_2 e E_1. De modo similar, esse decaimento estimula outros átomos a emitirem fótons formando um processo em cadeia com geração de luz.



Fuvest-SP. Fac-símile: OracicArt/ID/BR

a) Qual tipo de *laser* emite fótons com maior energia: o de luz vermelha ou o de luz azul? Justifique sua resposta. Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Determine a frequência (em Hz) de um fóton com comprimento de onda na região de cor laranja mostrada na figura. $5 \cdot 10^{14}$ Hz

c) Determine o comprimento de onda de um fóton (em nm) considerando um *laser* cujas energias E_2 e E_1 correspondem aproximadamente a 20,2 eV e 18,7 eV, respectivamente. 800 nm

Note e adote: A energia E de um fóton relaciona-se com sua frequência f por meio da relação $E = hf$, [...] [em que] $h = 4 \times 10^{-15}$ eV · s e a frequência é dada em Hz. Velocidade da luz no vácuo: $c = 3 \times 10^8$ m/s.
Legenda para daltônicos: Gráfico do espectro visível com cores em função do comprimento de onda, que se inicia no azul (lado esquerdo a 400 nm), passando pelo verde (500 nm), amarelo (550 nm), laranja (600 nm) e terminando no vermelho (lado direito a 700 nm).

FÍSICA DO "MUITO GRANDE"

Na imagem, é possível visualizar diversas galáxias formadas por muitos tipos de astros diferentes, como as estrelas, que são corpos celestes abundantes no Universo. As estrelas sempre despertaram a curiosidade humana, e muitas culturas desenvolveram seus próprios modelos de Universo na tentativa de explicar a origem desses corpos celestes.

Nesta unidade, você vai conhecer as explicações científicas para a origem e a evolução da Terra, entender como as distâncias astronômicas são calculadas e aprender sobre a evolução e a classificação estelar, além de conhecer as teorias e os modelos sobre a origem e a formação do Universo.

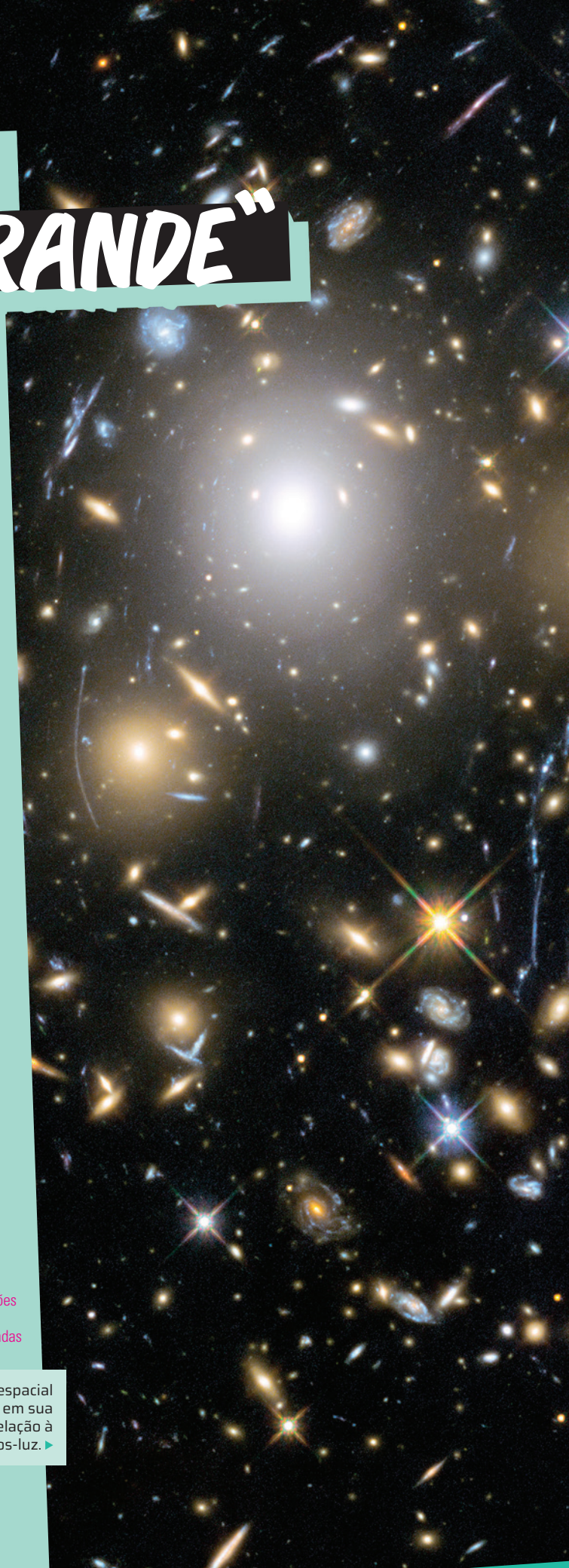
OBJETIVOS

- Analisar e discutir explicações sobre o surgimento e a evolução da Terra.
- Analisar as medidas astronômicas e compará-las com o Sistema Internacional de Unidades (SI).
- Analisar os estágios finais da evolução estelar, relacionando-os com a massa da estrela.
- Comparar os princípios da relatividade de Galileu e Einstein.
- Identificar a gravidade como a curvatura do espaço-tempo produzida pela massa.
- Identificar as principais teorias do Modelo Cosmológico Padrão.
- Analisar a lei de Hubble e interpretar seus resultados como base da teoria do Universo em expansão.

QUESTÕES PARA REFLETIR

1. **Na imagem, é possível observar várias galáxias. Você saberia dizer qual é a galáxia mais próxima da Terra?**
2. **Como você acha que foi possível obter uma imagem de várias galáxias, mesmo elas estando tão distantes de nós?**

1. A galáxia mais próxima do planeta Terra e, portanto, da Via Láctea é a de Andrômeda, localizada na constelação de Andrômeda, a cerca de 2,54 milhões de anos-luz de distância da Terra.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes mencionem fotos capturadas por telescópios potentes, como o Hubble.



Esta imagem, feita pelo telescópio espacial Hubble, mostra um conjunto de corpos, em sua maioria galáxias, cujas distâncias em relação à Terra são da ordem de bilhões de anos-luz. ▸

UNIDADE 8

1 Evolução da Terra

2 Estrelas

3 Teoria da relatividade

4 Modelo Cosmológico Padrão

NASA, ESA and the HST Frontier F

1. Acredita-se que a Terra surgiu há 4,5 bilhões de anos, a partir do adensamento de gases e poeira cósmica.
2. Não, a Terra primitiva tinha um aspecto bem diferente.

EVOLUÇÃO DA TERRA

PARA COMEÇAR

1. Quando e como a Terra surgiu?
2. No início, a Terra se parecia com o planeta que conhecemos hoje? Comente.

A ORIGEM DA TERRA

Os fenômenos naturais são dinâmicos. A maioria dos seres vivos, por exemplo, passa por diversas transformações até atingir a idade adulta, quando essas transformações são menos aparentes (ou mais lentas).

A Terra, da mesma maneira que diversos outros corpos celestes conhecidos, como planetas e estrelas, também nos dá indícios de que segue um ciclo semelhante. Mas como surgiu a Terra? Como foi seu desenvolvimento? Perguntas como essas há muito tempo intrigam o ser humano.

A frase "Somos poeira de estrelas!", atribuída ao astrônomo estadunidense Carl Sagan (1934-1996), um dos maiores divulgadores da ciência no século XX, resume um fato evidenciado por muitos anos de observações e estudos: a maior parte da matéria que compõe as estrelas e os planetas é também a que compõe os seres vivos. Isso reforça a ideia de que, de acordo com a ciência, o surgimento da vida na Terra está ligado à história do surgimento da própria Terra e do Sistema Solar.

Uma das teorias mais aceitas propõe que, há cerca de 13,8 bilhões de anos, o Universo estava altamente concentrado e em altas temperaturas. Uma rápida expansão acompanhada de resfriamento deu origem ao Universo. Essa teoria é conhecida como **Big Bang**.

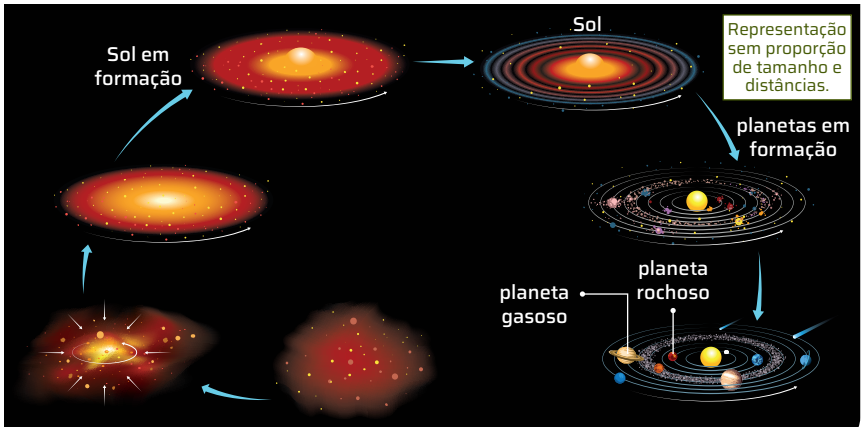
A matéria, tal qual a conhecemos hoje, iniciou sua formação após o Big Bang, começando pelo hidrogênio, a partir do qual os demais elementos foram sendo gerados. O hidrogênio está, portanto, associado à formação das estrelas e é o elemento mais abundante no universo observável.

Nascer do Sol visto do espaço. Cores-fantasia.

Sdecoret/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

A teoria de formação dos planetas do Sistema Solar mais aceita pela comunidade científica é a **Teoria da Nebulosa Solar** e foi sugerida pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) e desenvolvida pelo astrônomo e matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). De acordo com essa teoria, uma grande nuvem de gás (hidrogênio, principalmente) e de poeira (aglomerados de átomos de elementos mais pesados), denominada nebulosa, foi lentamente condensando-se em pequenos grânulos. Estes foram se unindo uns aos outros, tornando-se cada vez maiores, e adensando-se mais e mais formaram primeiramente o Sol e, tempos depois, os planetas.



LukaSkywalker/Shutterstock.com/ID/BR

Representação da formação do Sistema Solar de acordo com a Teoria da Nebulosa Solar. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Rioga, L. Como nascem as estrelas? *In*: UFMG. *Blog Espaço do Conhecimento*. Belo Horizonte, [20--]. Disponível em: https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/como-nascem-as-estrelas/. Acesso em: 18 out. 2024.

A teoria de Laplace considerava que esse adensamento era acompanhado por um movimento de rotação e de um achatamento em forma de disco, favorecendo a formação de grânulos. Essa rotação original ainda é observada na atualidade, com o movimento dos planetas em torno do Sol, por exemplo.

A TERRA PRIMITIVA

1. Não. As evidências científicas mostram que a Terra e o Universo já passaram por várias transformações. Os esquemas podem variar, o importante é que os estudantes representem algumas das transformações pelas quais o Universo e a Terra passaram.

A adensamento dos grãos de poeira envolve questões ainda não totalmente compreendidas, mas acredita-se que a força da gravidade tenha exercido um importante papel nesse processo. O adensamento do material gasoso e poeirento inicial aumentou a pressão e a temperatura na região de formação do Sistema Solar. No centro, esse aumento foi tão intenso que permitiu o início do processo de fusão nuclear, nascendo a estrela. Isso teria acontecido há aproximadamente 4,5 bilhões de anos. É interessante observar que o interior da Terra ainda é bastante quente, resultado da alta temperatura inicial do processo de formação do Sistema Solar.

A Terra primitiva era provavelmente um mundo inabitável e impróprio para as formas de vida conhecidas hoje. Em seus estágios iniciais, devia apresentar oceanos líquidos compostos de materiais que, nas temperaturas atuais, seriam sólidos.

Com o passar do tempo, as perdas de calor para o espaço sideral levaram ao esfriamento do planeta. Os oceanos primitivos, formados por matéria derretida, foram desaparecendo, dando origem a uma "casca" sólida envolvendo a matéria ainda incandescente e com consistência líquida, que teria ficado aprisionada no interior da Terra. Desde então, a Terra vem passando por diversas transformações em sua configuração, tanto na composição de sua atmosfera e de seus oceanos, como na aparência de sua superfície.

PARA EXPLORAR

Leia

***Cosmos*, de Carl Sagan. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.**

Esse livro aborda a evolução do Universo. É uma das obras mais conhecidas de Carl Sagan e deu origem à série de TV homônima, de 1980. Uma versão atualizada da série é apresentada pelo astrônomo Neil deGrasse Tyson.

ROTEIRO

1. É possível dizer que a Terra e o Universo permanecem estáveis ao longo do tempo? No caderno, escreva um parágrafo com seus argumentos.

FÍSICA E FILOSOFIA

Terra: nosso lugar no Universo

Os filósofos foram os primeiros a se perguntar sobre a origem do Universo e da Terra e sobre nosso lugar no mundo. Investigações na área da Física trouxeram respostas e também novas perguntas.

A Terra é um lugar. De forma alguma é o único lugar existente. Nem mesmo é um lugar típico. Nenhum planeta, estrela ou galáxia pode ser considerado um lugar típico, porque o cosmos é, na maior parte, vazio. O único lugar típico fica no vasto e frio vácuo do universo, a noite perpétua do espaço intergaláctico, um lugar tão estranho e desolado que, em comparação, os planetas, as estrelas e as galáxias parecem ser dolorosamente raros e aprazíveis. Se fôssemos parar num ponto aleatório do cosmos, a probabilidade de estarmos em ou perto de um planeta seria de menos de uma em 1 bilhão de trilhões de trilhões (10^{33}, ou seja, o algarismo 1 seguido de 33 zeros). Na vida diária tais probabilidades seriam consideradas nulas. Mundos são raridades preciosas.

Sagan, C. *Cosmos*. São Paulo: Companhia das Letras, 2017. p. 24-25.

1. Reflita sobre a afirmação de Carl Sagan de que "mundos são uma raridade preciosa" e responda: Quais responsabilidades temos para preservar e cuidar do nosso planeta?

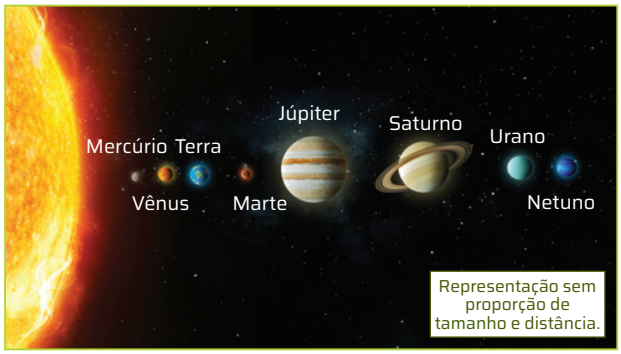
Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reflitam sobre a Terra ser o único planeta do Sistema Solar com condições de manter a vida como a conhecemos e que, por isso, temos de preservar seu ambiente.

OS PLANETAS DO SISTEMA SOLAR

O Sistema Solar atual é composto de inúmeros corpos celestes, entre eles oito planetas, classificados em duas categorias: rochosos e gasosos. De acordo com essa classificação, planetas rochosos são os que apresentam núcleo sólido e, geralmente, envolto por uma fina atmosfera (comparada ao raio planetário). São os planetas mais próximos ao Sol – Mercúrio, Vênus, Terra e Marte – e também os menores planetas do Sistema Solar.

Os outros quatro planetas – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno – são denominados planetas gasosos porque suas atmosferas são imensas quando comparadas ao núcleo planetário. Existem evidências de que os planetas gasosos possuem um núcleo sólido ou semissólido, mas é uma questão que ainda está sendo investigada.

Cris Alencar/ID/BR



Representação simplificada do Sistema Solar. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: International Astronomical Union (IAU). The new Solar System? [unannotated]. IAU, [*s. l.*], 16 ago. 2006. Disponível em: https://www.iau.org/public/images/detail/iau0601d/. Acesso em: 27 set. 2024.

A ESTRUTURA DA TERRA

A Terra não é uma rocha gigantesca, mas uma esfera incandescente cuja superfície externa se solidificou, formando a **crosta terrestre**.

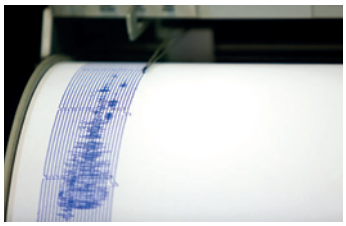
Mas como os cientistas chegaram a essas conclusões? É extremamente difícil perfurar a crosta, que é composta de rochas muito resistentes. Além disso, quanto mais próximo do centro do planeta, mais elevadas são a temperatura e a pressão.

Muitas informações são obtidas da análise de material expelido por vulcões – basicamente rochas derretidas sob altas temperaturas –, conhecido como **magma**. Associado a isso, o estudo dos terremotos, que provocam ondas que se propagam pelo interior da Terra, tornou-se essencial para esse entendimento. Diversos sismógrafos, instalados em diferentes pontos do planeta, trabalham em conjunto detectando as ondas geradas por esses abalos, o que permite que os cientistas analisem a propagação e outros aspectos desses fenômenos. Com base nesses conjuntos de resultados, pode-se deduzir a composição e o comportamento do interior do planeta.

Sismógrafo

Os sismógrafos são aparelhos que detectam movimentos do solo, ou sismos. O gráfico obtido de um sismógrafo permite determinar as características das ondas sísmicas geradas por terremotos ou explosões, por exemplo.

O sismógrafo, portanto, serve também para analisar, mesmo que indiretamente, o interior da Terra.



P_Weil/iStock/Getty Images

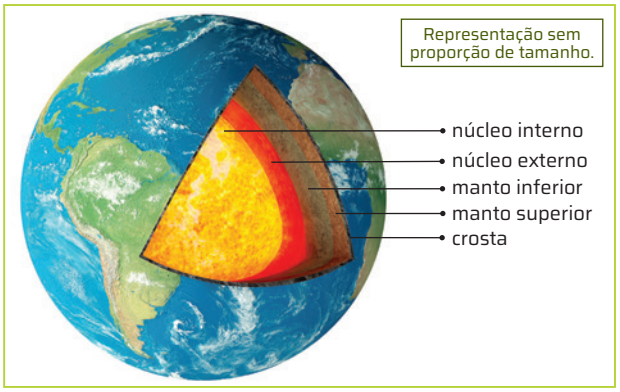
Sismógrafo registrando um abalo sísmico.

Crosta, manto e núcleo

Sabe-se que a crosta terrestre não se compõe de uma única peça, mas de 12 gigantescas **placas tectônicas**, como um mosaico ou um quebra-cabeça. O atrito que ocorre ocasionalmente entre essas placas, fazendo até mesmo que uma parte se sobreleve à outra, gera vibrações que são percebidas na superfície como tremores e terremotos.

As placas tectônicas se apoiam sobre o magma, que apresenta comportamento intermediário entre o líquido e o sólido. Essa camada do interior da Terra onde se encontra o magma é denominada **manto**, que corresponde a cerca de 80% de volume do planeta. Ele se subdivide em manto superior e inferior.

Logo abaixo do manto, com temperaturas e pressões cada vez mais elevadas, encontra-se o **núcleo externo** e, depois dele, mais ainda para o centro, o **núcleo interno** do planeta.



Cris Alencar/ID/BR

Representação das camadas da Terra. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Press, F.; Silver, R.; Grotzinger, J.; Jordan, T. H. *Para entender a Terra*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. p. 32.

Descobertas recentes apontam que o núcleo interno da Terra seria composto de ferro e níquel em estado cristalino e que, nessa camada, as pressões chegariam a ser três milhões de vezes maiores que na superfície, com temperaturas de até 6 500 °C.

Segundo cientistas, movimentos do material eletrizado presente no manto, associados ao núcleo de ferro do planeta, explicam em boa parte a existência do magnetismo terrestre, fundamental para a manutenção da vida.

Não escreva no livro.

1. Espera-se que os estudantes comentem a importância do consumo consciente da água por ser um recurso esgotável e que, mesmo com os atuais avanços em viagens espaciais, será difícil obtê-la em outros planetas.

Formação da atmosfera e dos oceanos

A formação da atmosfera terrestre atual passou por diferentes etapas.

As rochas mais antigas já estudadas por cientistas datam de cerca de 4 bilhões de anos. Com a presença dessas rochas e de uma intensa atividade vulcânica, gases começaram a se desprender dos materiais aquecidos e a ocupar o entorno do planeta, criando, assim, a primeira atmosfera permanente.

A composição dessa atmosfera, no entanto, era muito diferente da que conhecemos hoje. Com base em evidências e modelos científicos, acredita-se que havia metano (CH_4), amônia (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O), e não haveria nada, ou quase nada, de gás nitrogênio e gás oxigênio, como há na atmosfera atual.

Algumas pesquisas indicam que, nos primórdios do Sistema Solar, a Terra era bombardeada constantemente por asteroides, que teriam trazido, para o planeta que habitamos, parte da água que ele contém atualmente. Outros estudos indicam que o restante da água pode ter se originado durante a formação da Terra.

Vapores de água emitidos pela crosta em formação, ao subirem e se condensarem, caíam em chuvas primitivas torrenciais. Inicialmente, essas chuvas não chegavam a tocar a superfície, pois as altas temperaturas provocavam a rápida evaporação da água. O ciclo de precipitação e evaporação da água acelerou o resfriamento da superfície, o que também possibilitou que a água líquida começasse a ocupar parte dessa superfície, em uma crosta já sólida, e se acumulasse no fundo das bacias recém-formadas, dando origem, assim, aos oceanos primordiais.

O surgimento da fotossíntese e de outras reações químicas possibilitaram mudanças progressivas na composição da atmosfera, com o aumento gradativo nas concentrações de gás oxigênio e nitrogênio até chegar aos índices atuais.

A deriva continental e os continentes atuais

Em 1912, o geógrafo alemão Alfred Wegener (1880-1930) publicou um livro intitulado *A origem dos continentes e oceanos*, em que propunha uma ideia revolucionária: teria existido, no passado, um único supercontinente – denominado Pangaea (em português, Pangeia) –, que se estenderia de polo a polo e seria rodeado por um único oceano, o Pantalassa. Devido a sucessivas fraturas, iniciadas há cerca de 200 milhões de anos, partes desse supercontinente teriam se movido lenta e continuamente sobre o assoalho basáltico do fundo oceânico, chegando à configuração que conhecemos hoje.

Um dos vários argumentos de Wegener foi a incrível semelhança de perfil entre a costa leste da América do Sul e a costa oeste da África, sugerindo um encaixe no passado e uma fratura associada à separação.

Controversa durante muitos anos, a teoria de Wegener deu lugar na década de 1950 a uma teoria bem estabelecida pelas evidências geológicas, a **Teoria da Tectônica de Placas.** Influenciada pelas ideias de Wegener, ela propõe que a crosta do planeta é formada por grandes placas que constituem os continentes e o fundo dos oceanos, e que são movimentadas pelo magma existente no interior da Terra.

Cris Alencar/ID/BR

Representação da provável configuração da Pangeia. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Kious, W. J.; Tilling, R. I. Historical perspective. *In*: *The dynamic*: Earth: the story of plate tectonics. Denver: U. S. Geological Survey, 2016. Disponível em: http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/historical.html. Acesso em: 28 set. 2024.

AÇÃO E CIDADANIA

Água no Sistema Solar

Ainda não há uma resposta científica consensual sobre a origem da água na Terra, mas já é conhecido que, no Sistema Solar, a Terra é o único planeta com água no estado líquido em sua superfície. Em Marte, por exemplo, há indícios de água, mas ela se encontra congelada em seus polos e abaixo do solo; em algumas luas de Júpiter, como Ganimedes e Europa, verificam-se sinais da existência de água salgada, mas também subterrânea.

1. **A água em estado líquido é abundante na Terra, mas não é uma realidade em outros planetas do Sistema Solar. Converse com os colegas como esse fato deve (ou deveria) influenciar nossas atitudes em relação ao cuidado com a água, sobretudo com a água doce, da qual depende nossa sobrevivência.**

2. A Pangeia foi um supercontinente com todas as massas continentais unidas, as quais, atualmente, encontram-se separadas.

ROTEIRO

2. O que foi a Pangeia, de acordo com as teorias científicas apresentadas?

DE OLHO NO CONCEITO

Modelo científico

Representações ou outras construções que visam explicar determinado fenômeno e/ou prever um novo fenômeno.

Desvendando a crosta terrestre

Quais fatores influenciam a formação da crosta da Terra? Nesta atividade, você e os colegas vão esquematizar um modelo do formato da crosta terrestre com e sem a presença da água dos oceanos.

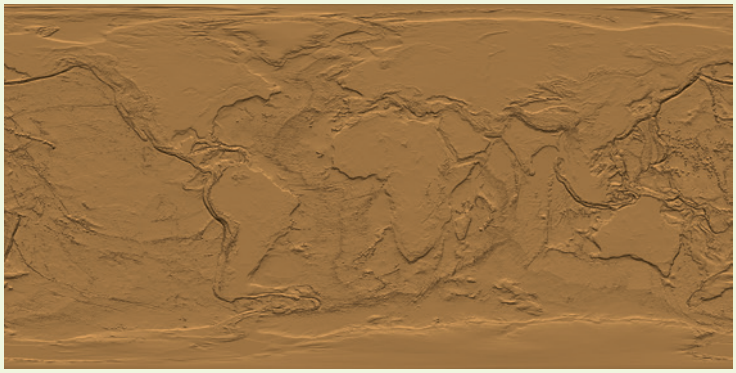
Material

- um pacote de argila
- uma caixa plástica retangular de, aproximadamente, 40 cm × 60 cm × 12 cm, com um furo na base
- uma rolha para tampar o furo
- um balde
- água
- corante azul solúvel em água

Como fazer

1. Formem grupos de cinco participantes.
2. Com a argila, moldem a representação dos continentes da Terra na caixa retangular, levando em conta a forma do relevo submarino, como indicado a seguir. A argila permite que seja modelada diversas vezes, por isso, não se preocupem em acertar o modelo na primeira tentativa. É importante que a maior altura do relevo submarino não supere a altura dos continentes pré-moldados.

NASA/GSFC



Forma da crosta da Terra sem a presença de água.

3. Façam um caminho para o escoamento da água, certificando-se de que ele se comunique com o furo na base da caixa. Esperem a argila secar durante algumas horas.
4. Em um dia combinado com o(a) professor(a), vocês vão apresentar aos demais grupos os modelos que criaram. No momento da apresentação, com o furo da caixa tampado com a rolha, coloquem o modelo em um apoio horizontal.
5. Misturem, no balde, a água e o corante azul. Em seguida, cubram o fundo oceânico do modelo com a água colorida. Os continentes moldados devem permanecer acima do nível da água.
6. Abram o furo da caixa, de modo a permitir o escoamento da água e a desvendar o verdadeiro formato da crosta terrestre.
7. Comparem os modelos criados pelos grupos. Identifiquem semelhanças e diferenças entre eles.
8. Vocês podem repetir essa simulação diversas vezes com outros grupos, mas não se esqueçam de sempre coletar a água com um balde, para que não haja sujeira ou desperdício.

Para concluir

1. Resposta pessoal. A montagem do relevo pode ajudar a compreender a morfologia da crosta terrestre e a relacioná-la com os fatores internos do relevo terrestre e com a estrutura interna da Terra.

1 **Esta atividade ajudou vocês a entender o formato da crosta terrestre? De que modo?**

2 **Que semelhanças e diferenças vocês encontraram entre os modelos produzidos pelos grupos? Por que isso ocorreu?** Respostas variáveis. Semelhanças: representação das placas tectônicas, dos continentes e das principais cordilheiras. Diferenças: escala, nível de detalhes, entre outros. A elaboração de modelos envolve a capacidade de criação e a imaginação.

3 **Façam uma pesquisa em *sites* confiáveis sobre as tecnologias utilizadas para determinar o relevo marinho e respondam: De que modo essas tecnologias auxiliam o estudo da crosta terrestre?**
Espera-se que os estudantes mencionem que essas tecnologias podem fornecer informações sobre os recursos presentes nessa camada mais superficial da Terra, que inclui a crosta oceânica e a crosta continental, e contribuir para elucidar a história da formação dos continentes.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

1. a) Uma evidência da agregação de partículas é a formação de corpos de maiores dimensões, como os planetas gigantes Júpiter e Saturno, por exemplo.

3. a) Provavelmente metano (CH_4), amônia (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O).

1 **A teoria de formação do Sistema Solar mais aceita pelos cientistas sugere que a matéria que constitui o Sol, os planetas e os satélites naturais desse sistema se apresentava em forma de partículas dispostas em "redemoinhos" ao redor de um núcleo central, como ilustra a figura a seguir.**

Ilustrações: Cris Alencar/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Representação de matéria cósmica em rotação durante a formação do Sistema Solar. Cores-fantasia.

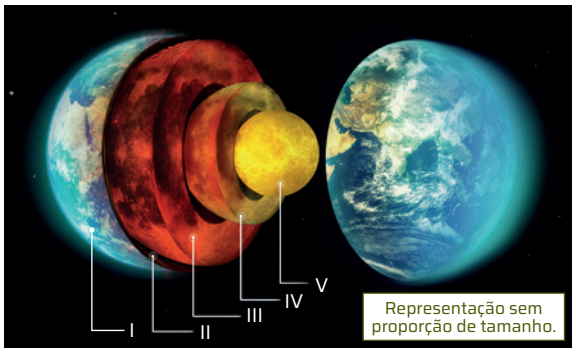
Considerando essa teoria, faça o que se pede.

a) Com o passar do tempo, as partículas foram sendo agregadas em corpos cada vez maiores. Identifique uma evidência que justifique esse fato.

b) De acordo com o item anterior, qual a força responsável por esse fenômeno? A força responsável é a força gravitacional.

c) Identifique evidências que fundamentam a teoria citada no texto.

2 **Analise a figura a seguir, que representa um corte da Terra mostrando algumas de suas camadas. Em seguida, faça o que se pede.**



Cris Alencar/ID/BR

Representação artística das camadas que compõem a Terra. Cores-fantasia.

a) Identifique quais são as camadas representadas por **I**, **II**, **III**, **IV** e **V**. **I** – crosta; **II** – manto externo; **III** – manto interno; **IV** – núcleo externo; **V** – núcleo interno.

b) Descreva qual é o comportamento da temperatura no sentido das camadas **I** a **V**. No sentido das camadas **I** a **IV**, a temperatura aumenta.

c) Além da temperatura, cite duas outras grandezas físicas que são distintas entre as camadas **I** e **V**. A pressão e a densidade.

3 **Durante a formação da Terra, a intensa atividade vulcânica fez com que diversos tipos de gases fossem expelidos. Esse fato, aliado a outros fatores, tornava a composição da atmosfera primitiva da Terra bem diferente da composição atual.**

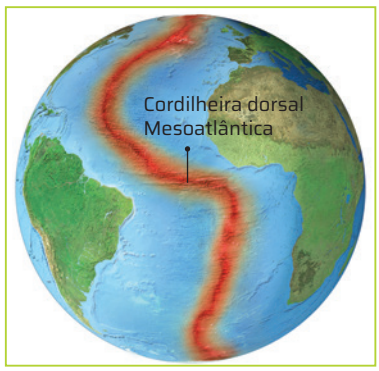
a) Quais eram os principais gases que provavelmente constituíam a atmosfera durante o processo de formação da Terra primitiva?

b) Atualmente, quais são os principais gases que constituem nossa atmosfera? São os gases nitrogênio, oxigênio e argônio.

c) De acordo com o item anterior, pesquise quais desses gases que, tendo sua concentração atmosférica alterada, geram impactos ambientais, como a intensificação do efeito estufa e o consequente aquecimento global. Depois, reúna-se com os colegas para propor ações que possam minimizar a alteração na concentração atmosférica desses gases. O aumento da emissão de gás carbônico e de gás metano é responsável pelo incremento do efeito estufa.

4 **A imagem a seguir mostra a localização de uma cordilheira submarina, a dorsal Mesoatlântica.**

Cris Alencar/ID/BR



Representação sem proporção de tamanho.

4. a) A dorsal Mesoatlântica surgiu entre duas grandes placas continentais, e sua silhueta parece acompanhar a costa dos continentes americano, africano e europeu.

A dorsal Mesoatlântica é uma cadeia montanhosa submarina entre a América e a África. Cores-fantasia.

a) A dorsal Mesoatlântica é considerada uma evidência da Pangeia e das placas tectônicas. Justifique essa afirmação com base no que é mostrado na imagem.

b) Considerando as camadas internas da Terra, procure explicar de que maneira a cadeia dorsal Mesoatlântica teria sido formada e como ocasionou a separação entre os continentes mostrados na imagem. Devido à pressão do interior da Terra, o conteúdo do manto superior extravasou por fissuras na crosta, e parte do material expelido formou a cadeia dorsal Mesoatlântica.

5 **A Lua, satélite natural da Terra, não tem atmosfera. Em virtude disso, marcas geradas na superfície lunar por elementos externos ficam registradas durante um longo intervalo de tempo, como mostram as fotos a seguir.**

NASA/GSFC/Arizona State University

Apolo 11/NASA

Fotos da superfície lunar com marcas da colisão de meteoritos (à esquerda) e da pegada do astronauta estadunidense Neil Armstrong (1930-2012) na Lua (à direita), em 1969.

5. a) e **b)** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

a) Faça uma pesquisa em livros e *sites* confiáveis a fim de encontrar algumas explicações possíveis para que certos astros não contenham atmosfera.

b) Identifique alguns efeitos naturais planetários ocasionados pela atmosfera da Terra. Se necessário, faça mais uma pesquisa em livros e *sites* confiáveis.

1. c) Uma evidência é o fato de os planetas do Sistema Solar orbitarem ao redor do Sol em um único plano, e a outra é a de o sentido de rotação do movimento ser igual para todos eles.

Não escreva no livro.

ESTRELAS

PARA COMEÇAR

1. Quais são os objetos celestes que você conhece?
2. Você sabe qual é a estrela mais próxima da Terra? Qual é a distância entre essa estrela e a Terra?
3. Qual é a segunda estrela mais próxima da Terra?
4. Qual é a fonte de energia das estrelas?

1. Resposta pessoal. Alguns exemplos de objetos celestes: estrelas, planetas, meteoros, exoplanetas, satélites.
2. O Sol. A distância Terra-Sol é de aproximadamente 150 milhões de quilômetros.
3. A segunda estrela mais próxima da Terra é a Proxima Centauri, da constelação do Centauro, a 4,2 anos-luz.
4. A fonte de energia das estrelas são os elementos químicos que elas contêm, os quais são fundidos em elementos mais pesados, liberando luz e calor.

CÉU NOTURNO

As estrelas sempre despertaram a atenção do ser humano e têm sido estudadas desde a Antiguidade.

Hoje, definimos as **estrelas** como imensas esferas de plasma (gás altamente ionizado), com temperaturas altas o suficiente para que ocorram reações de fusão nuclear em seu centro, que são a fonte de energia de seu brilho.

Uma estrela é composta basicamente de hidrogênio (90%) e hélio (de 5% a 10%), além de porcentagens ínfimas de outros elementos. Assim como as nuvens de gás e outros corpos celestes – como os planetas e os satélites (luas) –, as estrelas fazem parte das galáxias.

Mas nem tudo o que vemos brilhando no céu é uma estrela. Alguns planetas do Sistema Solar são facilmente visualizados à noite e são comumente confundidos com estrelas devido ao seu brilho. Vênus, por exemplo, em determinadas épocas do ano, surge ao anoitecer e ao amanhecer e é chamado Estrela d'Alva, quando, na verdade, é um planeta.

Estrelas observadas no céu noturno, em Gramado (RS). Foto de 2021.

Paluque_peru/Shutterstock.com/ID/BR

Não escreva no livro.

ESCALA DE DISTÂNCIA CÓSMICA

A **escala de distância cósmica** é estruturada para medir o espaço linear entre dois corpos celestes com base em diferentes métodos, que se complementam para uma melhor precisão.

Na base da escala, estão os indicadores fundamentais, os quais são determinados diretamente, sem nenhuma relação com o brilho do objeto. O primeiro indicador é denominado **unidade astronômica (ua)**, que equivale à distância entre a Terra e o Sol. Essa unidade é adequada para medir o distanciamento entre os astros dentro do Sistema Solar.

No segundo degrau da escala, estão os dados obtidos pelo método da paralaxe (que será visto ainda neste capítulo), que é geométrico e se utiliza do fato de objetos distantes aparentarem mudar de posição no céu quando observados de diferentes posições orbitais da Terra. Embora seja um método bastante preciso, só pode ser utilizado para objetos próximos à Terra. Objetos mais distantes não apresentam movimento aparente, e assim esse método é limitado a até algumas centenas de anos-luz.

A partir dessas distâncias, é necessário utilizar o conceito de vela-padrão, que fornece uma medida do brilho intrínseco dos astros celestes (exemplos de velas-padrão são as cefeidas e as supernovas). Há procedimentos que permitem o cálculo das distâncias pela intensidade do brilho capturado das luzes emitidas pelo astro. Contudo, não é fácil medir com precisão esse brilho nem identificar corretamente os astros muito distantes.

Medidas astronômicas

Os objetos de nosso cotidiano costumam ter uma dimensão de centímetros a metros, e as distâncias mais corriqueiras são medidas em metro ou em quilômetro. Mas os astros celestes – Lua, planetas, estrelas – são muito maiores que os objetos com que lidamos no dia a dia, e as distâncias cósmicas são de enormes proporções.

A Lua, o objeto astronômico mais próximo da Terra, tem raio de 1 738 km e fica a 384 400 km do nosso planeta. Apenas para comparação: uma volta inteira em torno da Terra, pela linha do Equador, mede cerca de 40 000 km. O Sol, a estrela mais próxima, tem raio de 696 000 km e está a 150 000 000 km (ou $1{,}5 \cdot 10^8$ km) da Terra. Para percorrer toda essa distância, a luz que vem do Sol leva aproximadamente oito minutos para chegar à Terra. Para medir distâncias muito grandes, como as astronômicas, é usual adotar o ano-luz como unidade. Um **ano-luz** corresponde a $9 \cdot 10^{15}$ m.

Depois do Sol, a estrela mais próxima da Terra é a Proxima Centauri, da constelação do Centauro. E, mesmo assim, está a 4,2 anos-luz (ou $4 \cdot 10^{13}$ km) da Terra, ou seja, sua luz leva mais de quatro anos para chegar a nosso planeta. Contudo, a distância até Proxima Centauri, embora muito grande em comparação com as distâncias terrestres, é considerada pequena quando comparada com nossa distância em relação a outros astros do Universo.

André Dib/Pulsar Imagens

Na foto de 2022, captada na Comunidade Kalunga de Vão do Moleque, sítio histórico na Chapada dos Veadeiros, em Alto Paraíso de Goiás (GO), vê-se uma faixa esbranquiçada no céu, que corresponde ao disco da Via Láctea.

Todas as estrelas vistas por nós a olho nu pertencem à **Via Láctea**, galáxia onde está a Terra. Essa galáxia, que se estima que tenha de 200 a 400 bilhões de estrelas, provavelmente apresenta formato espiral. É muito difícil visualizar o formato da Via Láctea com precisão, pois a Terra está no interior do próprio disco galáctico e é cercada de poeira interestelar, que bloqueia parte da luz. Mesmo assim, quando estamos em locais longe das luzes dos grandes centros urbanos, podemos notar, como na foto desta página, uma faixa esbranquiçada cruzando quase todo o céu, que pode ser entendida como o "disco" da Via Láctea. Para compreender o que é esse disco, considere uma pessoa no centro de um disco gigantesco. Ao olhar em direção às extremidades de seu entorno, ela verá uma grande faixa estreita, correspondente às outras áreas do disco.

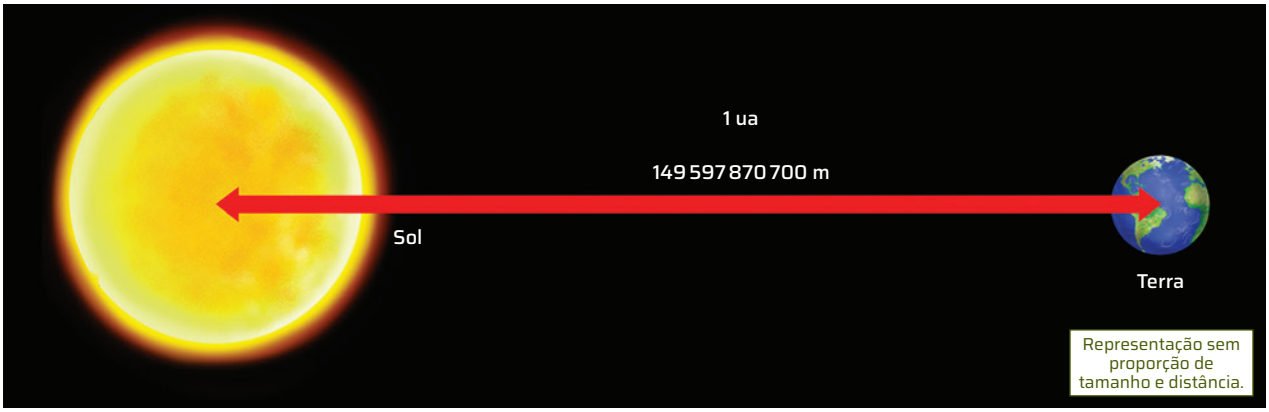
Acredita-se que o Universo contenha centenas de bilhões de galáxias, agrupadas em **aglomerados** e **superaglomerados**. As maiores galáxias chegam a ter trilhões de estrelas e dimensão de milhares de anos-luz. Um aglomerado de galáxias, como o que contém a Via Láctea, tem diâmetro de um milhão de anos-luz, enquanto os superaglomerados chegam a dez vezes esse valor em tamanho e contêm em torno de mil galáxias.

Um superaglomerado pode conter uma centena de aglomerados de galáxias e tem diâmetro de 100 milhões de anos-luz. O Universo é composto de muitos superaglomerados, que estão distribuídos de maneira irregular e estão a grandes distâncias uns dos outros.

Não escreva no livro.

Unidade astronômica

A **unidade astronômica** (**ua**), como já foi dito, representa a distância média da Terra ao Sol. Trata-se de uma medida utilizada para descrever órbitas de planetas e de outros corpos celestes, como cometas.



Reinaldo Vignati/ID/BR

A União Astronômica Internacional definiu, em 2012, um valor constante e padronizado para a unidade astronômica. Cores-fantasia.

Por definição, 1 ua vale 149 597 870 700 m, mas pode ser adotado o valor arredondado de 150 000 000 km.

Veja, a seguir, as distâncias dos planetas ao Sol, em unidade astronômica.

Distância dos planetas ao Sol (em ua)	
Mercúrio	0,4
Vênus	0,7
Terra	1,0
Marte	1,5
Júpiter	5,2
Saturno	9,5
Urano	19,0
Netuno	30,0

A unidade astronômica é um bom parâmetro para medir as distâncias dos planetas do Sistema Solar.

Fonte de pesquisa: Tabela 2: Distâncias do Sol aos planetas. Curso de introdução à astronomia e à astrofísica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), [*s. l.*], [2018]. Disponível em: http://www.inpe.br/ciaa2018/arquivos/oficinas_pdfs/escalonando_Sistema_Solar_tabelas_resp.pdf. Acesso em: 28 set. 2024.

Ano-luz

Apesar de o nome sugerir medida de tempo, o **ano-luz** é uma **medida de comprimento** e equivale à distância percorrida pela luz no período de um ano.

No espaço entre a Terra e o Sol, predomina o vácuo. Como a velocidade da luz no vácuo é constante e vale $3 \cdot 10^8$ m/s, em 1 segundo a luz percorre $3 \cdot 10^8$ m. Um ano tem 365,25 dias de 24 h, e cada hora equivale a 3 600 s. Portanto, para converter um ano em segundos, calcula-se:

$$1 \text{ ano} = 365{,}25 \cdot 24 \cdot 3\,600 \cong 3 \cdot 10^7 \text{ segundos.}$$

Para calcular a distância percorrida pela luz no período de 1 ano, aplica-se a equação da velocidade:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \frac{d}{3 \cdot 10^7} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow d = 3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^7 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow d = 9 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Portanto, um ano-luz equivale a 9 trilhões de quilômetros. Para se ter ideia da imensidão dessa distância, a sonda Voyager 1, lançada ao espaço em 5 de setembro de 1977, quase 47 anos depois, em 15 de janeiro de 2024, estava a mais de 24 bilhões de quilômetros da Terra (0,0028 ano-luz) e viajava a 61 000 km/h.

ROTEIRO

1. Considerando que a sonda Voyager 1 esteja a 20 bilhões de quilômetros de distância da Terra, quanto tempo um sinal de luz emitido por ela demoraria para chegar até nós?

$\Delta t = 6{,}7 \cdot 10^4$ s = 18,5 horas

Não escreva no livro.

Parsec

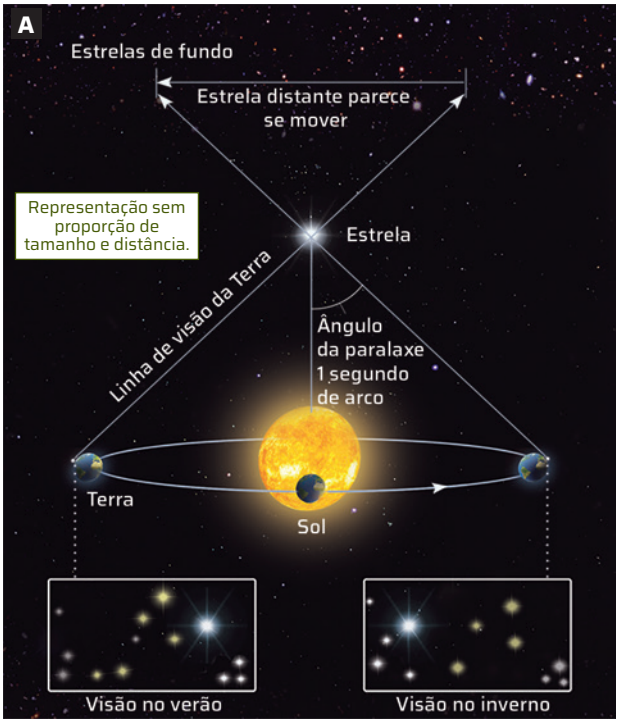
Além da ua e do ano-luz, outra unidade muito utilizada na Astrofísica para mensurar distâncias fora do Sistema Solar é o parsec, unidade de comprimento baseada no fenômeno da paralaxe e na trigonometria.

O **parsec**, simbolizado por **pc**, é definido como a distância na qual 1 ua subtende um ângulo de segundo de arco. Observe a figura **A**, que ilustra uma estrela a 1 pc de distância do Sol.

O parsec é uma unidade que permite medir a distância de um objeto celeste até o Sol pelo deslocamento angular desse objeto no céu quando observado em momentos diferentes do ano – inverno e verão.

Isso é possível pelo efeito de paralaxe, fenômeno que pode ser observado em nosso cotidiano quando vemos algo de diferentes pontos de observação.

Para notar o efeito de paralaxe, podemos fazer o seguinte teste: estique o seu braço, levante apenas um dedo, feche o olho direito, observe um objeto na região do seu dedo e note a posição do seu dedo. Agora, mantendo o dedo na mesma posição, abra o olho esquerdo e feche o olho direito; observe novamente a posição do seu dedo. O que aconteceu? O seu dedo parece mudar de posição, mas, na verdade, o que mudou foi a posição de observação.



Cris Alencar/ID/BR

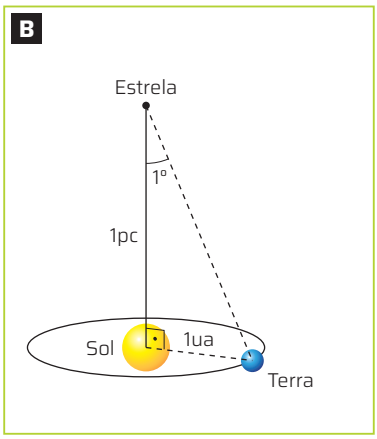
Ilustração da unidade de medida parsec e do efeito da paralaxe.

Fonte de pesquisa: Oliveira Filho, K. de S.; Saraiva, M. de F. O. Determinação de distâncias astronômicas. *In*: *Astronomia e Astrofísica*. Porto Alegre: UFRGS, 2018. Disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/dist/dist.htm. Acesso em: 18 out. 2024.

Para convertermos 1 parsec em unidades astronômicas, temos de lembrar que a circunferência tem 360°, cada grau é equivalente a 60 minutos (60') e cada minuto é dividido em 60'' segundos. Assim, temos que 1 segundo de arco (1'') é equivalente a $\frac{1}{3\,600}$ grau.

Observando o esquema **B** a seguir e aplicando a relação trigonométrica da função tangente, temos:

OracicArt/ID/BR



Representação sem proporção de tamanho e distância.

$$\tan\theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} \Rightarrow \tan 1'' = \frac{1\text{ ua}}{1\text{ parsec}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1\text{ parsec} = \frac{1\text{ ua}}{\tan 1''}$$

Representação esquemática da definição de um parsec.

Como o ângulo é muito pequeno, podemos considerar que o valor da tangente do ângulo de 1'' é aproximadamente o valor do próprio ângulo em radiano, portanto:

$$1\text{ parsec} \simeq \frac{1\text{ ua}}{1''} = \frac{1\text{ ua}}{\frac{1}{3\,600}\cdot\frac{\pi}{180}} = \frac{648\,000}{\pi}\text{ ua} \simeq 206\,264\text{ ua}$$

Assim, 1 pc ≈ 206 264 ua, que, em metro, é aproximadamente $3{,}085 \cdot 10^{16}$ m e, em ano-luz, 1 pc ≈ 3,26 anos-luz. O que significa que um parsec é aproximadamente a distância que a luz percorre em 3,26 anos.

Não escreva no livro.

Tamanhos e distâncias no Sistema Solar

Você tem a ideia do tamanho do Sistema Solar? É difícil até mesmo imaginar o tamanho da Terra, que é um pequeno planeta dentro desse sistema. Para tentar entender a imensidão do Sistema Solar, você vai construir modelos em escala.

Material

- rolo de barbante
- fita adesiva
- balão de festa de tamanho grande (o diâmetro do balão cheio deve ter por volta de 80 cm)
- massa de modelar ou argila
- 4 folhas de papel sulfite A4 colorido
- trena

Como fazer

PARTE A: MODELO EM ESCALA DE TAMANHO

1. Corte um pedaço de barbante de 251 cm e una o barbante com fita adesiva, formando uma argola, e encha o balão até que ele se ajuste à argola de barbante. Esse balão representará o Sol. Faça os modelos dos planetas com a massa de modelar nos diâmetros indicados na tabela.

Astro	Sol	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Diâmetro (mm)	800	2,9	7,0	7,3	3,9	82,1	69,0	29,2	27,9

Fonte de pesquisa: Canalle, J. B. G. *Oficina de Astronomia*. Rio de Janeiro: Uerj, [20--]. p. 23. Disponível em: http://www.telescopiosnaescola.pro.br/oficina.pdf. Acesso em: 28 set. 2024.

2. Escreva o nome dos astros nas folhas de papel sulfite colorido. Coloque o balão e os modelos dos planetas lado a lado e observe as diferenças de tamanho.

PARTE B: MODELO EM ESCALA DE DISTÂNCIA

1. Em um local aberto, marque o Sol na ponta do barbante com uma fita adesiva. Estique o barbante e use a trena para medir a posição dos planetas em relação ao Sol, conforme as distâncias indicadas na tabela a seguir, em que a escala indicada é de 10 milhões de quilômetros para 1 cm. Use a fita adesiva para marcar a posição de cada planeta. Observe as distâncias entre os astros.

Astro	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Distância ao Sol (cm)	5,8	10,8	15,0	22,8	77,8	142,9	287,0	450,5

Fonte de pesquisa: Canalle, J. B. G. *Oficina de Astronomia*. Rio de Janeiro: Uerj, [20--]. p. 22. Disponível em: http://www.telescopiosnaescola.pro.br/oficina.pdf. Acesso em: 28 set. 2024.

2. Ao recriar o Sistema Solar em escala menor, o modelo ajuda os estudantes a perceber e a comparar o tamanho dos astros e as distâncias entre os planetas e o Sol. É possível ver, por exemplo, que a Terra é bem menor que o Sol. É difícil obter uma ideia clara do real tamanho dos corpos celestes e das distâncias entre os planetas e o Sol, pois são extensões astronômicas, muito maiores do que aquelas com que lidamos no cotidiano. Se preciso, auxilie os estudantes nessa discussão.

Para concluir

1 **Observe os modelos e responda às questões.**

a) Será que todos os planetas do Sistema Solar caberiam dentro do Sol? Comente.
Sim. Caso julgue oportuno, peça aos estudantes que calculem o volume do Sol e o de todos os planetas do Sistema Solar para verificar.

b) Compare a distância dos planetas rochosos entre si e dos planetas gasosos entre si. Há diferenças? Justifique.
Sim. A distância dos planetas rochosos entre si é menor que a distância dos planetas gasosos entre si. Outras comparações podem ser feitas. A intenção é que os estudantes percebam que esse tipo de modelo possibilita a compreensão do tamanho dos astros e das distâncias entre eles, ainda que de forma limitada.

2 **De que maneira esses modelos possibilitam o estudo dos tamanhos dos corpos celestes do Sistema Solar e das distâncias entre eles?**

Não escreva no livro.

CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRELAS

A aparência e a evolução das estrelas são determinadas por sua composição química e por sua massa, que é a propriedade mais marcante. As estrelas são classificadas nos três grandes grupos mostrados no quadro a seguir. A ordem de grandeza tem a massa do Sol (*M*), de $1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg, como referência.

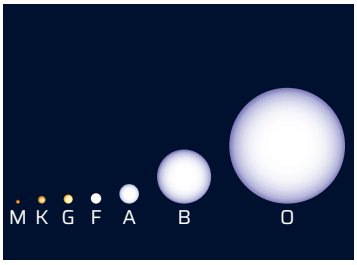
Massa de cada tipo de estrela		
Anã	Intermediária	Gigante
Pequena, da ordem de $1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg (massa do Sol, que é uma anã).	Valor intermediário entre a massa das anãs e a das gigantes; da ordem de cinco vezes a massa do Sol.	Vinte vezes ou mais a massa do Sol.

Fonte de pesquisa: Maciel, W. J. *Introdução à estrutura e evolução estelar*. São Paulo: Edusp, 1999.

Apesar de útil, essa primeira classificação das estrelas (segundo sua massa) não reflete a diversidade delas. Com o avanço dos estudos sobre as estrelas, foi preciso buscar outros critérios para chegar a uma classificação menos generalizada.

Em 1901, a cientista estadunidense Annie Jump Cannon (1863-1941) classificou as estrelas em sete tipos (*O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M*), de acordo com as linhas espectrais observadas na luz emitida (veja imagem ao lado). As linhas espectrais estão intimamente relacionadas com a temperatura superficial das estrelas e, de forma indireta, com sua massa.

O quadro a seguir apresenta esses grupos e suas propriedades principais, novamente tomando os dados do Sol como referência. Nessa classificação, as estrelas gigantes passaram a ser do tipo *O*, enquanto as menores foram classificadas como tipo *M*. Nosso Sol está classificado como uma estrela *G*.



Adilson Secco/ID/BR

Comparação das estrelas de cada classe espectral. Cores-fantasia.

	Propriedades				
Tipo de estrela	Temperatura (K)	Cor	Massa (M_{Sol})	Brilho (L_{Sol})	Porcentagem entre as estrelas conhecidas
O	> 30 000	azulada	> 16	> 30 000	≅ 0,00003%
B	10 000-30 000	branco-azulada	2,1-16	25-30 000	0,13%
A	7 500-10 000	branca e branco-azulada	1,4-2,1	5-25	0,6%
F	6 000-7 500	branca	1,04-1,4	1,5-5	3%
G	5 200-6 000	branco-amarelada	0,8-1,04	0,6-1,5	7,6%
K	3 700-5 200	laranja-amarelada	0,45-0,8	0,08-0,6	12,1%
M	< 3 700	vermelho-alaranjada	< 0,45	< 0,08	76,5%

Fonte de pesquisa: Maciel, W. J. *Introdução à estrutura e evolução estelar*. São Paulo: Edusp, 1999.

Ordem de grandeza

Em algumas situações, o valor exato de uma medida é irrelevante. Quando isso acontece, é comum dar como resultado a potência de 10 mais próxima do valor exato. Esse resultado aproximado é chamado **ordem de grandeza**.

Para determinar a ordem de grandeza de um número, primeiro devemos escrevê-lo em notação científica, isto é, na forma $N = x \cdot 10^n$. Em seguida, comparamos x com 3,162 se $x \geqslant 3{,}162$, a ordem de grandeza do número é 10^{n+1}; se $x < 3{,}162$, a ordem de grandeza do número é 10^n.

Leia o exemplo a seguir.

- O Sol, por exemplo, tem raio com medida aproximada de 696 000 000 m. Usando a notação científica, temos: 696 000 000 m = $6{,}96 \cdot 10^8$ m. Como $6{,}96 > 3{,}162$, concluímos que a ordem de grandeza do raio do Sol é 10^9 m.

DE OLHO NO CONCEITO

Fusão nuclear: reação nuclear que consiste em unir núcleos leves, como os isótopos do hidrogênio, transformando-os em um novo núcleo, com número atômico maior. Nesse processo, muita energia é liberada.

O combustível estelar

Durante muito tempo, buscou-se saber qual seria a fonte de energia das estrelas. Em 1938, o físico germano-estadunidense Hans Bethe (1906-2005) propôs uma solução para a questão: essa energia provinha de reações termonucleares que ocorrem no núcleo estelar. Tais reações consistem na conversão de quatro núcleos de hidrogênio (H) em um núcleo de hélio (He) e liberam imensas quantidades de energia. O núcleo das estrelas contém 10% de sua massa total.

A temperatura mínima para que as reações termonucleares ocorram é da ordem de dezenas de milhões de kelvin, e, no Sol, estima-se que a temperatura do núcleo atinja 15 milhões de kelvin.

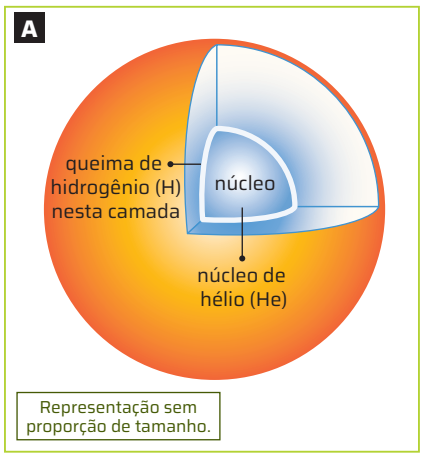
A energia liberada pelas reações nucleares provoca um grande aquecimento no gás que constitui a estrela, agitando suas moléculas. Essa agitação exerce, no restante da massa da estrela, a chamada **pressão térmica**. As radiações emitidas nesse processo também exercem, no restante da massa estelar, uma pressão, chamada **pressão radioativa**. A soma das duas pressões é suficiente para suportar a **pressão gravitacional** que a massa das camadas externas exerce em direção ao centro da estrela, o que evita que ela entre em colapso. Estima-se que uma estrela como o Sol permaneça nesse estágio de equilíbrio por cerca de 10 bilhões de anos.

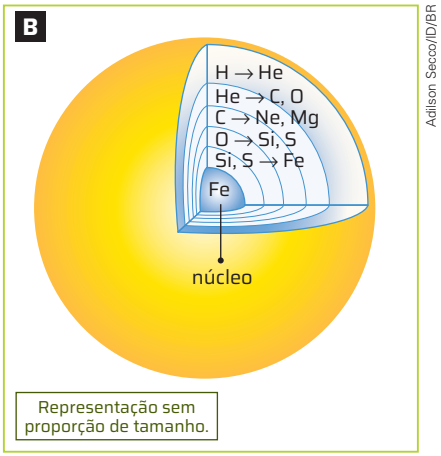
As gigantes vermelhas

Para toda estrela, eventualmente o hidrogênio (H) presente no núcleo se esgota, por ter sido completamente transformado em hélio (He). Quando isso acontece, as regiões centrais da estrela começam a se contrair, pois a pressão gravitacional torna-se maior que a soma das pressões térmica e radioativa.

O aumento da pressão causa o reaquecimento do plasma. Em uma camada acima do núcleo estelar, esse aquecimento pode levar à fusão dos núcleos de hidrogênio (H) em hélio (He) . Essa reação de fusão aquece mais ainda o gás da estrela, e ela se expande enormemente. Nesse estágio de expansão, a estrela é chamada de **gigante vermelha**. Se a estrela tiver massa suficiente, a temperatura em seu núcleo pode atingir 100 milhões de kelvin, temperatura necessária para iniciar a conversão de três núcleos de hélio em núcleos de elementos como o carbono e o oxigênio. Calcula-se que, quando essa expansão acontecer com o Sol, seu raio corresponderá a 100 vezes o raio atual.

A seguir, tem-se a representação dessa queima dos combustíveis nucleares nas camadas da estrela.





Representações das camadas de queima dos combustíveis nucleares. Na figura **A**, há uma estrela evoluída, queimando hélio (He) no núcleo e hidrogênio (H) na camada ao redor do núcleo. Na figura **B**, há uma estrela de grande massa, com várias camadas circuncêntricas, representando a fusão nuclear dos vários elementos. Cores-fantasia.

Não escreva no livro.

O DESTINO DAS ESTRELAS

Passados os estágios de gigante vermelha, após mais alguns milhões de anos realizando a fusão do hélio em elementos mais pesados, como o carbono, o hélio também se esgota no núcleo da estrela.

Podem ocorrer, então, dois cenários:

- No caso de estrelas pouco massivas, como o Sol, a fornalha do núcleo não se acende mais, pois a temperatura central não é alta o suficiente para fundir elementos mais pesados que o carbono. Desse modo, a estrela se contrai pela ação gravitacional até que os processos quânticos associados aos elétrons tomem proporções suficientes para equilibrar essa atração. Como resultado, surge uma estrela com raio igual ao da Terra, isto é, cem vezes menor que o raio atual do Sol. Nesse processo de contração, a densidade estelar aumenta devido ao aumento da concentração de massa em um volume que é constante. Surge, assim, um corpo celeste chamado de **anã branca**, composto basicamente de carbono e oxigênio. Antes de a estrela se transformar em uma anã branca, um terço de sua massa é lançada ao espaço interestelar. Esse material ejetado, resultante da instabilidade do processo de envelhecimento de uma estrela, constitui a **nebulosa planetária**, como a mostrada na foto a seguir.

NASA/ESA/Hubble

Foto da nebulosa Borboleta, uma nebulosa planetária. Imagem obtida pelo telescópio Hubble em 2013. Cores-fantasia.

- Para estrelas mais massivas, o processo se reinicia com o núcleo se contraindo, atingindo temperaturas cada vez mais altas, capazes de transformar o próximo combustível nuclear. De maneira gradual, a fusão ocorre entre os elementos químicos de número atômico cada vez mais elevado. Nessa fase, como os elementos são fundidos em camadas esféricas sucessivas em torno do núcleo, a estrela se assemelha a uma cebola – as estrelas gigantes apresentam massa suficiente para atingir o estágio de "cebola" (representado na página anterior). Na região central da estrela, os núcleos de enxofre (S) e silício (Si) são transformados em núcleos de ferro (Fe). Quando resta apenas ferro no centro, as reações nucleares cessam e o núcleo das gigantes se contrai até os elétrons serem forçados a se deslocar para o interior do núcleo atômico, devido a gigantescas forças gravitacionais, e ocorre a transformação de pares de elétrons e prótons em nêutrons. Os efeitos quânticos dos nêutrons geram forças que levam o corpo celeste para seus estágios finais.

Reação nuclear	Temperatura mínima (K)
$4\,{}^{1}H \rightarrow {}^{4}He$	8 milhões
$3\,{}^{4}He \rightarrow {}^{12}C$	100 milhões
$2\,{}^{12}C \rightarrow {}^{24}Mg$	1 bilhão

Temperaturas mínimas necessárias para que cada reação nuclear ocorra.

AÇÃO E CIDADANIA

Astronomia amadora no Brasil

A Astronomia é uma ciência complexa, mas ela não é feita apenas por acadêmicos e cientistas de grandes agências espaciais, nem se limita aos que têm acesso a poderosos telescópios. Em todo o mundo, uma gigantesca comunidade de astrônomos amadores também observam o céu, fazem descobertas de novos objetos e fenômenos espaciais e promovem a divulgação científica.

No Brasil não é diferente. Existem grupos amadores de Astronomia em grandes e pequenas cidades, geralmente organizados por alguém mais experiente e apaixonado pelo assunto. Esses grupos organizam observações noturnas do céu e eventos, e mais pessoas são atraídas para participar dessas atividades. [...]

CAVALCANTE, D. Astronomia amadora: conheça grupos que fazem encontros pelo Brasil. *Canaltech*, [*s. l.*], 18 nov. 2019. Disponível em: https://canaltech.com.br/espaco/astronomia-amadora-conheca-grupos-que-fazem-encontros-pelo-brasil-154775/. Acesso em: 29 set. 2024.

Caso tenha interesse em se juntar a algum grupo amador de Astronomia, acesse o *site* do Grupo de Apoio em Eventos Astronômicos (GaeA), disponível em http://gaea-astronomia.blogspot.com/2018/05/censo-brasileiro-de-instituicoes_30.html (acesso em: 29 set. 2024), e procure o mais próximo da região em que mora.

Astronomia amadora

Estágios finais das estrelas

O destino final de uma estrela, após a exaustão de todo o combustível nuclear, dependerá da massa inicial dessa estrela (a quantidade de massa que havia no momento do nascimento da estrela) e de sua interação com outras estrelas.

Uma estrela pode ser simples e isolada, ou fazer parte de um sistema com múltiplas estrelas, em que há interação; nessa segunda situação, pode haver troca de massa entre elas.

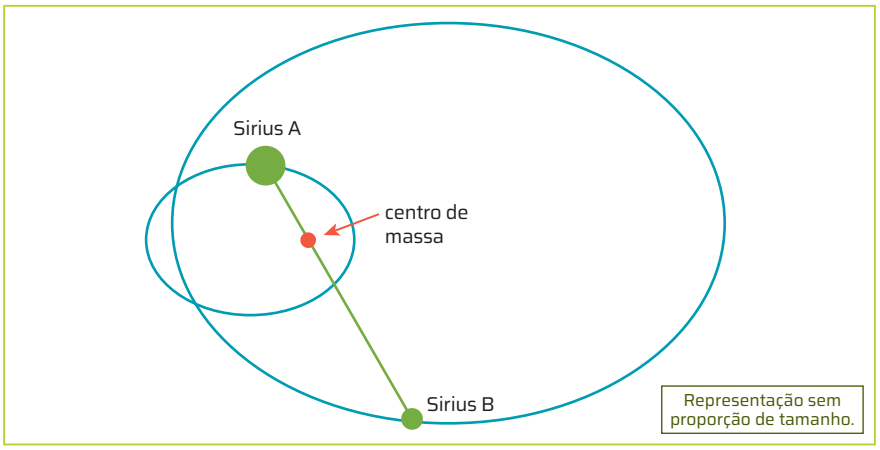
Cerca de 60% das estrelas se encontram em sistemas **binários** ou **múltiplos**. No sistema binário, duas estrelas orbitam um baricentro (centro de massa) comum. A estrela mais brilhante é chamada **primária**, e a menos brilhante, **companheira** ou **secundária**. No esquema a seguir tem-se um exemplo de sistema binário.

PARA EXPLORAR

Leia

***Bilhões e bilhões*, de Carl Sagan. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.**

A obra é uma coletânea de artigos de Sagan sobre a vida e a morte – do Universo ou de uma única pessoa. Destaque para a discussão lúcida e sensível que ele faz da própria doença, um câncer que acabou levando-o à morte.



ID/BR

O sistema binário Sirius é composto de uma estrela tipo A (Sirius A) e uma anã branca (Sirius B) e está localizado na constelação do Cão Maior. Cores-fantasia.

Nebulosas planetárias e anãs brancas

Apesar da denominação **nebulosa planetária**, essa categoria tem origem na evolução histórica da Astronomia: observadas pelos telescópios ópticos do século XVIII, as nebulosas planetárias tinham aparência similar à dos planetas gigantes, o que lhes rendeu essa denominação.

Hoje sabemos que parte da formação de uma nebulosa planetária provém do material ejetado por uma estrela antes de se tornar uma **anã branca**, ou seja, nebulosas planetárias são resultantes da instabilidade do envelhecimento de uma estrela.

O tempo de vida de uma nebulosa planetária é relativamente curto (da ordem de dezenas de milhares de anos) quando comparado ao tempo de vida das estrelas (da ordem de 10 bilhões de anos).

NASA, ESA, HEIC, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) Acknowledgment: R. Corradi (Isaac Newton Group of Telescopes, Spain) and Z. Tsvetanov (NASA)

Imagem da nebulosa planetária chamada Olho de Gato, obtida em 2017 pelo Telescópio Espacial Hubble da Nasa.

Não escreva no livro.

Supernovas, pulsares e buracos negros

Nos estágios finais de vida das estrelas de com mais de dez massas solares, quando a contração do núcleo cessa de forma abrupta, as camadas de gás do restante da estrela são ejetadas para o meio interplanetário em uma gigantesca explosão, que dura alguns segundos. O brilho gerado durante essa explosão rivaliza com o da galáxia como um todo e pode ser visto a enormes distâncias. Por associação com o surgimento de uma nova estrela, esse fenômeno foi chamado de **supernova**.

Para estrelas de até 25 massas solares, em um momento posterior à supernova, resta o núcleo supercompactado da estrela, composto quase exclusivamente de nêutrons e com diâmetro de cerca de 10 quilômetros. Esse núcleo é chamado de **estrelas de nêutrons** e apresenta campos magnéticos extremamente intensos nos polos, onde são formados cones de radiação, incluindo a luz visível. Em certas ocasiões – quando ocorre desalinhamento entre o eixo de rotação e o eixo do campo magnético da estrela e esse segundo eixo encontra-se em posição de interceptar a direção da Terra –, é possível enxergar, de nosso planeta, o cone de luz intermitente, como um farol. Por isso, esses objetos são chamados **pulsares**.

Quando a massa inicial da estrela for maior que 25 massas solares, a pressão gravitacional será forte a ponto de não ser afetada pela pressão oriunda dos efeitos quânticos dos nêutrons. Nesse caso, o estágio final do processo é um **buraco negro**, no qual toda a massa da estrela torna-se concentrada em um ponto com atração gravitacional de tal intensidade, que nem a luz consegue escapar e é atraída gravitacionalmente para dentro do buraco. Os buracos negros podem ser formados pelo colapso de estrelas, mas também por outros processos ligados à dinâmica das galáxias que ainda estão sendo estudados, como é o caso da formação de buracos negros supermassivos.

ROTEIRO

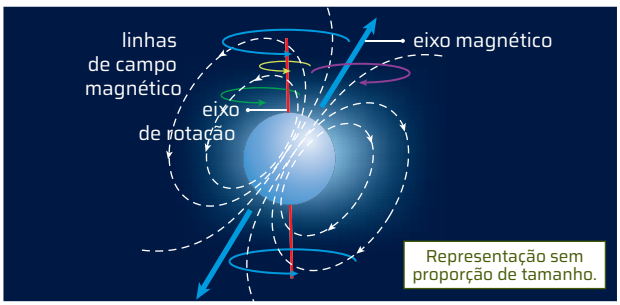
2. Construa uma tabela com o possível estágio final de evolução do tipo de estrela descrito em cada item.

a) Estrela de baixa massa, como o Sol.

b) Estrela com 10 massas solares.

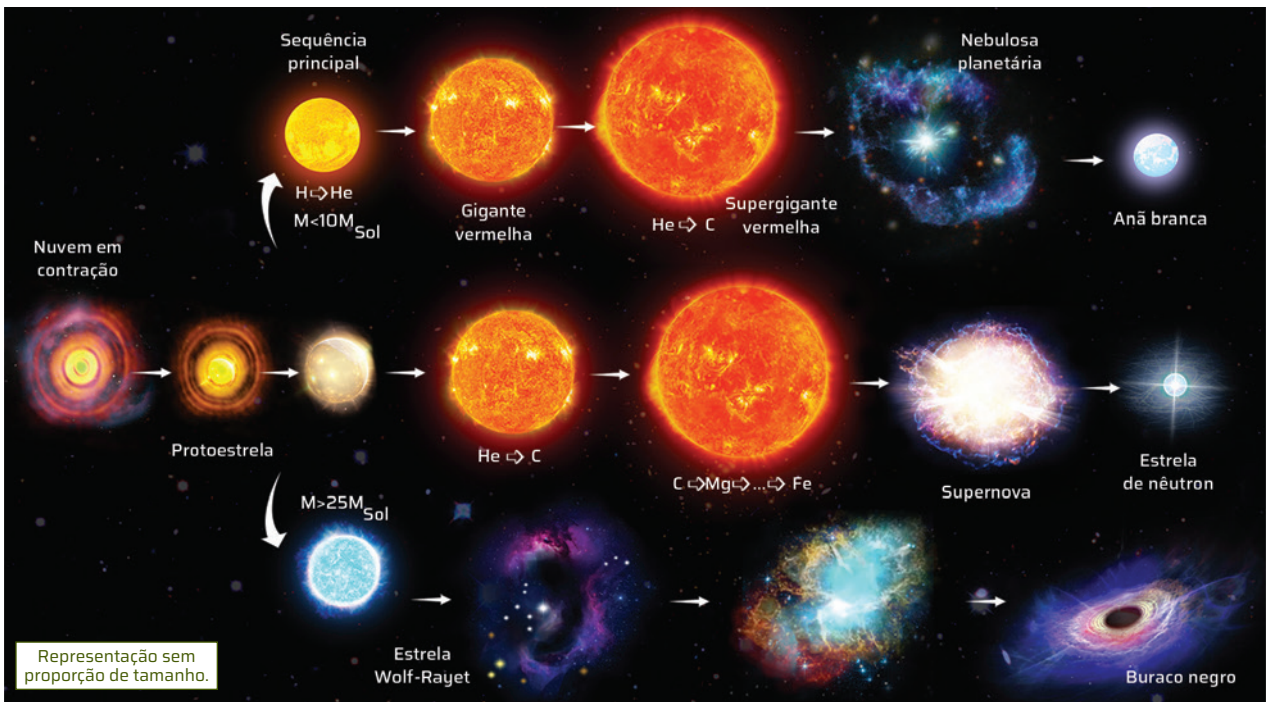
c) Estrela com 50 massas solares.

Espera-se que os estudantes construam uma tabela com as seguintes informações: **a)** anã branca; **b)** estrela de nêutrons; **c)** buraco negro.



Adilson Secco/ID/BR

Modelo de um pulsar. As linhas de campo magnético distribuem-se em torno do eixo magnético, que não coincide com o eixo de rotação da estrela. Cores-fantasia.



Cris Alencar/ID/BR

Modelo resumido da evolução de uma estrela, no qual temos: *M*: massa da estrela; M_{Sol}: massa do Sol; He: hélio; C: carbono; protoestrela: estrela em nascimento; estrela Wolf-Rayet: estrela oriunda da evolução de estrelas de alta massa (acima de 25 M_{Sol}), com envoltório de poeira e gás ejetado da estrela por forte pressão de radiação; estrela de nêutrons: estrela composta principalmente de nêutrons. Cores-fantasia.

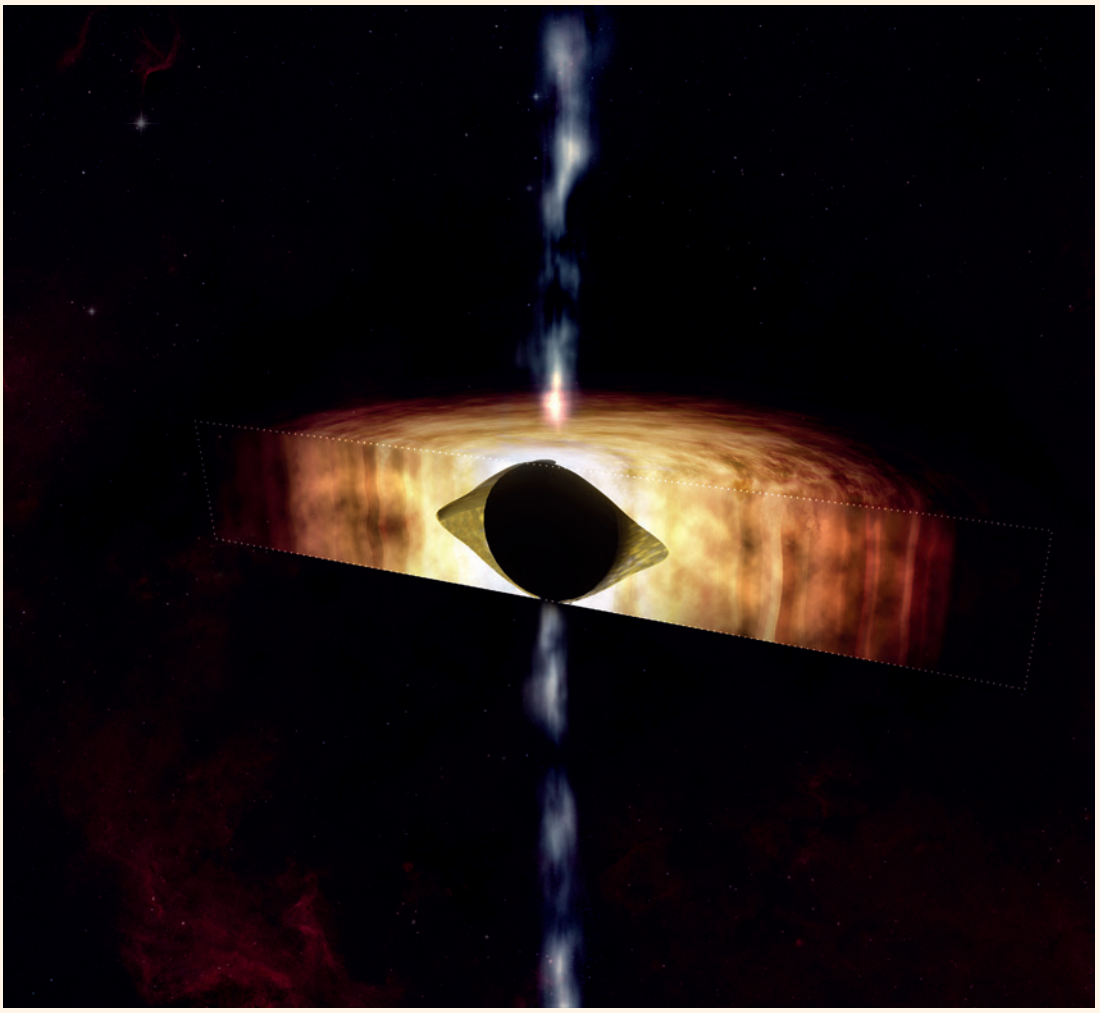
Fonte de pesquisa: NASA. NASA`s flagship mission for X-ray astronomy. Chandra X-Ray Observatory, 23 ago. 2017. Disponível em: https://chandra.harvard.edu/resources/illustrations/stellar_evolution.html. Acesso em: 18 out. 2024.

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

BURACO NEGRO

Buracos negros são objetos astronômicos frequentemente em destaque em notícias de divulgação científica, especialmente quando se trata de um buraco negro em nossa vizinhança, na nossa galáxia. Podemos dizer que buracos negros são objetos relativamente comuns; estima-se que existam na Via Láctea cerca de 100 milhões de buracos negros de massa estelar, ou seja, buracos que foram formados a partir do processo de evolução de uma estrela. Além desses, também existem outros tipos de buraco negro, que são os chamados de supermassivos. Em nossa galáxia, localizado no centro, encontra-se o buraco negro supermassivo chamado de Sagittarius A*. Muitas pesquisas têm sido realizadas para entender o comportamento dos buracos negros a partir de dados do Sagittarius A*, como o estudo a seguir.

Sagittarius A* ganha cada vez mais força, chegando a deformar o espaço-tempo e adquirir formato de bola de futebol, segundo astrônomos descobriram com observatórios.



NASA/CXC/Melissa Weiss

Ilustração retratando buraco negro no centro da Via Láctea girando mais rápido.

Pesquisadores norte-americanos realizaram novas descobertas sobre o buraco negro supermassivo Sagittarius A* (Sgr A*), localizado no centro da Via Láctea, a cerca de 27 mil anos-luz do Sistema Solar. [...]

Não escreva no livro.

Um buraco negro pode ser caracterizado como uma região do espaço onde a força gravitacional é tamanha que atrai para si tudo que se aproxima [dela]. Diferentemente dos buracos negros estelares, originados pela morte de grandes estrelas, os supermassivos são compostos [...] [de] aglomerados de milhões de estrelas [...]. Eles são caracterizados pelo seu alto grau de intensidade gravitacional.

Com base em cálculos das propriedades do Sgr A*, os pesquisadores descobriram que o buraco negro está girando com uma velocidade angular que é cerca de 60% do valor máximo possível. Isso indica que o buraco negro está extremamente acelerado, o que causa o esmagamento do espaço-tempo ao seu redor.

Uma ilustração compartilhada pela Nasa (veja [...] a foto da página anterior) mostra como o buraco tomou a forma de uma bola de futebol. Quanto mais rápido é seu giro [,] ele vai adquirindo um formato mais achatado. O gás representado em amarelo-alaranjado está em rotação ao redor de Sgr A*.

À medida que esse material se aproxima do buraco negro, ele inevitavelmente mergulha em direção ao círculo preto em seu centro, chamado de horizonte de eventos. Essa é a área onde nem mesmo a luz consegue escapar da atração gravitacional. A região ao lado do horizonte de eventos é colocada como uma cavidade.

NASA/CXC/Universidade de Wisconsin/Y. Bai *et al.*

Imagem de raios X do Chandra de Sagitário A* e região circundante.

Já os pontos azuis representam jatos emitidos dos polos do buraco negro quando sua energia de rotação é extraída. Para que isso ocorra, é necessário que exista ao menos alguma matéria próxima.

Devido à quantidade limitada de matéria ao redor de Sgr A*, sua atividade ainda é relativamente baixa nos últimos milênios, resultando em jatos fracos. No entanto, o novo estudo sugere que tal cenário poderia se modificar caso a quantidade de material próximo ao Sgr A* aumentasse.

Buraco negro no centro da Via Láctea está girando mais rápido, aponta estudo. *Galileu*, [*s. l.*], 17 fev. 2024. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/ciencia/espaco/noticia/2024/02/buraco-negro-no-centro-da-via-lactea-esta-girando-mais-rapido-aponta-estudo.ghtml. Acesso em: 29 set. 2024.

PARA EXPLORAR

Leia

Dia histórico para a ciência: revelada a primeira imagem de buraco negro

A reportagem de Luiza Caires, publicada no *Jornal da USP*, relata o feito histórico da primeira imagem de um buraco negro realizado pelo Telescópio de Horizonte de Eventos (EHT).

Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/dia-historico-para-a-ciencia-revelada-a-primeira-imagem-de-buraco-negro/. Acesso em: 18 out. 2024.

Para discutir

1 **Onde está localizado o buraco negro citado no texto? Esse buraco negro pode ter se originado de uma estrela?** O buraco negro Sagittarius A* (Sgr A*) está localizado no centro da Via Láctea, a cerca de 27 mil anos-luz do Sistema Solar. Esse buraco negro é supermassivo, formado por aglomerados de milhões de estrelas, portanto, não pode ter se originado de uma estrela.

2 **O que significa o horizonte de eventos de um buraco negro?**
É a região ao redor do buraco negro em que a gravidade é tão intensa que nem a luz escapa dessa atração.

3 **Explique como a captura de imagens de buracos negros pode ajudar a entender suas propriedades.**
As imagens de buracos negros podem mostrar detalhes sobre sua estrutura, o horizonte de eventos, jatos de matéria e características de rotação, como foi observado no buraco negro mencionado no texto.

Não escreva no livro.

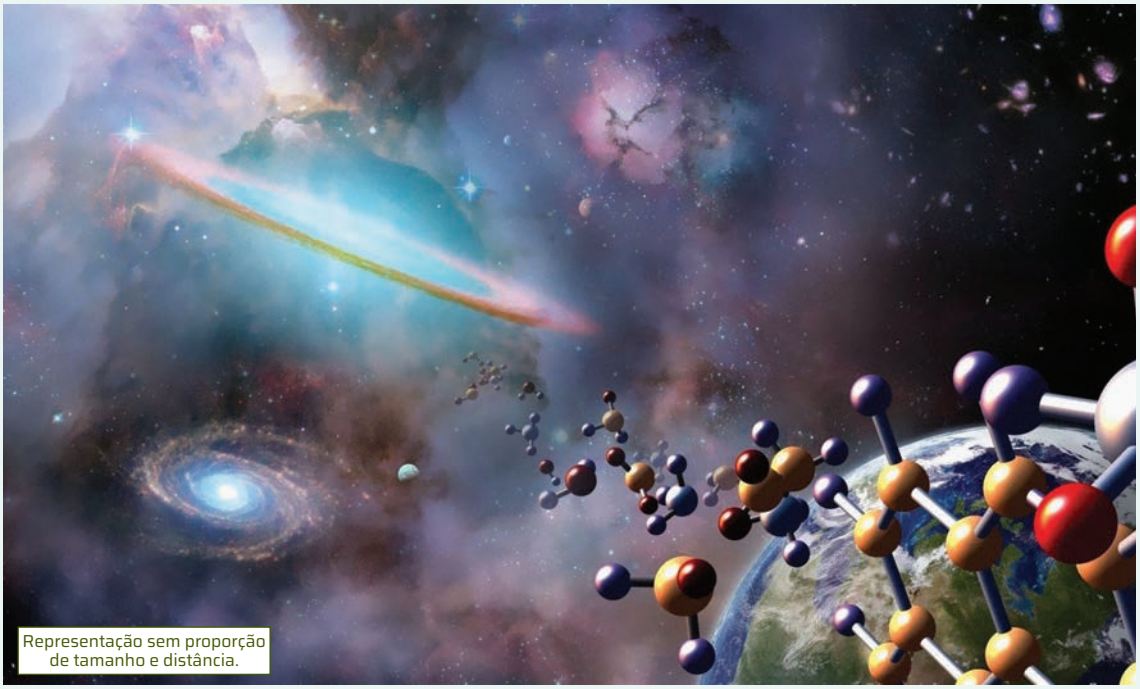
FÍSICA E QUÍMICA

QUÍMICA DAS ESTRELAS

Em Astrofísica – a parte da Física que estuda os objetos astronômicos –, é possível determinar o tamanho, a temperatura, a órbita e outras informações sobre as estrelas. Mas, além dessas características físicas, é possível conhecer com detalhes a composição química desses corpos, o que nos fornece muitas informações sobre uma estrela e sua história.

Uma das fronteiras atuais de pesquisa de exoplanetas, planetas fora do Sistema Solar, procura identificar no espectro de estrelas linhas de absorção para moléculas como gás carbônico, vapor de água e metano. O objetivo seria selecionar estrelas que apresentem atmosferas ricas nessas moléculas, para observações mais detalhadas dos planetas que as orbitam, em busca de formas de vida como as que conhecemos.

Para identificar os elementos químicos que existem na atmosfera de uma estrela, utiliza-se uma técnica chamada **espectroscopia**, que é aplicada tanto na Química como na Física. Na espectroscopia é realizada a análise da luz emitida pela estrela, separando-a em componentes, de forma semelhante ao que acontece em um prisma. A estrela emite luz na maioria das frequências, e parte dessa luz pode ser absorvida pelos elementos presentes em sua atmosfera. Cada elemento químico absorve e emite luz em um conjunto de frequências específicas – o espectro –, que é único, assim como uma "impressão digital". Assim, ao captar e analisar o espectro de luz da estrela, é possível determinar, com boa precisão, sua composição química comparando o aspecto total obtido da superposição de linhas individuais características de cada elemento químico.



Jenny Mottar/NASA

Representação artística dos processos da Astrofísica e da Astroquímica envolvidos na formação de estrelas e planetas.

Atualmente, sabemos que estrelas são compostas dos mesmos elementos químicos presentes na Terra, como hidrogênio, hélio, carbono, oxigênio, etc. Além disso, hoje é possível fazer medidas detalhadas da proporção desses elementos, o que pode revelar dados sobre a formação e a evolução de uma estrela, além de seu estágio evolutivo. Por exemplo, a quantidade de lítio observada no espectro de uma estrela tem sido correlacionada com a presença de exoplanetas rochosos. Alguns estudos sugerem que estrelas com baixa abundância de lítio podem indicar a existência de exoplanetas rochosos em suas órbitas.

Não escreva no livro.

Essa característica [a estrela ter menos lítio] pode ser resultado do processo de formação do Sistema Solar. "Todo sistema planetário – composto tanto pela estrela quanto por seus planetas – é formado a partir de uma mesma nuvem de gás e poeira. Portanto, eles têm os mesmos elementos químicos disponíveis para a sua formação. Elementos que não são facilmente condensados a altas temperaturas [como o hidrogênio ou o nitrogênio] são encontrados geralmente em forma gasosa e são usados para compor a estrela e os planetas gasosos", explicou à Assessoria de Imprensa do IAG-USP [Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo] a astrônoma Anne Rathsam, autora principal do estudo e bolsista de doutorado da Fapesp.

"Por outro lado, elementos que se condensam com facilidade [por exemplo, o lítio e o ferro] formam sólidos, como os planetas rochosos. Sendo assim, é possível que o lítio seja 'roubado' da nuvem-mãe durante a formação dos sistemas planetários para compor os planetas, deixando a estrela hospedeira empobrecida em lítio", acrescentou.

Agência Fapesp. Astrônomos brasileiros estudam química estelar em busca de exoplanetas. *Galileu*, [*s. l.*], 13 nov. 2023. Disponível em: https://revistagalileu.globo.com/ciencia/espaco/noticia/2023/11/astronomos-brasileiros-estudam-quimica-estelar-em-busca-de-exoplanetas.ghtml. Acesso em: 29 set. 2024.

Goddard Space Flight Center/NASA

Tabela Periódica indicando a origem dos elementos químicos.

1. Cada elemento químico emite e absorve luz em uma frequência específica. A espectroscopia é uma técnica que permite a identificação dessas frequências, o que revela os elementos químicos ali presentes.

Conecte as ideias

5. Planetas que sejam adequados para a manutenção da vida como a conhecemos precisam ter temperatura adequada, a presença de determinados elementos químicos e devem ser, preferencialmente, rochosos. Dessa forma, a análise dos elementos químicos de uma estrela e/ou de um planeta é uma ferramenta útil para a busca de tais condições.

1 Como a análise espectroscópica contribui para identificar os elementos químicos de uma estrela?

2 Por que é importante, na Astrofísica, conhecer os elementos químicos de uma estrela?
Porque a composição química das estrelas revela muitas informações sobre elas, como a idade, o estágio evolutivo e a presença de planetas em sua órbita.

3 Para a vida na Terra, a água e o oxigênio são essenciais. Mas também há outros elementos fundamentais, como os metais ferro, cobre e zinco, entre outros. Quais são as características dos metais e onde são formados? Metais apresentam boa condutibilidade elétrica e térmica, maleabilidade, ductibilidade e brilho metálico. Em ligações químicas, têm tendência a perder elétrons, formando cátions. Metais são formados em estrelas, seja em processos de fusão nuclear, seja em eventos mais drásticos, como explosões de supernovas.

4. Comente a relação de uma estrela apresentar baixa concentração de lítio com a existência de planetas rochosos no sistema planetário dessa estrela. Espera-se que os estudantes comentem que as pesquisas indicam que uma estrela pode ter menor concentração de lítio, porque esse elemento foi consumido na formação de planetas rochosos.

5 De que modo os avanços na área de análise dos elementos químicos de estrelas e planetas podem contribuir para a busca de planetas habitáveis?

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Considere os seguintes corpos:**

- formiga;
- Terra;
- Sol;
- superaglomerado de galáxias;
- galáxia;
- ser humano;
- cidade;
- Sistema Solar;
- aglomerado de galáxias.

Coloque-os em ordem crescente de tamanho e estime sua ordem de grandeza.

Resolução

Podemos organizar os corpos citados e as correspondentes dimensões em uma tabela:

Corpo	Dimensão
Formiga	0,2 a 1 cm = 2 a 10 · 10^{-6} km
Ser humano	1 a 2 m = 1 a 2 · 10^{-3} km
Cidade	1 a 10 km
Terra	6 400 km
Sol	6,9 · 10^{5} km
Sistema Solar	100 ua = 1,5 · 10^{10} km
Galáxia	10^{18} km
Aglomerado de galáxias	10^{6} anos-luz = 10^{19} km
Superaglomerado de galáxias	10^{8} anos-luz = 10^{21} km

2 **Indique as escalas espaciais tomadas como referência na Astronomia.**
Utilizam-se frequentemente unidades como ano-luz e unidade astronômica.

3 **Identifique qual(is) é (são) a(s) unidade(s) mais apropriada(s) para medir distâncias astronômicas:**

a) no Sistema Solar; unidade astronômica

b) na Via Láctea; ano-luz

c) em um aglomerado de galáxias; ano-luz

d) em distâncias cósmicas. ano-luz e parsec

4. Os aglomerados são grupos com algumas centenas de galáxias. Os superaglomerados são aglomerados de galáxias com milhões de anos-luz de diâmetro e que reúnem milhares de galáxias.

4 **Cite as diferenças entre um aglomerado de galáxias e um superaglomerado de galáxias.**

5 **Indique a fonte de energia das estrelas e descreva, resumidamente, o processo que produz essa energia.** A fonte de energia das estrelas é a fusão nuclear. Nesse processo, os núcleos de hidrogênio, de hélio ou de outros elementos mais pesados se fundem, liberando uma imensa quantidade de energia.

6 **Explique o que acontece com cada uma destas estrelas quando o combustível hélio se esgota em seu núcleo:**

a) estrela pouco massiva; **6. a)** Quando cessa o hélio de uma estrela de pouca massa, essa estrela não faz mais reações nucleares, pois não há temperatura suficiente para provocar reações de fusão com o carbono. Assim, ela perde a maior parte de sua massa, formando uma nebulosa planetária, e seu núcleo torna-se uma anã branca, que vai esfriando.

b) estrela de massa intermediária; Na estrela de massa intermediária, pode acontecer uma contração suficiente para queimar mais algum combustível até que ela se expanda e termine seu estágio de desenvolvimento como uma supernova e depois em uma estrela de nêutrons.

c) estrela muito massiva.
As estrelas supermassivas apresentam massa suficiente para voltar a queimar combustíveis mais pesados, e assim acontece sucessivamente até que o número atômico da matéria em fusão seja do ferro, para essas estrelas se transformarem, então, em um buraco negro.

7 **Descreva a condição essencial para que o estágio final de uma estrela de nêutrons seja um buraco negro.**
A condição é que sua massa seja grande o suficiente para colapsar, ou seja, "espremer-se" em si mesma, até se tornar um buraco negro.

Não escreva no livro.

2. Como esse tema foi visto no capítulo **2**, espera-se que os estudantes entendam que a atração gravitacional de um buraco negro é tão grande que nem mesmo a luz consegue escapar dele – o que justifica esse nome.

TEORIA DA RELATIVIDADE

ESPAÇO CURVO

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes tenham algum conhecimento a respeito do termo, mas não necessariamente que tenham domínio sobre o tema. Observe se eles percebem o termo como representação de uma entidade única.

No início do século XX, a teoria da relatividade proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955) consagrou as mudanças que aconteciam no cenário científico e tornou inadiável a adoção de novas maneiras de interpretar a ciência e até mesmo a realidade.

Primeiro, a teoria da relatividade especial modificou as concepções de espaço e tempo. Depois, a teoria da relatividade geral consolidou uma forma inovadora de interpretar essas variáveis ao propor que o espaço físico é curvo, e não plano, como se considerava até então. Como consequência, surgiu uma nova teoria da gravitação, que explicava a existência de buracos negros e evidenciou que o Universo está em expansão.

PARA COMEÇAR

1. **Você já ouviu falar em espaço-tempo? O que você acha que isso significa?**
2. **Por que os buracos negros recebem esse nome?**

Eclipse solar em Sobral (CE). Foto de 1919. Nesse eclipse, os cientistas obtiveram a primeira evidência observável da teoria elaborada por Albert Einstein de que grandes massas podem deformar o espaço, fazendo a luz se curvar em sua direção.

ESO/Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl/F. W. Dyson, A. S. Eddington, & C. Davidson

CONTEXTO HISTÓRICO-CIENTÍFICO

Até o início do século XX, todos os fenômenos mecânicos – desde a queda de um corpo na superfície da Terra ao movimento dos planetas em suas órbitas – eram descritos pela mecânica newtoniana.

De modo geral, esses estudos focalizavam o movimento e os conceitos fundamentais a ele relacionados: o espaço e o tempo. Ambos eram considerados conceitos independentes e absolutos, ou seja, não dependiam do referencial adotado – medidas do espaço e do tempo seriam sempre iguais, mesmo que efetuadas em dois referenciais diferentes e estando um deles em movimento com velocidade constante e o outro, parado.

Galileu Galilei (1564-1642) já mostrara interesse no estudo dos movimentos, com a observação dos corpos celestes e também dos movimentos de objetos na superfície terrestre.

Um dos resultados desses estudos foi o **princípio da relatividade de Galileu** para os movimentos:

> As leis dos movimentos são as mesmas em todos os referenciais que se movem de maneira uniforme entre si.

Por volta de 1860, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu sua teoria do eletromagnetismo, na qual os fenômenos eletromagnéticos se propagam com velocidade finita.

Ele calculou a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo e mostrou ser equivalente à velocidade da luz no vácuo. A luz passou a ser entendida como uma onda eletromagnética com velocidade constante.

Nessa teoria, o éter (um fluido imaterial hipotético que permearia todo o espaço do Universo) ainda era aceito como o meio necessário para a onda de luz se propagar.

Da concepção de Maxwell a respeito da natureza e da propagação da luz, surgiram muitas questões ligadas às grandezas físicas e aos referenciais: Quais grandezas físicas são absolutas? E, paralelamente a isso, quais são as grandezas físicas relativas? Como se relacionam as medidas de grandezas físicas absolutas e relativas em cada sistema de referência? Como as equações devem ser escritas para diferentes referenciais?

Na Física Clássica, certo fenômeno é descrito da mesma forma (isto é, pelas mesmas equações) quando os referenciais diferem apenas por uma velocidade constante.

Em contrapartida, o físico holandês Hendrik Lorentz (1853-1928) percebeu que, para o eletromagnetismo, a mudança nos referenciais modificava a forma como os fenômenos deveriam ser descritos. Assim, formulou um conjunto de equações para fazer a correspondência entre as equações de um referencial e as de outro.

Conhecido como transformações de Lorentz, esse conjunto de equações prevê a contração do espaço e a dilatação do tempo, dependendo do referencial tomado para descrever determinado fenômeno.

Em 1905, Albert Einstein publicou o artigo que apresentava a **teoria da relatividade especial**.

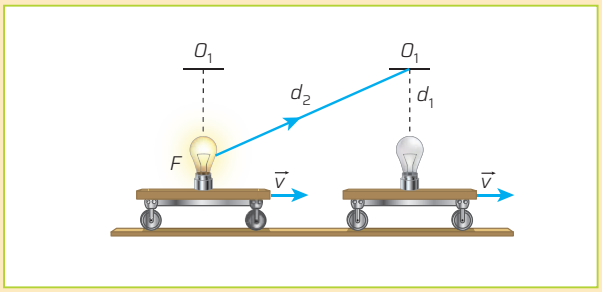
DE OLHO NO CONCEITO

Dilatação do tempo

Para Newton e Galileu, o tempo era absoluto, ou seja, não dependia do referencial em que era medido.

Com a teoria da relatividade, Einstein propôs que a única grandeza que não dependia do referencial adotado era a velocidade da luz. O tempo e o espaço passaram a ser relativos e inter-relacionados.

Para compreender essa ideia, considere um veículo (figura a seguir) movendo-se com velocidade constante v (o solo é o referencial inercial). Há uma fonte (F) de luz dentro do veículo, a qual emite um feixe de luz na direção vertical, que é capturado por um observador O_1, que está dentro do veículo, acima de F.



Setup/Bureau/ID/BR

A luz percorre caminhos diferentes para um observador dentro e fora do veículo. Cores-fantasia.

Pela expressão da velocidade média, calcula-se que, após percorrer a distância d_1, o intervalo de tempo que a luz leva para atingir O_1 é: $\Delta t_1 = \frac{d_1}{c}$.

Um observador O_2, que está no solo, vê a luz percorrer a distância d_2 com velocidade c igual à do observador O_1. Por isso, a luz demora o intervalo de tempo Δt_2, dado por: $\Delta t_2 = \frac{d_2}{c}$.

Ocorre que a distância d_2 é maior que d_1. Para manter constante a velocidade c, então: $\Delta t_2 > \Delta t_1$.

Como $d_1 = c \cdot \Delta t_1$ e $d_2 = c \cdot \Delta t_2$, o intervalo de tempo Δt_2 pode ser calculado pelo teorema de Pitágoras:

$$(c \cdot \Delta t_2)^2 = (v \cdot \Delta t_2)^2 + (c \cdot \Delta t_1)^2$$

Por meio de cálculos, é possível demonstrar que $\Delta t_2 = \frac{\Delta t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

Conclui-se, então, que o intervalo de tempo para o observador 1 é menor que para o observador 2, o que evidencia a dilatação do tempo.

Não escreva no livro.

TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL DE EINSTEIN

A teoria da relatividade trouxe uma concepção de Universo físico muito diferente da concepção clássica, e isso se refletiu em um novo entendimento dos conceitos de espaço, tempo e matéria.

Essa teoria, apresentada por Einstein em 1905, é chamada **teoria da relatividade especial** ou **teoria da relatividade restrita**, porque se refere às situações específicas nas quais os referenciais devem ser inerciais, isto é, devem estar em movimento retilíneo com velocidade constante ou em repouso.

Einstein formulou dois postulados, fatos aceitos como verdadeiros sem demonstração, que são a base da teoria da relatividade.

Primeiro postulado

A velocidade da luz, no vácuo, é constante em qualquer referencial inercial, independentemente de a fonte emissora da luz estar, ou não, em movimento.

A Mecânica Clássica afirma que a velocidade relativa entre dois objetos que se deslocam ao longo de uma mesma direção é dada pela soma (ou subtração, a depender dos sentidos) das velocidades individuais de cada objeto.

Isso não é válido para um feixe de luz, pois a velocidade da luz no vácuo é constante, aproximadamente igual a $c = 300\,000$ km/s, independentemente de o observador se aproximar ou se afastar do feixe, em qualquer velocidade.

De forma análoga, a velocidade da luz no vácuo produzida por uma fonte, esteja ela em movimento, ou não, terá sempre o mesmo valor c.

Segundo postulado

O segundo postulado de Einstein afirma que as leis da Física e suas equações são as mesmas para todos os referenciais inerciais.

As leis da Física são as mesmas em qualquer referencial inercial.

Esses dois postulados mudaram os conceitos de espaço e tempo. Na Mecânica Clássica, o espaço e o tempo são percebidos como elementos distintos, enquanto na teoria da relatividade existe o conceito de espaço-tempo como uma única grandeza, ou seja, o espaço e o tempo não podem ser analisados separadamente.

Dois fenômenos que acontecem simultaneamente para um observador podem ocorrer em momentos distintos para outro. Isto é, a simultaneidade, algo absoluto na teoria clássica, é um conceito relativo na teoria da relatividade.

Para movimentos com velocidades próximas à da luz, ocorre a contração do espaço, enquanto o tempo se dilata. Dessa forma, o tempo transcorre mais lentamente para um observador que se move do que para um observador que permanece em repouso.

A trajetória percorrida por um corpo no espaço-tempo é conhecida como **linha do Universo**. Ela descreve todos os eventos que aconteceram com o objeto, tanto na relatividade especial como na relatividade geral (que será apresentada na próxima página).

A teoria da relatividade de Einstein descarta a necessidade de um éter para explicar fenômenos associados à propagação da luz, pois postula que a velocidade da luz é uma das grandezas físicas absolutas. Como a velocidade da luz no vácuo não depende do observador e a luz não precisa de um meio para se propagar, a existência do éter foi abandonada.

DE OLHO NO CONCEITO

Energia relativística

É consequência dos postulados de Einstein que um corpo dotado de massa não pode atingir nem ultrapassar a velocidade da luz. À medida que a velocidade v de um corpo se aproxima da velocidade da luz c, a energia necessária para continuar acelerando esse corpo aumenta de forma significativa, de acordo com a seguinte equação:

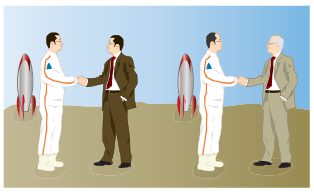
$$E = \gamma\, mc^2 \;;\quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Nessa equação, m é a massa de repouso do corpo e γ é o fator relativístico também chamado de fator de Lorentz.

O paradoxo dos gêmeos

Esse aparente paradoxo consiste na ideia da diferença de idade final entre dois irmãos gêmeos que passam por situações hipotéticas distintas: um permanece na Terra, enquanto o outro viaja para o espaço com velocidade próxima à da luz.

Ao retornar à Terra, o gêmeo viajante terá envelhecido menos, pois, para ele, o tempo se dilatou, isto é, passou mais lentamente. A assimetria notada no envelhecimento dos gêmeos ocorreu porque, enquanto o gêmeo que ficou na Terra se manteve em um único referencial inercial, o gêmeo viajante mudou de referencial ao longo da viagem, resultado da aceleração que realizou para retornar à Terra.

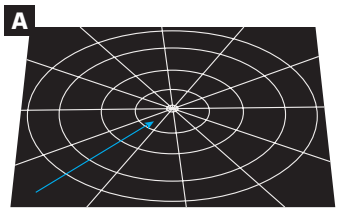


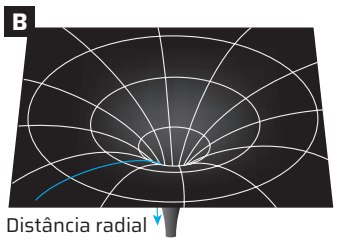
Setup/Bureau/D/BR

Gêmeo que viajou envelheceu menos.

Representações sem proporção de tamanho.

Ilustrações: Setup/Bureau/ID/BR





Na teoria da relatividade especial, o espaço-tempo segue a métrica de Lorentz, sendo quadridimensional e plano (figura **A**). Mas, na teoria da relatividade geral de Einstein, o espaço-tempo é curvo (figura **B**), apresentando uma geometria não euclidiana. Cores-fantasia.

PARA EXPLORAR

Leia

***Guia mangá relatividade*, de Hideo Nitta e outros. São Paulo: Novatec, 2011.**

Com esse livro, você vai aprender de forma fácil e divertida a teoria da relatividade e como o conceito de relatividade afeta a Astronomia e tecnologias modernas que dependem de sua aplicação.

ROTEIRO

1. Calcule a energia liberada em joule de uma reação nuclear em que quatro núcleos de hidrogênio são convertidos em um núcleo de hélio. Para isso, use a relação proposta por Einstein: $E_0 = m \cdot c^2$.

Considere a massa de cada núcleo de hidrogênio igual a $1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg, a do núcleo do hélio igual a $6{,}6443 \cdot 10^{-27}$ e $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

$\Delta E = 0{,}4149 \cdot 10^{-11}$ J

TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL DE EINSTEIN

Em 1916, Einstein propôs a **teoria da relatividade geral**, que reformula a teoria da gravitação universal elaborada por Newton. Enquanto a teoria da relatividade especial só é válida em referenciais inerciais e com campos gravitacionais desprezíveis, a teoria da relatividade geral descreve a interação gravitacional entre quaisquer corpos do Universo, inclusive para campos gravitacionais muito intensos, como aqueles em torno de buracos negros ou estrelas de nêutrons.

A maior mudança introduzida pela teoria da relatividade geral no modo de pensar o Universo é a ideia de a gravidade não ser mais entendida como uma força física, no sentido clássico da palavra "força".

A gravidade é uma manifestação da curvatura do espaço-tempo. Essa curvatura é produzida pela quantidade de massa-energia no espaço-tempo.

A teoria da relatividade geral baseia-se nos princípios expostos a seguir.

- **Princípio geral da relatividade:** as leis físicas da natureza são as mesmas para qualquer observador, esteja ele em movimento acelerado ou não.
- **Princípio da covariância geral:** as leis da Física têm a mesma forma em todos os sistemas de coordenadas.
- **Princípio da invariância local de Lorentz:** as leis da relatividade se aplicam localmente para todos os observadores inerciais.
- **O movimento inercial é um movimento geodésico, ou seja, curvilíneo:** as linhas traçadas no espaço-tempo pelo movimento das partículas livres (não sujeitas a forças, movimento inercial) são chamadas geodésicas nulas (curvilíneas, sem que haja força externa) do espaço-tempo. Isso ocorre porque o espaço-tempo proposto por Einstein é curvo, já que a gravidade influencia o próprio espaço, como mostram as figuras **A** e **B**.

A curvatura do espaço-tempo é criada pela distribuição de matéria-energia contida no próprio espaço-tempo. Essa relação é descrita pelas equações de campo de Einstein.

Vários fenômenos puderam ser explicados pela teoria da gravitação de Einstein, reforçando-a. O quadro a seguir apresenta alguns exemplos.

Ondas gravitacionais	Lentes gravitacionais
Sistemas binários de estrelas de nêutrons têm seu período orbital reduzido por $7{,}6 \cdot 10^{-5}$ s/ano devido à perda de energia pela emissão de ondas gravitacionais geradas pelas massas aceleradas.	Mudança na posição aparente de estrelas cuja luz se curva ao passar perto do Sol. Comprovada pela observação durante um eclipse solar em Sobral (CE), em 1919.

Massa e energia

Em outro artigo, também publicado em 1905, Einstein provou a equivalência entre massa e energia, formulando sua famosa equação:

$$E_0 = m \cdot c^2$$

Nessa equação, E_0 é a energia de repouso, m é a massa do corpo e c é a velocidade da luz no vácuo.

Essa equação implica que a massa pode ser convertida em energia, e vice-versa, e explica a produção de energia por reações nucleares no centro das estrelas.

Na realidade, a soma da massa de quatro núcleos de hidrogênio é ligeiramente maior que a massa de um núcleo de hélio. É essa diferença entre as massas, que é convertida em energia e liberada durante as reações no interior das estrelas que evita o colapso gravitacional durante a maior parte da vida delas.

Não escreva no livro.

Investigando a relação espaço-tempo e as simultaneidades

Dilatação do tempo e contração do espaço, simultaneidade de eventos, ondas gravitacionais e outros fenômenos que não podem ser verificados em situações do dia a dia são um desafio para o estudo da relatividade.

Conceitos explorados neste capítulo podem ser trabalhados com o uso de simuladores virtuais e também estão presentes em filmes de ficção científica, como no filme *Interestelar*, em que um grupo de exploradores realizam viagens intergalácticas em busca de um novo lar para os habitantes da Terra.

Mas seria possível alcançar outras galáxias? Atingir outras estrelas na escala de tempo da vida humana?

Nesta atividade, você e os colegas vão realizar a simulação de alguns conceitos da teoria da relatividade, tornando sua compreensão mais acessível, pois, mesmo que eles não sejam perceptíveis em situações do cotidiano, os fenômenos relativísticos são essenciais para muitas tecnologias.

PARA EXPLORAR

Acesse

O paradoxo da vara e do celeiro

Explore a página da Universidade Federal do ABC sobre relatividade e leia sobre os paradoxos da relatividade que estão relacionados como conceito de simultaneidade. Nesta página, você encontra a explicação sobre o paradoxo da vara e do celeiro e também sobre o paradoxo dos Gêmeos.

Disponível em: https://relatividade-restrita.propg.ufabc.edu.br/o-paradoxo-da-vara-e-do-celeiro/. Acesso em: 1º out. 2024.

Material

- dispositivo com acesso à internet
- simulador 1, Contração relativística, disponível em: https://alloy.sites.ufsc.br/ejss_model_sim1/sim1_Simulation.xhtml; simulador 2, Simultaneidade, disponível em: https://alloy.sites.ufsc.br/ejss_model_sim3/sim3_Simulation.xhtml; simulador 3, Simultaneidade, disponível em: https://alloy.sites.ufsc.br/ejss_model_train/train_Simulation.xhtml. Acessos em: 30 set. 2024.

Como fazer

1. Reúnam-se em grupos e acessem os simuladores, um simulador de cada vez.
2. Ao acessar o simulador 1, na opção "Velocidade da nave (*c*)", alterem os valores da velocidade e vejam o que ocorre com os valores das outras grandezas, que estão localizadas logo abaixo. Reiniciem a simulação conforme julgarem necessário. Anotem suas observações no caderno.
3. Em seguida, acessem o simulador 2 e, na opção "Velocidade (*c*)", alterem os valores da velocidade e vejam o que ocorre com os valores dos eventos 1 e 2, que estão localizados logo abaixo. Reiniciem a simulação, se necessário, e façam novas anotações.
4. Para finalizar, acessem o simulador 3 e sigam os mesmos passos indicados para as simulações 1 e 2.

Para concluir

1. Ao considerar que a única grandeza que não depende do referencial é a velocidade da luz, espera-se que os estudantes percebam, no simulador 1, que ocorre a contração do espaço da nave em movimento e que o tempo para um observador em seu interior passa mais lentamente que para um observador externo. Já nos simuladores 2 e 3, para movimentos próximos à velocidade da luz, ocorre a contração do espaço, enquanto o tempo se dilata.

1 **De acordo com os resultados observados nos simuladores, é possível identificar fatores que afetam a relação entre espaço-tempo? Justifiquem suas respostas.**

2 **Ao realizar as etapas 3 e 4, os resultados observados ajudam a compreender a simultaneidade de eventos? Justifiquem suas respostas.**

2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes identifiquem que dois eventos percebidos em instantes diferentes podem ter sido gerados de forma simultânea, o que pode ser observado em velocidades próximas à velocidade da luz ao se variarem os valores de velocidade usados nos simuladores. Para as velocidades que estamos acostumados a presenciar, o conceito de relatividade da simultaneidade é muito difícil de ser observado.

3 **É possível afirmar que, pelo fato de os princípios da teoria da relatividade serem aplicáveis para objetos em movimento com velocidade próxima à da luz, esses princípios não são aplicáveis a movimentos que fazem parte de nosso dia a dia e, portanto, não são válidos? Debata com os colegas.**

3. Espera-se que os estudantes respondam que os princípios da teoria da relatividade se aplicam a qualquer velocidade, mas que seus efeitos não são perceptíveis para os valores de velocidade com que lidamos no cotidiano.

CIÊNCIA TEM HISTÓRIA

HÁ 100 ANOS, ECLIPSE EM SOBRAL PÔS EINSTEIN E TEORIA DA RELATIVIDADE NA HISTÓRIA

Observação de eclipse no Brasil comprovou os postulados da Teoria da Relatividade Geral

[...]

"O problema concebido pela minha mente foi respondido pelo luminoso céu do Brasil", escreveu Einstein (que não participou do experimento em Sobral [(CE)] e, cem anos depois, ganhou uma estátua na cidade), em uma dedicatória feita ao empresário Assis Chateaubriand, em 1925, em visita ao Rio [de Janeiro].

[...]

O que foi comprovado sobre a teoria da relatividade

Na teoria apresentada em 1915, Einstein argumentava que a gravidade não era uma força que atuava sobre os objetos, como Isaac Newton havia proposto. Em vez disso, propunha Einstein, a massa dos objetos é que fazia com que o espaço se curvasse. [...]

"Naquele momento, o que precisava era de uma prova específica de que sua teoria estava correta, e o eclipse ofereceu essa oportunidade", contou a astrônoma Carolin Crawford, do Instituto de Astronomia da Universidade de Cambridge, em entrevista ao *Estado*. [...]

A observação de um eclipse hoje é corriqueira. Há um século, quando o mundo ainda se recuperava da Primeira Guerra Mundial, porém, os recursos para a ciência eram escassos, a tecnologia fotográfica era ainda primitiva, e o calor úmido daquelas regiões interferia no bom funcionamento dos instrumentos.

O Reino Unido organizou duas expedições de observação do fenômeno. Uma, encabeçada por Arthur Eddington, seguiu para a Ilha do Príncipe [costa Oeste da África]. A outra, com Charles Davidson e Andrew Crommelin, foi para Sobral. Ambas deveriam estudar determinadas estrelas da constelação de Touro, em frente às quais o Sol eclipsado passaria.

Se a posição aparente dessas estrelas fosse alterada em relação à imagem padrão disponível delas, isso indicaria que a massa do Sol estava causando uma curvatura no espaço – como previsto por Einstein. Para desespero de Eddington, o dia amanheceu nublado e chuvoso em Príncipe, o que impediria o registro do eclipse. Conforme a manhã avançava, no entanto, o tempo melhorou. O astrônomo conseguiu registrar 16 imagens do fenômeno. Mais tarde, descobriu que apenas duas serviam a seus propósitos.

Enquanto isso, em Sobral, o dia amanheceu aberto. Os cientistas britânicos, brasileiros e americanos, que estavam havia dois meses no município preparando a experiência, conseguiram 27 fotos do eclipse. No entanto, constatou-se que todas as 19 imagens feitas pelo telescópio principal estavam fora de foco. Aparentemente o calor dos trópicos desregulou o instrumento. Felizmente, outras oito imagens feitas por um telescópio secundário estavam perfeitas.

[...]

Para se ter uma ideia da importância da comprovação da teoria de Einstein, sem ela, a Teoria do Big Bang – sobre a explosão primordial que deu origem ao Universo – jamais poderia ter sido postulada. Foram as proposições do cientista alemão que permitiram, muito tempo depois, o funcionamento do sistema de GPS, que localiza aparelhos na Terra a partir dos satélites. No mês passado [abril de 2019], outra foto histórica fechou o chamado século da gravidade. Era a imagem inédita de um buraco negro.

"O buraco negro nada mais é do que um caso extremo de curvatura do espaço, uma curvatura tão grande, uma gravidade tão intensa, que a luz fica presa ali, nem ela consegue escapar", explica a astrônoma Thaisa Storch-Bergmann, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. "Infelizmente, Einstein não viveu o suficiente para ver mais essa confirmação de suas teorias."

Jansen, R. Há 100 anos, eclipse em Sobral pôs Einstein e Teoria da Relatividade na história. *O Estado de S. Paulo*, Rio de Janeiro, 25 maio 2019. Disponível em: https://www.estadao.com.br/ciencia/ha-100-anos-sobral-pos-einstein-na-historia/. Acesso em: 30 set. 2024.

2. Resposta pessoal. Incentive os estudantes a usar a criatividade na solução de problemas. É interessante destacar que certas questões, como condições climáticas e limitações tecnológicas, podem não ter solução no momento, mas que os experimentos e os conhecimentos advindos deles (inclusive quando ocorrem falhas) permitem a elaboração de novas metodologias e novos instrumentos para investigar um fenômeno.

Para discutir **1.** Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

1 **Desenhe um esquema com a posição dos astros (Sol, Lua e estrela observada) no momento do eclipse total do Sol que comprovou a teoria da relatividade geral em Sobral, no Ceará.**

2 **Na Ciência, nem tudo ocorre do jeito planejado, por isso, é necessário minimizar as probabilidades de falhas. Discuta com os colegas se algo poderia ter sido feito nos casos da Ilha do Príncipe e no telescópio principal de Sobral para que tudo transcorresse conforme o planejado.**

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

3. A velocidade da luz é sempre constante. Assim, para que dois observadores vejam o mesmo fenômeno ao mesmo tempo, estando em velocidades diferentes, o tempo também tem de passar de uma maneira diferente para cada um. Ou seja, o tempo e o espaço não são mais absolutos, e, sim, relativos.

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **Uma grandeza física que pode ser calculada com base na teoria da relatividade geral formulada por Einstein é o chamado "horizonte de eventos". Essa grandeza também é conhecida como "raio de Schwarzschild" e representa a maior distância em relação a uma singularidade (toda a massa concentrada em um único ponto) em que nem partículas nem a luz conseguem escapar de seu campo gravitacional intenso. Isto é, qualquer luz emitida dentro desse raio sofrerá tamanha atração gravitacional que não conseguirá escapar. O raio de Schwarzschild é proporcional à massa do corpo e é dado pela seguinte relação:**

$$r_s = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2}$$

Sabendo que a constante de gravitação universal é $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m²/kg², que a velocidade da luz no vácuo (c) é $3 \cdot 10^8$ m/s, que a massa da Terra é $6 \cdot 10^{24}$ kg e que a do Sol é $2 \cdot 10^{30}$ kg, calcule o raio de Schwarzschild para os astros a seguir.

a) A Terra.

b) O Sol.

c) Um buraco negro com 30 massas solares.

Resolução

a) O raio de Schwarzschild da Terra é:

$$r_s = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2} = \frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot m}{(3 \cdot 10^8)^2} =$$

$$= 1{,}48 \cdot 10^{-27} \cdot m = 1{,}48 \cdot 10^{-27} \cdot 6 \cdot 10^{24} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_s = 0{,}009 \therefore r_s = 0{,}009 \text{ m}$$

Portanto, se toda a massa da Terra fosse concentrada em um único ponto (singularidade) de densidade infinita, nenhuma partícula ou radiação produzida dentro de um raio de 9 milímetros conseguiria escapar de sua atração gravitacional.

b) No caso do Sol:

$$r_s = 1{,}48 \cdot 10^{-27} \cdot m = 1{,}48 \cdot 10^{-27} \cdot 2 \cdot 10^{30} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_s = 2{,}96 \cdot 10^3 \therefore r_s = 2{,}96 \cdot 10^3 \text{ m} \cong 3 \text{ km}$$

Uma singularidade com massa similar à do Sol teria um horizonte de eventos igual a 3 km.

c) Como o raio de Schwarzschild é proporcional à massa, uma singularidade de 30 massas solares terá um r_s 30 vezes maior que o solar, isto é:

$$r_s = 30 \cdot 3 = 90 \text{ km}$$

Ou seja, o horizonte de eventos para esse buraco negro seria igual a 90 km.

O quadro a seguir resume os cálculos efetuados para o raio de Schwarzschild. Note que esses valores são muito pequenos se comparados à dimensão dos objetos quando não colapsados, isto é, quando toda a massa não está concentrada em uma singularidade.

Objeto	Massa (kg)	Raio de Schwarzschild
Terra	$6 \cdot 10^{24}$	9 mm
Sol	$2 \cdot 10^{30}$	3 km
Buraco negro	$6 \cdot 10^{31}$	90 km

2 **Calcule o raio de Schwarzschild do seu corpo. Para isso, utilize o valor de sua massa. Compare seu raio com suas dimensões, largura e altura. Considere $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m²/kg² e $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.**

Considerando uma pessoa de 70 kg, $r_c = 1{,}04 \cdot 10^{-25}$ m

3 **Explique por que o primeiro postulado da teoria da relatividade de Einstein teve como consequência o fim da concepção de tempo e espaço absolutos.**

4 **Imagine que seja possível transformar toda massa em energia.**

a) Estime a quantidade de energia que seria produzida por sua própria massa.
$E = 6{,}3 \cdot 10^{18}$ J (pessoa de massa 70 kg).

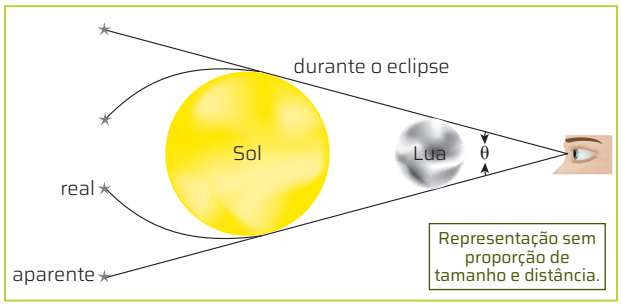
b) Determine a energia resultante se toda a massa do Sol fosse convertida em energia. $E = 1{,}8 \cdot 10^{47}$ J

5 **No que diz respeito à relatividade geral, faça o que se pede.**

a) Compare-a com a relatividade restrita, identificando as principais diferenças entre elas.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

b) Identifique os motivos que levaram Einstein a desenvolver essa teoria.
A necessidade de estender os conceitos da relatividade restrita a situações com campos gravitacionais não desprezíveis que ela não abrangia.

6 **O esquema a seguir mostra o que ocorre com os raios de luz provenientes de estrelas quando próximas de um grande campo gravitacional (como o Sol) durante um eclipse similar àquele que ocorreu em Sobral, no Ceará, em 1919.**



Setup Bureau/ID/BR

Esquema de um eclipse solar. Na representação, o raio de luz real é aquele proveniente da estrela e que, de fato, sofre desvio. O raio aparente é aquele que parece vir da estrela – e que aparentemente não se desvia. Cores-fantasia.

a) Observe o esquema e descreva o que acontece com o raio de luz real nas proximidades do Sol.
O raio real parece se curvar.

b) Desconsidere os possíveis efeitos causados pela refração e explique por que os raios reais se curvam quando próximos ao Sol.

6. b) A presença de uma massa muito grande faz com que o espaço-tempo ao redor seja deformado. Um raio de luz que passa nas proximidades do Sol acompanhará o espaço-tempo, portanto, curvando-se.

Não escreva no livro.

MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO

1. Espera-se que os estudantes já tenham escutado algo a respeito do Big Bang, que é a teoria mais aceita atualmente sobre a origem do Universo.
2. Espera-se que os estudantes comentem que o Universo é composto de matéria; talvez alguns deles já tenham ouvido falar sobre matéria e energia escura.

PARA COMEÇAR

1. Você sabe o que é o Big Bang? Se sim, explique-o com suas palavras.
2. Do que o Universo é composto?

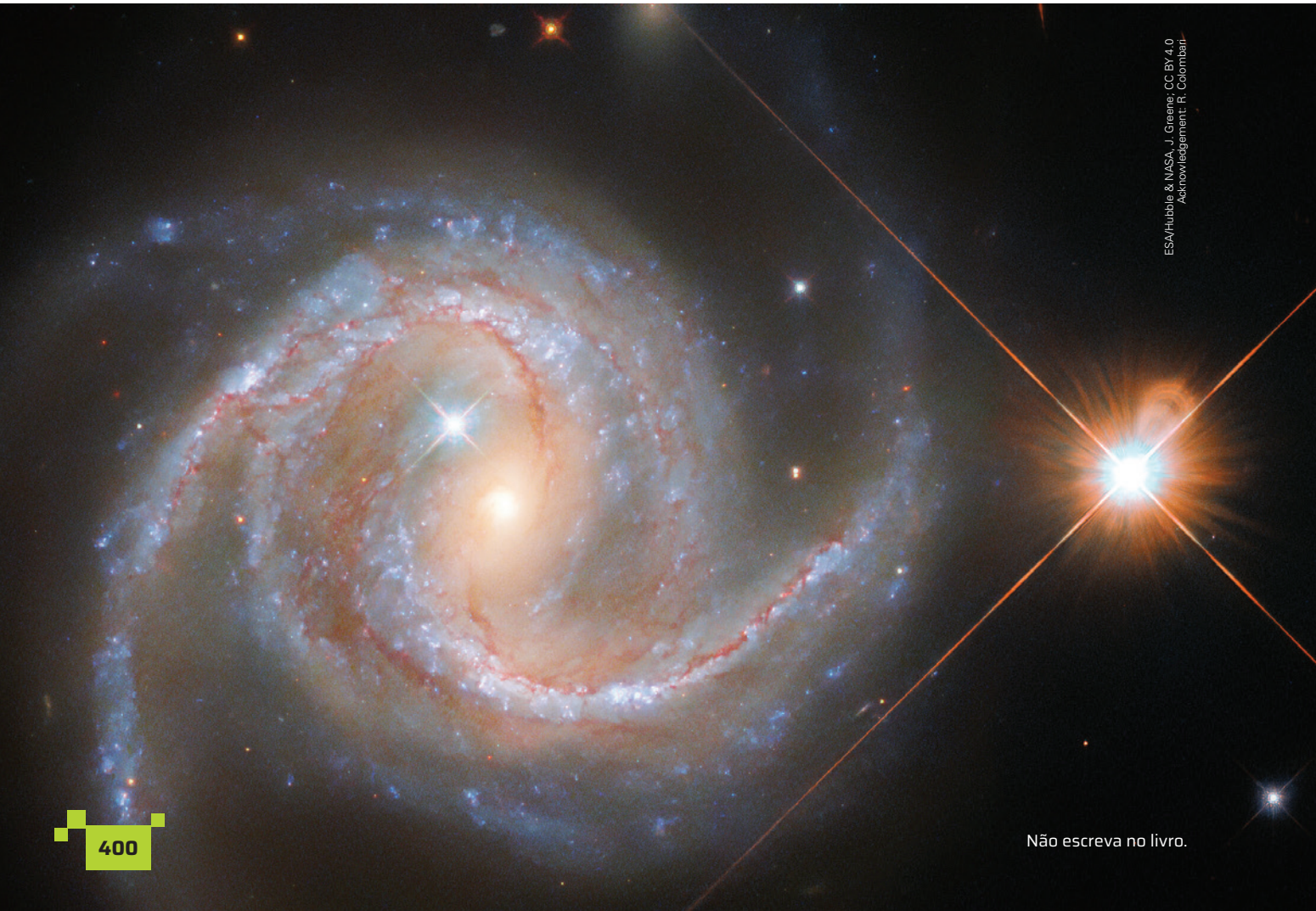
UNIVERSO EM EXPANSÃO

Os antigos modelos cosmológicos se baseavam na proposição de que o Universo fosse estático. Mas descobertas experimentais – como o período de pulsação e luminosidade de estrelas do tipo cefeidas observado pela astrônoma estadunidense Henrietta Leavitt (1868-1921) em 1908, e a velocidade de alguns objetos celestes, como de nebulosas, obtida pelo estadunidense Vesto Slipher (1875-1969) por volta de 1914 – trouxeram questionamentos sobre o Universo ser estático. Além disso, as equações da teoria da relatividade geral de Einstein resultaram em um modelo de Universo não estático – que se expande ou se contrai. Porém, diante desse resultado não esperado, Einstein em 1917 acrescentou artificialmente à teoria um termo chamado **constante cosmológica** (representado pela letra grega lambda, Λ). Essa constante, de acordo com o modelo proposto por Einstein, servia para sustentar a ideia de um Universo estacionário.

Em 1922, o matemático e cosmólogo russo Alexander Friedmann (1888-1925) formulou um modelo para o Universo fundamentado nas equações da relatividade geral de Einstein. Esse modelo propunha um Universo dinâmico, em expansão ou em contração – Friedmann defendia que a introdução da constante cosmológica havia sido um equívoco de Einstein.

O modelo de Friedmann serviu de base para o Modelo Cosmológico Padrão.

O estudo do Universo passou a ser muito mais detalhado a partir do momento em que passamos a receber imagens mais nítidas de telescópios espaciais, como esta da galáxia espiral NGC 5495 do telescópio Hubble.



ESA/Hubble & NASA, J. Greene; CC BY 4.0
Acknowledgement: R. Colombari

Não escreva no livro.

A GEOMETRIA E A ESTRUTURA DO UNIVERSO

Com base nas equações da relatividade geral de Einstein em combinação com as equações de Friedmann, é possível estabelecer três modelos de Universo: o plano, o fechado e o hiperbólico (ou aberto).

- **Universo plano:** trata-se de um modelo cuja geometria é euclidiana, em que a matéria apresenta justamente o valor crítico de densidade (apresentada ao final da página). Esse é o caso-limite entre o Universo aberto e o fechado. As medidas atuais da densidade são próximas à medida da densidade crítica, o que indica que o Universo é plano e que, assim, ele se expandirá para sempre, sem nunca se contrair, esfriando para sempre.
- **Universo fechado:** nesse caso, a densidade de matéria contida no Universo é tal que ele é regido por uma geometria esférica e, por isso, há um limite superior para sua expansão. Superado esse limite, o Universo vai se contrair, voltando a seu estado inicial. Assim, nessa geometria o Universo teria um comportamento cíclico, que se expande e se contrai, e depois volta a se expandir.
- **Universo hiperbólico ou aberto:** se a densidade de matéria for menor que certo valor, a curvatura correspondente ao Universo será aberta e descrita pela geometria hiperbólica. Nesse caso, não haverá contração do Universo, e seu destino será expandir-se eternamente, esfriando para sempre.

Universo plano	Universo fechado	Universo aberto
$\Omega_0 > 1$	$\Omega_0 < 1$	$\Omega_0 = 1$
geometria euclidiana	geometria esférica	geometria hiperbólica

WMAP Science Team/NASA

Densidade crítica

As possibilidades de o Universo se expandir para sempre ou de se contrair a partir de um momento dependem da densidade crítica de matéria nele existente.

A densidade crítica de matéria é dada por:

$$\rho_c = \frac{3 \cdot H_0^2}{8 \cdot \pi \cdot G}$$

Nessa equação, G é a constante da gravitação e H_0 é a constante de Hubble (definida na próxima página).

Adotando o valor estimado para a constante de Hubble de 73 km/s/Mpc (Megaparsec), a densidade crítica valerá:

$$\rho_c \cong 10^{-29}\ \text{g/cm}^3$$

Essa densidade crítica corresponde a cerca de 0,5 átomo de hidrogênio por metro cúbico, numa aproximação que considera a matéria escura e a energia escura.

Dados de observações cosmológicas indicam que a densidade crítica é da ordem de 10^{-26} g/cm³, muito próxima da densidade crítica estimada. Esse valor evidencia que o Universo tem uma geometria plana.

Atualmente, um dos grandes desafios da cosmologia observacional é justamente medir a densidade crítica da matéria para prever o futuro do Universo.

ROTEIRO

1. Se o Universo tivesse outra geometria, diferente da plana (geometria defendida atualmente), isso teria alguma consequência para o nosso cotidiano? E para a cosmologia, quais seriam as implicações?

Em nosso cotidiano, não haveria implicação, pois a escala do Universo é muito maior e não perceberíamos mudanças. Porém, em uma escala cosmológica, se o Universo fosse fechado, haveria um limite em sua expansão, e ele também sofreria contração. Em uma geometria aberta, por sua vez, o Universo apenas iria se expandir.

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes reconheçam que certas ideias e explicações do mundo estão tão arraigadas na sociedade que é difícil abandoná-las ou modificá-las, mesmo em vista de evidências que as contradigam. Assim, num primeiro momento, mesmo com o resultado da equação mostrando um Universo instável, Einstein optou por criar uma constante que se adequasse à ideia vigente, em vez de propor uma nova explicação.

CIÊNCIA SE DISCUTE

Os gênios também erram

Em sua obra-prima sobre a teoria geral da relatividade, Albert Einstein escreveu a equação que descreve a evolução do Universo em função do tempo.

A solução dessa equação mostra um Universo instável, no lugar de, como se acreditava anteriormente, uma enorme esfera de volume constante em que as estrelas deslizavam.

No início do século 20, todos viviam com a ideia bem enraizada de um Universo estático no qual o movimento dos astros se repetia sem descanso. É provável que isso se devesse aos ensinamentos de Aristóteles, que estabelecia que o firmamento era imutável, em contraposição ao caráter perecível da Terra.

[...]

Para não contradizer a ideia de um Universo estático, Einstein introduziu em suas equações uma constante cosmológica que congelava o estado do Universo.

A intuição falhou: em 1929, quando Edwin Hubble demonstrou que o Universo se expandia, Einstein admitiu que tinha cometido "seu maior erro".

VANNUCCI, F. Albert Einstein: os dois grandes erros científicos que o gênio cometeu na carreira. *BBC News Brasil*, [*s. l.*], 28 jun. 2020. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral-53159536. Acesso em: 30 set. 2024.

1. Em sua opinião, o que levou Einstein a não acreditar no resultado da equação que ele próprio havia escrito? Discuta com os colegas.

A EXPANSÃO DO UNIVERSO

Em 1929, o astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953) determinou a distância entre a Terra e várias galáxias longínquas. Para isso, usou o maior telescópio da época, localizado no Mount Wilson (Califórnia, Estados Unidos). Além de calcular essas distâncias, Hubble mediu a velocidade em que tais galáxias se moviam e concluiu que elas estavam se afastando da Terra.

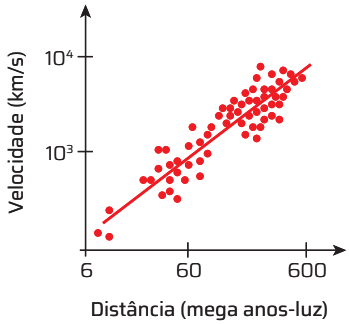
Mel Melcon/Los Angeles Times/Getty Images

O telescópio refletor do Observatório de Mount Wilson, na Califórnia, tem 2,5 m de diâmetro. Esse poderoso instrumento permitiu que Hubble descobrisse que as galáxias estão se distanciando entre si, corroborando a ideia de que o Universo está se expandindo. Foto de 2023.

Ao colocar em um gráfico a velocidade das galáxias, Hubble notou uma correlação surpreendente.

Como pode ser visto no gráfico a seguir, a velocidade das galáxias é proporcional à sua distância até a Terra. Essa relação ficou conhecida como **lei de Hubble** e tem a seguinte expressão matemática:

$$v = H_0 \cdot D$$



ID/BR

No gráfico, a reta é o valor teórico da lei de Hubble.

Nessa equação, v é a velocidade das galáxias, D é a distância da Terra até elas, e H_0 é uma constante de proporcionalidade chamada **constante de Hubble**.

Por razões históricas, o valor da constante de Hubble é dado em km/s/Mpc, ou seja, velocidade por distância. Um megaparsec (Mpc) equivale a 1 milhão de pc (parsec). Sabe-se que 1 pc $= 3{,}086 \cdot 10^{16}$ m $= 3{,}26$ anos-luz. Por 60 anos, o valor da constante de Hubble foi estimado entre 45 e 90 km/s/Mpc. Em 2023, dados do telescópio James Webb de 320 estrelas do tipo cefeidas de duas galáxias resultaram na seguinte medida: $H_0 = 73$ a 74 km/s/Mpc. Esse valor, junto com outras medidas, indica que o Universo teve início há cerca de 13,8 bilhões de anos.

O resultado mais importante da lei de Hubble foi evidenciar que todas as galáxias que se encontram a distâncias muito grandes da Terra, da ordem de 10 Mpc, estão se afastando umas das outras e também da Via Láctea – portanto, o Universo, como um todo, está em expansão.

Não escreva no livro.

O BIG BANG

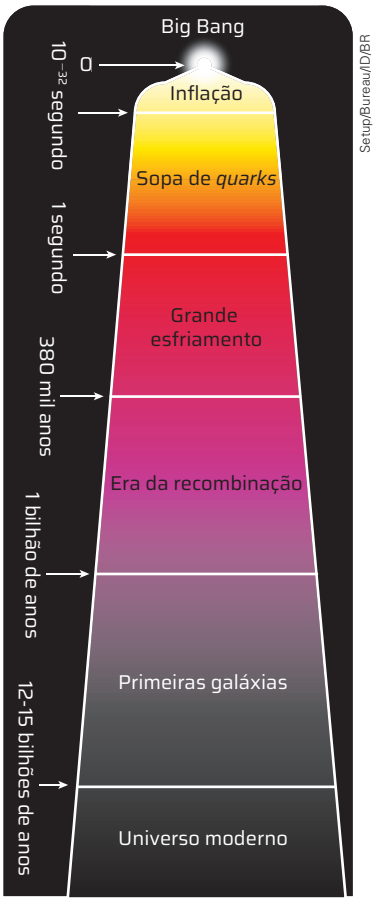
Mesmo com a descoberta de Hubble de que o Universo está se expandindo, vários pesquisadores ainda insistiam na teoria do Universo estacionário. O matemático austro-britânico Hermann Bondi (1919-2005), o astrônomo austríaco Thomas Gold (1920-2004) e o astrônomo britânico Fred Hoyle (1915-2001) propuseram uma teoria segundo a qual a matéria seria continuamente produzida para contrabalançar a expansão do Universo. Em 1948, o físico estadunidense George Gamow (1904-1968), baseando-se em modelos de expansão do Universo, mostrou que, no passado, o Universo se encontrava em um estado de densidade e temperatura muito altas, em um volume muito pequeno. Em 1949, Hoyle sugeriu, ironicamente, o nome **Big Bang** (que significa "grande explosão" e é dicionarizado em português como bigue-bangue) para o evento que teria originado o Universo e o início de sua expansão. Contrariamente à intenção irônica de Hoyle, o nome Big Bang foi incorporado pela comunidade científica.

Antes de descrever a teoria do Big Bang, porém, é preciso esclarecer um aspecto importante. Aqui, o termo "explosão" não tem relação com a explosão comum, em que há uma súbita liberação de energia. No caso do Universo, o Big Bang refere-se ao processo de liberação de energia que teria dado origem ao espaço-tempo, grandeza que, portanto, não existiria antes do Big Bang.

Por essa teoria, toda a matéria-energia do Universo, no instante inicial, estava concentrada em um estado de densidade extremamente alta e temperaturas elevadas, chamado de singularidade. O espaço ainda não havia surgido – a singularidade era o Universo. Isso significa que o Universo teve um nascimento e que, portanto, tem uma idade. Atualmente, a idade mais aceita para o Universo, desde o Big Bang, é de cerca de 13,8 bilhões de anos. O esquema ao lado indica os principais acontecimentos da história do Universo.

Em 1979, o físico estadunidense Alan Guth (1947-) sugeriu que, nos primórdios, o Universo era extremamente quente e denso. Nesse período inicial, o Universo teria passado por uma fase de expansão extremamente rápida, chamada era da Inflação Cósmica, muito mais intensa do que a expansão que observamos atualmente. Assim, sua expansão teria ocorrido em um fator calculado de 10^{25} vezes em relação ao seu tamanho inicial. Após esse período, a energia teria se transformado em matéria, de acordo com a relação $E = mc^2$. Conforme se expandia, o Universo esfriava cada vez mais, até chegar ao estado atual.

Idade do Universo



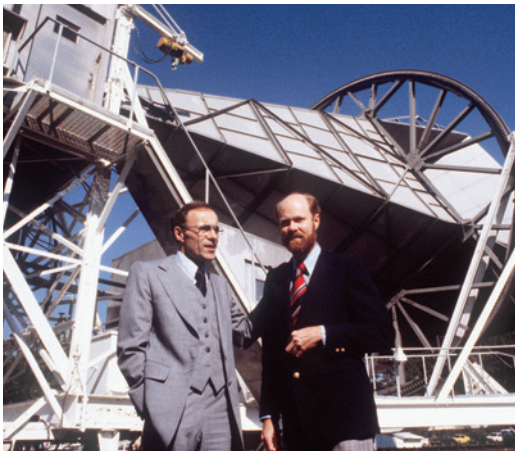
Setup/Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

O esquema representa os principais acontecimentos da história do Universo, a começar pelo Big Bang.

Idade	T (kelvin)	Eventos relacionados à evolução do Universo
$< 10^{-44}$ s	$> 10^{32}$	**Big Bang**; período chamado **era de Planck**, no qual as quatro forças fundamentais (nuclear forte, nuclear fraca, eletromagnética e gravitacional) estavam unificadas e não havia partículas elementares.
10^{-44} s	10^{32}	A gravidade se separa das outras forças.
10^{-32} s	10^{27}	Fim da era da expansão.
10^{-10} s	10^{15}	**Era da radiação**, na qual predominam os fótons.
10^{-7} s	10^{14}	**Era das partículas**, na qual são criados prótons, antiprótons, *quarks* e *antiquarks*.
0,1 s	10^{12}	**Era das partículas leves**, na qual são criados elétrons e pósitrons.
3 minutos	10^{10}	**Era da nucleossíntese**, na qual são criados nêutrons e núcleos de deutério, lítio e berílio.
380 mil anos	1 000	**Era da recombinação**, na qual o Universo adquire transparência e a radiação flui livremente.
10^9 anos	20	Formação de galáxias e de protoaglomerados de galáxias.
10^{10} anos	3	**Era presente**, na qual o Sistema Solar é formado e surge vida na Terra.

Fonte de pesquisa: Oliveira Filho, K. de S. O universo como um todo. *In*: Oliveira Filho, K. de S.; Saraiva, M. de F. O. *Astronomia e Astrofísica*, Porto Alegre: UFRGS, 2024. Disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/univ/. Acesso em: 30 set. 2024.



AP Photo/Imageplus

Os radioastrônomos Penzias e Wilson, em foto de 1978, diante da radioantena com a qual detectaram, pela primeira vez, a radiação cósmica de fundo, resquício do Big Bang. Nova Jersey, Estados Unidos.

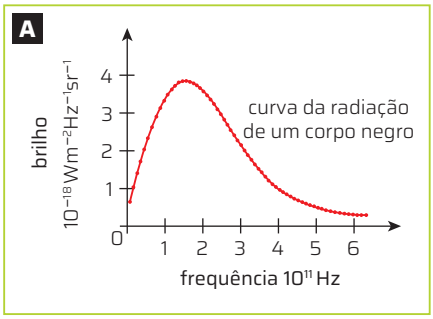
Radiação cósmica de fundo

Em 1964, uma antena de rádio com um amplificador de baixíssimo ruído foi utilizada a fim de caracterizar melhor a radiação da Via Láctea em comprimentos de onda de rádio. Com essa antena, os radioastrônomos estadunidenses Arno Allan Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936-) notaram um ruído impossível de ser eliminado que era proveniente de todas as direções do espaço.

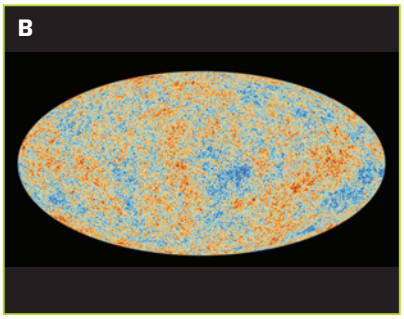
Esse ruído foi logo interpretado como a radiação remanescente do Big Bang, a qual havia sido prevista em 1948 como resultado da fase quente pela qual passou o Universo. A descoberta dessa radiação, batizada de **radiação cósmica de fundo**, que permeia todo o espaço, rendeu o prêmio Nobel a Penzias e Wilson em 1978.

A radiação de fundo é considerada um resultado da emissão térmica de um gás quente que vem se esfriando ao longo de bilhões de anos. Assim, o pico do espectro de emissão se deslocou, nesse tempo, de energias altíssimas, como raios gama, para raios X e ultravioleta, até chegar a ondas de baixa energia, como as de rádio. Mais especificamente, para um Universo com temperatura de 3 K (−270 °C), como a estimada, a emissão teria seu ponto máximo na região de ondas milimétricas, como detectado por Wilson e Penzias. A radiação cósmica de micro-ondas, como também é conhecida, mostra o passado apenas 380 mil anos após o Big Bang, quando o Universo era dominado por radiação.

A medição do espectro completo da radiação de fundo nessas frequências é dificultada pela atmosfera da Terra. Em 1989, o satélite Cobe (satélite explorador do fundo cósmico, na sigla em inglês) mediu a intensidade dessa radiação, cujos comprimentos de onda variam de 0,5 mm até 10 cm. O resultado é mostrado no gráfico a seguir, em que as medidas seguem a curva teórica esperada para uma temperatura de 2,735 K. Dados publicados em 2018 da Missão Planck da Agência Espacial Europeia (ESA) mostram o mapa da radiação cósmica de fundo, que é um instante de luz de quando o Universo tinha cerca de 380 mil anos.



ID/BR



ESA/Planck Collaboration

(**A**) Resultado da curva para uma temperatura de 2,735 K. A linha sólida é o resultado teórico, e os pontos são os dados experimentais.
(**B**) As áreas vermelhas do mapa da radiação cósmica de fundo correspondem às regiões mais quentes do Universo, 300 μK a mais que a média de 2,7 K. As áreas azuis são mais frias, −300 μK a menos que essa média. O Satélite Planck foi lançado em 2009 e ficou em funcionamento até 2013. A imagem foi construída com dados publicados em 2018.

Um dos resultados mais surpreendentes do mapeamento da radiação de fundo é sua **isotropia**, pois, para qualquer direção do céu para a qual se aponte, a temperatura é sempre a mesma, com precisão de uma parte em 10^5.

Outros dois resultados importantes obtidos com radiação cósmica de fundo são a idade e a massa do Universo. A idade do Universo é estimada em 13,8 bilhões de anos. E a massa total do Universo é estimada numa composição de apenas 5% de matéria comum (matéria bariônica), 27% de matéria escura (matéria que, por não produzir radiação e não interagir de forma significativa com a matéria bariônica, não pode ser detectada diretamente pelo ser humano), e 68% de energia escura (energia distribuída pelo espaço e que tende a acelerar o Universo).

DE OLHO NO CONCEITO

Um princípio cosmológico

De acordo com o princípio cosmológico, em escalas espaciais suficientemente grandes, o Universo é homogêneo e isotrópico. Isso quer dizer que, em qualquer direção do Universo que se observe, ele parecerá o mesmo, a grandes distâncias.

Esse princípio é consistente com as observações astronômicas. Uma das implicações do princípio cosmológico é que não existe um centro ou uma extremidade, o que limita a geometria do Universo. Esse princípio é uma das suposições básicas da cosmologia moderna.

Não escreva no livro.

MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO – ΛCDM

Nos últimos anos do século XX, havia a falsa impressão de que o Universo era suficientemente compreendido. O Modelo Cosmológico Padrão, baseado na teoria da relatividade geral e na teoria do Big Bang, tinha ganhado força e mostrava-se muito coerente.

Uma extensão da teoria do Big Bang, chamada **inflação**, diz que, no início, o Universo se expandiu de forma exponencial. A inflação explica por que o Universo parece tão homogêneo e isotrópico e por que sua geometria é muito próxima de ser plana. A densidade de energia média é determinante para o destino de um Universo homogêneo e isotrópico governado por forças gravitacionais. Para prever o futuro do Universo, é necessário conhecer a taxa dessa expansão.

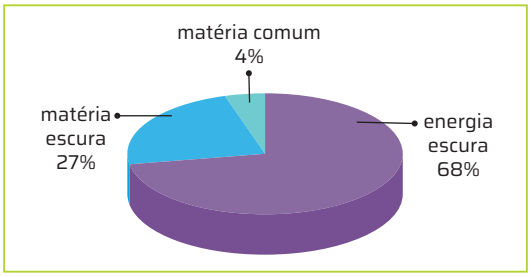
Com esse objetivo, principalmente para uma determinação mais precisa da constante de Hubble, procura-se observar regiões cada vez mais distantes do Universo. As velas-padrão, objetos astronômicos de luminosidade conhecida mais distantes e passíveis de detecção, são as supernovas do tipo Ia (resultantes da explosão na superfície de uma anã branca em um sistema binário) e as cefeidas, estrelas variáveis pulsantes (estrelas com luminosidade que varia de forma regular).

Para surpresa geral dos cientistas, observações publicadas em 1998 sobre a explosão de estrelas muito distantes mostraram que o Universo se expande com uma taxa acelerada. Isso contrariava as expectativas da época, pois indicava que as supernovas estariam mais distantes que o previsto para um Universo dominado apenas por matéria e radiação. Além das observações de supernovas, dados da radiação cósmica de fundo e registros de observações da distribuição de aglomerados de galáxias fortaleceram a ideia da expansão acelerada do Universo.

Para explicar essa expansão, um novo componente do Universo foi proposto: a **energia escura**, em uma proporção de 68% de sua composição total. Essa energia escura seria responsável pela aceleração da taxa de expansão do Universo nos últimos 6 bilhões de anos.

A composição estimada do Universo, pelo entendimento atual, é representada nos gráficos a seguir.

Gráficos: ID/BR



Cerca de 5% do Universo atual é composto de matéria tal como a conhecemos na Terra. Quase um quarto do Universo é feito de matéria escura, e cerca de dois terços do Universo são compostos de energia escura. Portanto, 95% do Universo é composto de matéria e energia escuras, que, até o momento, são totalmente desconhecidas.

O modelo cosmológico mais aceito no momento é o Modelo Cosmológico Padrão ΛCDM (Lambda CDM), que tem como base a teoria do Bing Bang e considera a existência tanto da matéria escura como da energia escura. A letra lambda (Λ) do nome do modelo é a constante cosmológica, inicialmente proposta por Einstein e que hoje é interpretada como a componente de aceleração do Universo, considerando a existência da energia escura. CDM é a sigla em inglês para Cold Dark Matter, que pode ser traduzido como "matéria escura fria" e engloba a teoria do Bing Bang e a matéria escura. Esse modelo também inclui a chamada matéria comum (matéria bariônica). Apesar de explicar muitos resultados experimentais, esse modelo apresenta limitações – por exemplo, a natureza da matéria escura e a origem da energia escura são desconhecidas.

Há várias hipóteses que procuram explicar a energia escura, mas nenhuma foi até agora comprovada. No estado atual do conhecimento científico, o entendimento do Universo encontra-se em fase de grandes mudanças, e novas teorias têm surgido. A natureza da energia escura que compõe mais de dois terços do Universo é uma das questões mais polêmicas da ciência moderna.

ROTEIRO

2. A radiação cósmica de fundo é muitas vezes chamada de radiação fóssil. Explique por que é utilizado o termo "fóssil".

3. Explique qual é o papel da energia escura na compreensão da expansão do Universo.

2. A radiação cósmica de fundo é chamada de radiação fóssil por ser uma radiação dos primórdios da origem do Universo, como uma assinatura do passado do Universo.
3. A energia escura é considerada a responsável por acelerar a expansão do Universo.

Máquinas para exploração espacial

PARA EXPLORAR

Assista

***Matéria e energia escuras*: você não conhece 95% do Universo (e nem os cientistas)!. Duração: 20 min 8 s.**

Nesse vídeo, o cientista Marcelo Gleiser fala sobre matéria e energia escuras.

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Z_VCECURY_Q&t=288s. Acesso em: 30 set. 2024.

A lei de Hubble

Você consegue imaginar como seria observar a expansão do Universo estando fora dele? Com este experimento simples, você e os colegas vão observar a ideia da expansão do Universo e a lei de Hubble.

Material

- balão de borracha (como os usados em festas infantis)
- caneta (de preferência, caneta permanente)
- pequenos adesivos ou pedaços de fita adesiva (alternativa ao uso da caneta)
- fita métrica

Como fazer

1. Encha parcialmente o balão e não amarre a saída de ar, apenas a mantenha fechada pressionando-a. Use os adesivos ou a caneta para marcar dez pontos ou fazer pequenas espirais ligeiramente distantes entre si na superfície do balão.
2. Marque cada ponto (ou adesivo) com uma letra, para facilitar a identificação. Escolha alguns pares de pontos com distâncias diferentes (cerca de dez pares) e meça a distância inicial entre eles.
3. Encha mais um pouco o balão soprando ar para dentro dele em algumas sequências de sopro (figura **1**), mantendo-o fechado após cada sopro.
4. Depois de cada sopro, meça com a fita métrica, acompanhando a curvatura do balão, a distância entre os pontos de cada par anteriormente marcado. Em uma tabela, anote os valores dessas distâncias, indicando por um número cada sequência de sopro.
5. Repita o procedimento até o balão ficar cheio (figura **2**), anotando a quantidade de sequências de sopro que foram necessárias.

ATENÇÃO!
Procure soprar o balão sempre com a mesma quantidade de ar a cada sopro.

Figura 1

Figura 2

Ilustrações: Davi Augusto Studio/ID/BR

Para concluir

1 **Represente, em um gráfico no seu caderno, os valores registrados na tabela elaborada no experimento: no eixo *x*, marque as sequências de sopro; no eixo *y*, as distâncias entre os pontos de cada par.** **1. a)** Resposta variável. As respostas vão depender dos dados obtidos pelos estudantes, porém, espera-se algo que se aproxime a uma reta.

a) Unindo os pontos correspondentes aos eixos *x* e *y*, construa uma curva para cada par de pontos.

b) Faça o ajuste dos dados por uma reta, ou seja, desenhe uma reta que represente a média da inclinação de todas as curvas traçadas. Depois, calcule o coeficiente angular da reta. Esse coeficiente angular é uma estimativa da constante de expansão do seu universo-balão.
Espera-se que, com os ajustes feitos, o coeficiente angular seja uma boa estimativa para a constante de Hubble.

2 **Que analogia pode ser feita entre os pontos no balão de borracha e as galáxias do Universo?**
Pode-se fazer a analogia do balão enchendo com o Universo em expansão e dos pontos desenhados com as galáxias se afastando.

3 **Se os sopros que você utilizou para encher o balão fossem mais longos (entrando mais ar) ou mais curtos (entrando menos ar), o valor obtido para a constante de expansão do seu universo-balão seria diferente? Por quê?** O valor seria diferente, porque a constante de Hubble indica a proporcionalidade entre a velocidade de expansão e a distância entre as galáxias.

4 **Determine a velocidade com que os pontos no balão se distanciam um do outro, considerando cada sopro uma unidade de tempo (por exemplo, 1 ou 2 segundos). Compare essa velocidade calculada com a distância inicial para cada par de pontos e relacione esses resultados com a lei de Hubble.** Resposta variável. As respostas vão depender dos dados obtidos pelos estudantes, porém, espera-se que as velocidades sejam maiores para os pares de pontos que estão mais afastados, como a lei de Hubble indica.

5 **A superfície do balão de borracha é bidimensional, enquanto o Universo é tridimensional (ou quadridimensional, se for levada em consideração a dimensão do tempo). Discuta as consequências desse fato para a validação da analogia proposta na atividade 2.** É possível uma analogia primária com a expansão do Universo porque não se pode contemplar, entre outros fatores, o tempo dessa expansão.

Não escreva no livro.

ATIVIDADES

ATIVIDADE RESOLVIDA

1 **As observações do espectro da galáxia de Andrômeda, realizadas em 1912 pelo astrônomo estadunidense Vesto Slipher, mostraram que essa galáxia se aproxima da nossa. Sabendo que Andrômeda está localizada a cerca de 2,5 milhões de anos-luz da Terra, avalie esse resultado segundo a lei de Hubble.**

JPL-Caltech/NASA

Foto de Andrômeda, galáxia vizinha à Via Láctea.

Resolução

A lei de Hubble, que comprovou a expansão do Universo, afirma que a velocidade de afastamento de uma galáxia é proporcional à sua distância até a Terra. Entretanto, essa lei é válida apenas para distâncias muito grandes. No caso de Andrômeda, que pertence ao mesmo aglomerado de galáxias que a Via Láctea, isso não é válido, pois as forças de atração gravitacional entre galáxias próximas estão atuando e, com isso, a expansão não é percebida.

2 **Analise o quadro de eventos relacionados à evolução do Universo (presente na página 403) e responda: O que se pode dizer da temperatura média do Universo desde o Big Bang até a atualidade? Ela aumentou, diminuiu ou permaneceu constante? Justifique.**
A temperatura do Universo tem diminuído devido à expansão do espaço-tempo que resfria a radiação cósmica de fundo.

3 **Em relação à lei de Hubble, responda às questões.**

a) O que acontece com a velocidade das galáxias enquanto a distância entre elas aumenta?
Conforme a distância entre as galáxias aumenta, sua velocidade de afastamento também aumenta.

b) Pode-se dizer que a velocidade e o afastamento entre as galáxias são uniformes? Justifique sua resposta. Não; a velocidade e o afastamento entre as galáxias não são uniformes, pois as concentrações de matéria podem variar no espaço.

4 **Explique, com suas palavras, o que se entende por Modelo Cosmológico Padrão.**
Resposta pessoal. O Modelo Cosmológico Padrão é um modelo baseado nas teorias mais aceitas que traz uma explicação da origem e evolução do Universo.

5 **Suponha que, em certa galáxia, a 300 milhões de parsecs da Via Láctea, uma estrela tenha se formado com um planeta ao seu redor simultaneamente ao Sistema Solar aqui na Via Láctea, há aproximadamente 5 bilhões de anos. Suponha também que uma civilização avançada tenha se desenvolvido naquela galáxia depois de apenas 1 bilhão de anos de existência do planeta e que essa civilização tenha conseguido enviar um sinal de rádio em direção à Terra.**

a) Determine se esse sinal de rádio já teve tempo de chegar até a Terra, supondo que o Universo se expande sempre na mesma taxa. Se a civilização enviou o sinal há 1 bilhão de anos, esse sinal já teve tempo de chegar até nós.

b) Considerando uma expansão acelerada do Universo, o sinal levaria mais tempo ou menos tempo para chegar à Terra? O sinal levaria mais tempo para chegar até nós.

6 **Cite e descreva as evidências que vieram a fortalecer a teoria do Big Bang, tornando-a a teoria científica mais aceita atualmente para a origem e a evolução do Universo.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 **Durante a evolução do Universo, pela teoria do Big Bang, ocorreu a era da nucleossíntese primordial. Qual a importância dessa era para as reações químicas que conhecemos? Cite um exemplo de molécula formada com um dos elementos dessa era.** Na era de nucleossíntese, foram formados os elementos, como o hidrogênio e o hélio, que são a base das reações químicas que conhecemos.

8 **A respeito da constante cosmológica de Einstein, faça o que se pede.**

a) Identifique em que contexto e por que ela foi criada. Foi o próprio Einstein quem introduziu a constante cosmológica para garantir a teoria do Universo estático.

b) Explique por qual razão ela foi deixada de lado em teorias posteriores.
Com a descoberta da expansão do Universo por Hubble, Friedmann eliminou a constante cosmológica de seu modelo.

c) Identifique o principal motivo pelo qual essa constante passou a ser novamente considerada nos dias atuais. A constante cosmológica foi retomada para considerar a matéria escura.

9 **Faça um resumo das teorias mais importantes nas quais se baseia o Modelo Cosmológico Padrão ΛCDM adotado nos dias atuais. Construa uma rede de conceitos, se você preferir.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

ESTUDO DE CASO

O CRUZEIRO DO SUL NA COSMOLOGIA TUPI-GUARANI

Diversos aspectos das culturas indígenas estão intrinsecamente ligados aos saberes relacionados à observação do céu. "Tudo o que existe no céu também existe na Terra", dizem os Guarani. Desde muito tempo, os indígenas sabem que há uma época mais propícia ao plantio de determinada lavoura, e outra à sua colheita e que há momentos melhores para a caça ou a pesca. Ritos de passagem, casamentos, celebrações religiosas e outros eventos também têm épocas mais apropriadas. O céu era, e ainda é, usado como calendário para regular muitas dessas atividades, assim como meio de orientação geográfica.

João Miguel A. Moreira/ID/BR

Distribuição geográfica dos povos indígenas brasileiros segundo seus troncos e suas famílias linguísticos na época da chegada dos portugueses no século XVI.

Fonte de pesquisa: Albuquerque, M. M.; Reis, A. C. F.; Carvalho, C. D. de. *Atlas histórico escolar*. 7. ed. São Paulo: Fename, 1977.

Reinaldo Vignati/ID/BR

Constelação da Ema, limitada pela constelação ocidental do Cruzeiro do Sul, que "segura" a cabeça da Ema, e a do Escorpião, que compõe a cauda e uma de suas patas. As plumagens da ave são manchas claras e escuras da Via Láctea.

Fonte de pesquisa: Pedrosa, L. Fique por dentro dos mitos e usos das constelações indígenas. *Portal EBC*, Brasília, DF, 25 fev. 2016. Disponível em: https://memoria.ebc.com.br/tecnologia/2016/02/constelacoes-indigenas-mitos-e-astronomia/. Acesso em: 1º out. 2024.

Existem registros de que os Tupinambá já conheciam os efeitos das fases da Lua sobre as marés muito antes dos europeus, que só descobriram essa relação com as contribuições do físico Isaac Newton em 1687. Povos indígenas sabem que tipo de peixe é mais abundante, seja no rio, seja no mar, em determinada fase da Lua de certa época do ano.

O Sol, a Lua, Vênus, a Via Láctea e as constelações ocidentais das Plêiades, de Órion, de Escorpião e do Cruzeiro do Sul, bem como outros astros, constelações e regiões do céu eram referência para diferentes grupos indígenas falantes de tupi-guarani, os quais estavam amplamente distribuídos por várias partes do Brasil antes da chegada dos portugueses no século XVI. Às constelações e regiões da Via Láctea eram atribuídas formas de seres terrestres cujas histórias faziam parte das lendas e dos mitos indígenas sobre a origem e o funcionamento do mundo.

A constelação do Cruzeiro do Sul – ou Kurusu, em guarani –, localizada na Via Láctea, é de grande importância para os povos falantes de tupi-guarani. Utilizada para determinar as estações do ano, os pontos cardeais e os intervalos de tempo transcorridos à noite, ela faz parte de uma constelação maior, chamada pelos Guarani de constelação da Ema, ou Guyra Nhandu. A constelação da Ema é vista ascendendo a leste ao anoitecer no meio da estação Ara Ymã, ou "tempo velho", que corresponde ao solstício de inverno, um período de frio e de escassez para os povos do Sul do Brasil e de seca para os povos do Norte do país.

Segundo o mito tupi-guarani, a Ema engoliu dois ovos, que estão no interior de seu pescoço e que correspondem às estrelas Alpha Centauri e Beta Centauri; e ela tenta devorar outros dois, que estão perto de seu bico: as estrelas Delta Muscae e Gamma Muscae. O Kurusu deve segurar a cabeça da Ema para garantir a vida na Terra, pois, caso contrário, ela ficará livre e beberá toda a água do mundo, matando todos de sede. Para as etnias falantes de tupi-guarani, o Kurusu é o tronco principal por onde estamos todos seguros; se ele desaparecer, o mundo acaba.

Reúna-se com os colegas para realizar em grupo as atividades a seguir.

Não escreva no livro.

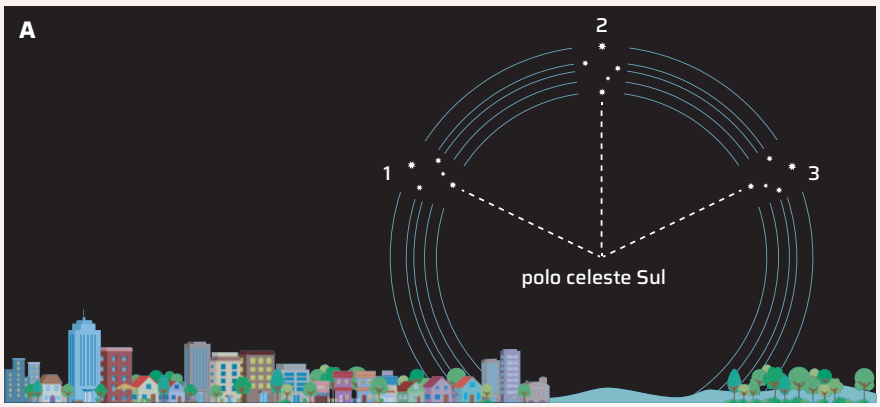
1 O que significa dizer que a constelação da Ema é uma constelação típica de inverno para os povos falantes de tupi-guarani?

2 Qual é a principal constelação que os povos ocidentais do hemisfério Sul usam para determinar o inverno? E qual constelação marca o verão para esses povos? Vocês sabem reconhecer essas constelações no céu?

1. Significa dizer que é uma constelação visível no céu noturno para esses povos, habitantes do hemisfério Sul, durante o inverno.
2. Para marcar o inverno no hemisfério Sul, a de Escorpião. As constelações das Plêiades e de Órion são bastante importantes para os povos ocidentais como marcação do verão no hemisfério Sul. Resposta pessoal.

O Cruzeiro do Sul (figura **A**) é visto no céu bastante próximo ao polo celeste Sul, que é o ponto onde o prolongamento do eixo de rotação da Terra intersecta a esfera celeste no hemisfério Sul (figura **B**). Por esse motivo, no transcorrer da noite, o polo celeste Sul parece permanecer fixo no céu, enquanto as estrelas parecem se movimentar ao seu redor (figura **C**).

Reinaldo Vignati/ID/BR

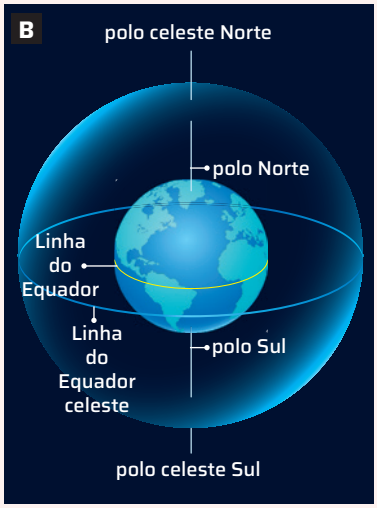


Representação sem proporção de tamanho.

(**A**) Movimento aparente do Cruzeiro do Sul durante a noite ao redor do polo celeste Sul. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Souza, T. C. de. Cruzeiro do Sul (jardim do céu na Terra). Centro de Divulgação de Astronomia da USP, 9 jun. 2015. Disponível em: http://200.144.244.96/cda/jct/cruzeiro-sul/index.html. Acesso em: 1º out. 2024.

Reinaldo Vignati/ID/BR



Adriano Kirihara/Pulsar Imagens

Representação sem proporção de tamanho.

(**B**) Polos celestes Norte e Sul localizados na esfera celeste. Cores-fantasia.

Fonte de pesquisa: Oliveira Filho, K. de S.; Saraiva, M. de F. O. A esfera celeste. *Astronomia e Astrofísica*, Porto Alegre, 25 ago. 2010. Disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm. Acesso em: 1º out. 2024.

(**C**) No hemisfério Sul, ao apontarmos uma câmera fotográfica para o céu com o diafragma aberto por longo período de tempo, podemos registrar a movimentação aparente das estrelas ao redor do polo celeste Sul. Foz do Iguaçu (PR). Foto de 2021.

3. O braço maior da cruz do Cruzeiro do Sul (Kurusu) aponta para o polo celeste Sul, que indica o sul geográfico da Terra. A partir desse ponto, é possível inferir os demais pontos cardeais e, portanto, orientar-se espacialmente.

3 O Kurusu era usado como elemento de orientação espacial durante a noite pelos povos indígenas falantes de tupi-guarani. Expliquem como isso é possível.

4 Determinem os pontos cardeais na imagem retratada na figura **A**. O movimento aparente das estrelas ao redor do polo celeste Sul ocorre em qual sentido? E ao redor do polo celeste Norte? Justifiquem a resposta.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 De acordo com a mitologia tupi-guarani, a Ema se movimenta ao longo da noite para tomar água. Descreva como a constelação da Ema se movimenta no céu ao longo da noite. É possível inferir que a cabeça da Ema (segurada pelo Cruzeiro do Sul) vai descendo em direção ao chão no transcorrer da noite, como se quisesse beber a água da Terra, como diz o mito.

6 Os povos indígenas usavam o movimento das estrelas do Kurusu para medir o tempo. Quantas horas se passam entre a observação do Cruzeiro do Sul (figura **A**) na posição **1** e a observação da mesma constelação na posição **3**, considerando um ângulo de 60° entre elas? O tempo transcorrido entre a posição **1** e a **3** é de 3 horas.

7 Pesquisem outras constelações importantes para os povos indígenas e discutam como esse conhecimento se relaciona com a etnociência.
Espera-se que os estudantes pesquisem constelações como as do Homem Velho, da Anta do Norte e do Veado e que, em conversa com os colegas, partilhem as descobertas da pesquisa mostrando a importância desse conhecimento para valorizar e preservar a cultura dos povos indígenas.

PARA EXPLORAR

Leia

***O céu dos índios de Dourados – MS*, de Germano Bruno Afonso e Paulo Souza da Silva. Dourados: Ed. da UEMS, 2011.**

O livro resgata os conhecimentos astronômicos dos povos indígenas falantes de tupi-guarani e as relações que eles estabelecem entre o céu e a natureza por meio dos mitos que revelam a cosmovisão desse povo.

Disponível em: http://www.telescopiosnaescola.pro.br/livro_astro3B.pdf. Acesso em: 1º out. 2024.

QUESTÕES GLOBAIS

3. O Sistema Solar se formou de uma grande nuvem de gás e poeira, e a Terra foi formada pela aglutinação de materiais que orbitavam ao redor do jovem Sol.

1 **Explique por que se diz que uma supernova ocorreu há milhões de anos, mesmo com sua observação sendo feita no tempo presente.** Porque a supernova está muito distante da Terra e sua luz demora 160 milhões de anos para chegar até nós.

2 **Explique por que as estrelas, mesmo apresentando uma grande força gravitacional, não entram em colapso.**

Dica: Use os conceitos de pressão térmica e de pressão radioativa em sua resposta.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

3 **Escreva os principais pontos do processo de formação da Terra a partir da teoria da nebulosa solar.**

4 **Durante a formação inicial da Terra, grande quantidade de energia foi liberada nesse processo de formação. Explique como essa energia influenciou o aquecimento da Terra primordial.**
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

5 **Sabendo que o Sol tem hoje aproximadamente 4,6 bilhões de anos e é uma estrela de massa intermediária, identifique em que estágio de vida essa estrela se encontra.** O Sol encontra-se atualmente em seu estágio jovem, com massa de 1 massa solar.

6 **Pesquise um modelo cosmológico de uma cultura antiga e faça o que se pede a seguir.**

a) Identifique as características principais do modelo, ou seja, se ele se refere a elementos como o planeta Terra, o Sistema Solar, a Via Láctea ou o Universo.

b) Descreva como se deu a origem do modelo cosmológico que você pesquisou relacionando com a cultura escolhida.

c) Explique se o modelo faz referência a um evento similar ao Big Bang.

d) Comente algumas das principais consequências desse pensamento de modelos cosmológicos para a ciência. Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

7 **Leia o texto a seguir, sobre uma das evidências da presença de matéria escura em galáxias. Depois, faça o que se pede.**

[...]

Segunda evidência: curvas de rotação de galáxias

Esta evidência surgiu nos trabalhos de Vera Rubin e colaboradores nos anos [19]70, ao medirem curvas de rotação de galáxias espirais.

O que são curvas de rotação de galáxias? São curvas que medem a velocidade das estrelas ou gás orbitando no disco em torno do centro das galáxias espirais em função da distância ao centro. Assim como as órbitas dos planetas, as órbitas das estrelas e das nuvens de gás seguem as leis de Kepler, segundo as quais a velocidade orbital em torno do potencial central cresce com a massa central e decresce com a distância ao centro. Podemos quantificar isso [...] [pela] igualdade:

$$m\frac{V^2}{R} = \frac{GMm}{R^2} \rightarrow M = \frac{RV^2}{G} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

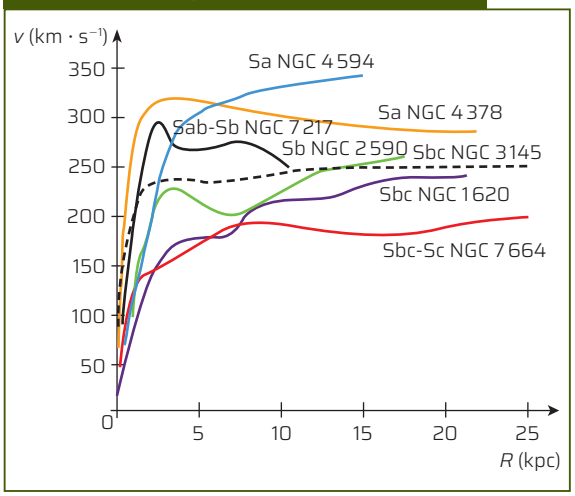
A equação acima significa que a força centrípeta que atrai uma estrela de massa m ou qualquer outro constituinte da galáxia (como uma nuvem de gás) é fornecida pelo potencial gravitacional central de uma massa M, que seria a massa da galáxia interna ao raio R. Medindo então a velocidade V das estrelas ou das nuvens de gás nas galáxias através do efeito Doppler, pode-se calcular a massa da galáxia dentro do raio R. Se fizermos isto para as estrelas ou nuvens de gás nos bordos do disco, poderemos em princípio calcular a massa de praticamente toda a galáxia. [...]

BERGMANN, T. S. Matéria escura e cosmologia. Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, [202-]. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/materia-escura-e-cosmologia/. Acesso em: 28 jun. 2024.

De acordo com a equação apresentada no texto, a velocidade dos objetos na periferia de uma galáxia deveria decair conforme aumentasse a distância deles ao centro da galáxia.

a) Analise o gráfico a seguir, da velocidade em função da distância das curvas de rotação de galáxias. Verifique se os dados do gráfico estão de acordo com o trecho "Segunda evidência: curvas de rotação de galáxias". Não, a oscilação das curvas mostra que há galáxias que aumentam a velocidade quando suas distâncias aumentam.

CURVAS DE ROTAÇÃO DE ALGUMAS GALÁXIAS



ID/BR

Não escreva no livro.

b) Usando como argumento a expressão da velocidade apresentada no texto, escreva um parágrafo justificando por que essas curvas são uma evidência da existência da matéria escura.
Veja resposta em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

8 **(UFSC)** Ao final da exposição, estudantes e professores entraram em uma sala na qual estavam expostas réplicas de obras modernas, como as do pintor Salvador Dalí. Após o último quadro, podia-se ler a seguinte passagem do livro *A máquina do tempo*, escrito entre 1887 e 1894 por H. G. Wells:

"Sabem, naturalmente, que uma linha matemática, uma linha de espessura zero, não tem existência real [...]. Também um cubo, tendo apenas comprimento, largura e altura, não pode ter existência real [...].

– Não há dúvida, continuou o Viajante do tempo, que todo corpo real deve estender-se por quatro dimensões: deve ter Comprimento, Largura, Altura e... Duração. Mas, por uma natural imperfeição da carne, somos inclinados a desprezar este fato. Há realmente quatro dimensões, três das quais são chamadas os três planos do espaço, e uma quarta, o Tempo."

Nesse momento, alguns estudantes lembraram as discussões realizadas em sala e fizeram afirmações para o professor sobre a Teoria da Relatividade Restrita, de Einstein, publicada em 1905.

Identifique a(s) [afirmação(ões)] correta(s).

01. Para a Mecânica Clássica, as grandezas "massa" e "tempo" são absolutas, ou seja, independem do referencial em que são medidas.

02. Na perspectiva da Teoria da Relatividade Restrita, o espaço e o tempo são estáticos e imutáveis, ou seja, não são passíveis de alteração em relação ao sistema de referência analisado.

04. A Teoria da Relatividade Restrita invalidou a Mecânica Newtoniana, que não pode ser utilizada mesmo para velocidades muito pequenas em comparação com a velocidade da luz no vácuo.

08. Segundo a teoria, a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor – aproximadamente 300 000 km/s – em relação a qualquer referencial inercial.

16. A partir da Teoria da Relatividade Restrita, não é possível estabelecer relações entre massa e energia.

32. Conforme a teoria, as leis da Física são as mesmas, expressas por equações que têm a mesma forma em qualquer referencial inercial.

Soma das alternativas corretas: 01 + 08 + 32 = 41

9 **(Uerj)** Em um experimento, dois relógios idênticos e sincronizados apresentam uma diferença perceptível na medida do tempo. Um dos relógios se encontra em repouso, enquanto o outro está em movimento a uma velocidade escalar v constante, próxima à velocidade escalar c da luz. Segundo a teoria da relatividade de Albert Einstein, entre o intervalo de tempo Δt_1, medido pelo relógio em repouso, e o intervalo de tempo Δt_2, medido pelo relógio em movimento, observa-se a seguinte relação:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Considere que o deslocamento do relógio ocorre à velocidade $v = \frac{12c}{13}$ durante $\Delta t_2 = 10$ segundos.

Logo, o tempo Δt_1, em segundos, decorrido no relógio em repouso, é igual a: Alternativa **b**.

a) 28
b) 26
c) 24
d) 22

10 **(FMJ-SP)** A tomografia por emissão de pósitrons é um exame da medicina nuclear que utiliza elementos radioativos que decaem por emissão de pósitrons, que são antipartículas do elétron. Após ser emitido, o pósitron encontra um elétron das células do paciente, ocorre a aniquilação de ambos e criam-se dois fótons de radiação gama. O equipamento detecta essa radiação e constrói a imagem da região do interior do corpo do paciente. De acordo com a Teoria da Relatividade, a relação entre massa (m) e energia (E) é dada pela expressão $E = mc^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo igual a $3 \cdot 10^8$ m/s.
Considerando-se a massa do elétron igual a $9 \cdot 10^{-31}$ kg, a quantidade de energia associada a cada fóton da radiação gama resultante da aniquilação de um par elétron-pósitron é Alternativa **c**.

a) $4{,}0 \cdot 10^{-15}$ J.
b) $2{,}7 \cdot 10^{-38}$ J.
c) $8{,}1 \cdot 10^{-14}$ J.
d) $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.
e) $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J.

11 **(Enem)** Astrônomos medem a velocidade de afastamento de galáxias distantes pela detecção da luz emitida por esses sistemas. A Lei de Hubble afirma que a velocidade de afastamento de uma galáxia (em km/s) é proporcional à sua distância até a Terra, medida em megaparsec (Mpc). Nessa lei, a constante de proporcionalidade é a constante de Hubble (H_0) e seu valor mais aceito é de 72 km/s/Mpc. O parsec (pc) é uma unidade de distância utilizada em astronomia que vale aproximadamente $3 \cdot 10^{16}$ m. Observações astronômicas determinaram que a velocidade de afastamento de uma determinada galáxia é de 1 440 km/s. Utilizando a Lei de Hubble, pode-se concluir que a distância até essa galáxia, medida em km, é igual a Alternativa **c**.

a) $20 \cdot 10^0$
b) $20 \cdot 10^6$
c) $6 \cdot 10^{20}$
d) $6 \cdot 10^{23}$
e) $6 \cdot 10^{26}$

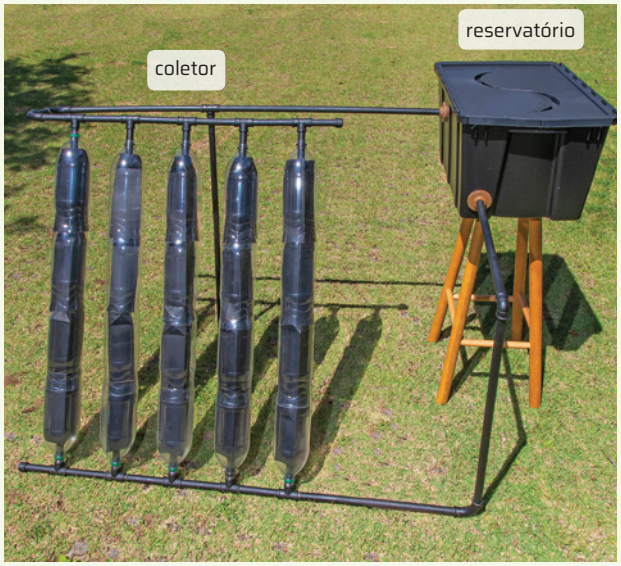
AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO

SUSTENTABILIDADE E INFORMAÇÃO PARA A COMUNIDADE

O que será feito

Nas residências, os equipamentos que mais consomem energia elétrica costumam ser os chuveiros elétricos e outros aparelhos aquecedores de água. Por exemplo, um chuveiro elétrico com potência de 5 400 watts (ou 5,4 kW) utilizado por apenas 10 minutos três vezes ao dia gera um consumo mensal de 81 kWh. Esse consumo impacta o orçamento de inúmeras famílias e representa uma alta demanda energética.

Usinas geradoras de energia elétrica que usam fontes renováveis – como a energia solar, a eólica, a hidráulica e a de biomassa – em geral emitem menos gases de efeito estufa do que as usinas que utilizam fontes não renováveis, como o carvão mineral, e podem trazer boas perspectivas em relação ao problema das mudanças climáticas.



Mar de Palha/ID/BR

Aquecedores solares ajudam a reduzir o gasto mensal com a conta de energia elétrica e ainda podem ser construídos com materiais reutilizados ou de baixo custo. A foto mostra o reservatório e o coletor (painel solar) de um aquecedor solar. A função do reservatório é armazenar a água aquecida pela luz solar que incide sobre a superfície do coletor no decorrer de um dia.

O Brasil recebe alta incidência de radiação solar, porém, a maior parte da energia elétrica no país ainda é gerada por usinas hidrelétricas. Reduzir a dependência do Brasil em relação a essa forma de obtenção de energia é importante, pois, embora seja uma fonte renovável, a instalação de hidrelétricas provoca impactos ambientais significativos. Além disso, não sabemos como os eventos climáticos extremos poderão afetar esse setor.

Como priorizar o consumo de energia de fontes renováveis e abundantes? É possível criar soluções tecnológicas que sejam de baixo custo e acessíveis à população?

Neste projeto, você e os colegas vão pesquisar sistemas de aquecimento de água que usam energia solar, além de construir um protótipo de coletor solar. Vão registrar o passo a passo de todo o processo de montagem para divulgá-lo para as comunidades escolar e local.

Objetivos

- Confeccionar um protótipo de coletor de um aquecedor de água que utiliza energia solar empregando materiais simples e de baixo custo.
- Registrar o procedimento de elaboração do protótipo.
- Elaborar um tutorial *on-line* para que as pessoas das comunidades escolar e local possam construir o aquecedor em suas casas ou na escola. Se isso não for possível, pode ser elaborado um guia, impresso com esse passo a passo.

Não escreva no livro.

Preparação

Refletindo sobre o aproveitamento da energia solar

A demanda de energia elétrica para carregar a bateria de *smartphones* e de *laptops* ou para realizar atividades básicas, como refrigerar alimentos, se reflete no crescente custo da energia. Como minimizar o custo dessa energia e o impacto ambiental para obtê-la? O aproveitamento da energia solar representa uma economia real na conta de energia elétrica?

Calculando a economia na conta de energia elétrica

Você e os colegas vão calcular a economia de energia elétrica proporcionada pelo uso do aquecedor solar em comparação com o chuveiro elétrico em uma residência.

1. Selecionem as informações necessárias para realizar o cálculo, como a potência do chuveiro, o número de pessoas que vivem na residência e o tempo médio de duração de cada banho. Considerem 5 kW a potência média dos chuveiros elétricos. O valor do kWh aparece indicado na conta de luz.
2. Com as informações reunidas, calculem o valor mensal gasto com energia elétrica na residência para o aquecimento de água para banho.
3. Discutam outros benefícios, além do econômico, relacionados ao uso do aquecedor solar.

1. a **3.** Veja respostas em *Respostas e comentários* no Manual do Professor.

Compreendendo como funciona o aquecedor solar

Neste início do projeto, pesquisem sistemas de aquecimento solar de baixo custo já desenvolvidos e os materiais utilizados em sua construção. É importante compreender o funcionamento do aquecedor e de que modo conceitos da Física, como calor, temperatura, condução, convecção e irradiação, estão relacionados ao projeto. Isso será importante para a construção do coletor (parte essencial do aquecedor) e para a apresentação do seu passo a passo.

A pesquisa também deve ajudar vocês a definir o tipo de aquecedor mais adequado ao contexto da escola ou da comunidade.

PARA EXPLORAR

Assista

Conheça o aquecedor solar de baixo custo, que está no Sustentar UFMG

O vídeo, produzido pela TV UFMG em 2017, traz explicações sobre a construção e o funcionamento de um aquecedor solar de baixo custo. Duração: 2 min 59 s.

Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=lprcIPiUqXU. Acesso em: 2 jul. 2024.

Planejando os próximos passos

Agora é hora de escolher um dos modelos de aquecedor pesquisados, considerando as necessidades das comunidades escolar e local, e de verificar como montar o coletor. Vocês também vão planejar como será elaborado o tutorial (se será um material físico e/ou digital) e como será o evento de apresentação do protótipo do coletor. Para isso, reúnam-se com os demais grupos e com o(a) professor(a) e definam:

- os materiais necessários para a construção do coletor e para a elaboração do tutorial;
- o local onde o aquecedor será montado (o aquecedor deve ficar exposto de modo que as comunidades escolar e local vejam seu funcionamento);
- um cronograma de trabalho, considerando o tempo estimado para a montagem e o teste do aquecedor e para a elaboração do tutorial (as datas de entrega e de publicação do tutorial, dias de reunião, etc.).

Sugerimos que sejam organizadas duas equipes – uma para a construção do protótipo e outra para o desenvolvimento do tutorial. Avaliem, em conjunto, se essa é a melhor organização e façam as adequações que julgarem necessárias. É importante que as equipes interajam e compartilhem avanços e dificuldades durante o processo, auxiliando-se mutuamente.

Desenvolvimento

Nesta etapa, vocês vão montar o protótipo do coletor e elaborar o tutorial. Vamos considerar a sugestão de organização da turma em duas equipes.

A equipe **1** montará o aquecedor e registrará imagens do processo que possam ajudar a compor o tutorial e/ou ser publicadas em redes sociais para divulgar o projeto.

A equipe **2** desenvolverá o tutorial com imagens e fará a divulgação e a organização do evento de apresentação do protótipo do aquecedor na escola.

Equipe 1 – Construção do protótipo do coletor

- O aquecedor usado como base/sugestão para este projeto foi o modelo desenvolvido pela Universidade Federal do Pampa, apresentado neste texto: Dworakowski, L. A. de Q.; Marranghello, G. F.; Dorneles, P. F. T. O aquecedor solar na sala de aula. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 2, p. 147-162, 2010. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/eenci/artigos/Artigo_ID115/v5_n2_a2010.pdf. Acesso em: 2 jul. 2024. Os materiais necessários e o procedimento para construir dois módulos do coletor estão listados a seguir. No entanto, avaliem com o(a) professor(a) qual deve ser o protótipo mais adequado à realidade da turma e providenciem e organizem os materiais necessários.

Material

- tambor ou recipiente para armazenar 50 L de água
- 50 garrafas PET incolores de 2 litros (vazias e lavadas)
- 50 caixas de leite de 1 litro (vazias e lavadas)
- 14 m de canos de PVC de 20 mm ou de $\frac{1}{2}$ polegada
- 20 conexões T em PVC de 20 mm ou de $\frac{1}{2}$ polegada
- 4 tampões de PVC de 20 mm ou de $\frac{1}{2}$ polegada
- tesoura
- tinta fosca preta
- cola para tubos de PVC
- folhas de papel sulfite A3
- arco de serra
- trena ou fita métrica
- luvas, óculos de proteção e outros equipamentos de segurança que forem necessários
- câmera fotográfica, filmadora ou celular com câmera

Como fazer

Ao iniciar o passo a passo, sigam as orientações do(a) professor(a), especialmente nas etapas que demandam mais cuidados. Utilizem os equipamentos de segurança sempre que necessário.

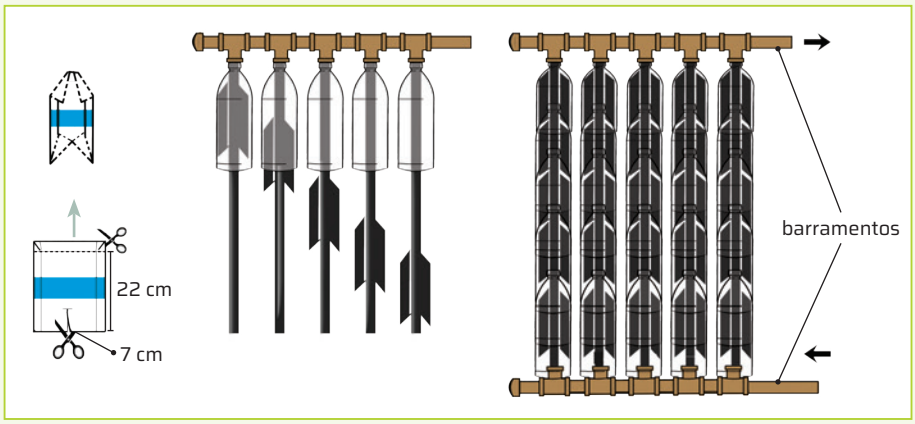
A turma deve designar dois ou três estudantes para fazer o registro fotográfico e audiovisual de cada passo, de maneira clara e didática, destacando os materiais, as ferramentas e os equipamentos de proteção utilizados na execução do projeto.

Passo a passo

1. Preparem as caixas de leite: descolem as "orelhas" e planifiquem as embalagens; cortem com a tesoura a parte já aberta, de modo que as caixas fiquem com 22 cm de comprimento.
2. Pintem as faces externas das embalagens de leite com a tinta fosca preta e deixem-nas secar, de acordo com as instruções do fabricante da tinta.
3. Façam um cilindro com uma folha de papel A3 e envolvam as garrafas PET (com as tampas voltadas para baixo) para indicar a posição em que as garrafas devem ser cortadas com a tesoura. Elas devem ficar com cerca de 30 cm de comprimento.
4. Usando o arco de serra, cortem os tubos de PVC em 12 pedaços de 1 metro cada e em 20 pedaços menores de 8 cm cada (distanciadores); pintem os canos com a tinta fosca preta.

ATENÇÃO! **Tenham cuidado ao cortar as embalagens de leite, as garrafas e os tubos de PVC.**

5. Para cada módulo, montem dois barramentos, cada um formado pelo encaixe, com cola de PVC, de cinco conexões T e quatro distanciadores. Em seguida, conectem, com cola, cinco pedaços de PVC (1 m) no barramento superior e encaixem cinco garrafas PET em cada um deles; encaixem também uma embalagem de leite dobrada dentro de cada garrafa PET (vejam imagem a seguir).
6. Escolham um dos módulos e tampem, com os tampões de PVC, duas extremidades de mesmo lado; do outro, encaixem o segundo módulo; encaixem também os dois pedaços de PVC restantes nas extremidades que ficaram abertas. Será preciso projetar e prever novos conectores para ajustá-los ao reservatório de água: o cano inferior deve se conectar à parte inferior do reservatório de água, e o cano superior deve ser conectado na parte mais acima desse recipiente.
7. O projeto pode ser adaptado, considerando que 2 módulos (50 garrafas PET) equivalem a 1 m² de área de insolação, área suficiente para aquecer 50 litros de água (banho para uma pessoa, aproximadamente). Ao final, façam medições tanto da temperatura ambiente quanto da temperatura da água armazenada e calculem o tempo necessário para o aquecimento da água.



Davi Augusto/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

Estrutura do coletor solar. Cores-fantasia.

Não escreva no livro.

Equipe 2 – Elaboração do tutorial e divulgação e organização do evento

Conteúdo do tutorial

- Definam o formato do tutorial, que dependerá dos recursos disponíveis (pode ser um tutorial gravado em vídeo para divulgação em *sites* ou redes sociais ou até mesmo uma animação, caso haja, na equipe, estudantes com habilidades artísticas para isso, por exemplo).
- Um tutorial em vídeo permite que um maior número de pessoas tenha acesso a esse conteúdo e compreenda a importância e o funcionamento do aquecedor solar. Antes da edição, elaborem um roteiro para o vídeo. Esse roteiro deve ser escrito de forma que as instruções sejam claramente descritas, sem que nenhuma etapa da construção do aquecedor fique excluída. Com o roteiro elaborado, dois ou mais estudantes podem se revezar na narração do vídeo, isto é, informar o que está sendo mostrado nas imagens.
- Utilizem programas ou aplicativos de edição de vídeo para sincronizar as imagens e o áudio. Além dos vídeos e das fotos registrados durante a confecção do protótipo, vocês podem usar imagens e informações práticas obtidas em outras fontes sobre como construir o aquecedor. É importante que a duração total do vídeo não exceda cinco minutos.
- Vocês podem publicar o tutorial – vídeo e texto – em diversas plataformas, como as de *sites* de tutoriais, ou no *website* da escola, por exemplo.
- É importante que o texto seja claro e conciso e que informe as pessoas sobre as vantagens da instalação desse tipo de aquecedor solar. No texto do tutorial, podem ser incluídos conceitos da Física (como trocas de calor por convecção ou por condução), explicados de forma simples e objetiva. O(A) professor(a) de Língua Portuguesa pode participar desta etapa.

Planejamento da apresentação do protótipo e do tutorial

- Depois de finalizarem o protótipo de aquecedor solar e o vídeo com o passo a passo da construção, é preciso divulgar o evento de apresentação do aquecedor e do tutorial.
- Em seguida, verifiquem e providenciem os materiais e equipamentos que serão necessários para o evento e elaborem o material de divulgação.
- Elaborem também um questionário (em meio digital ou impresso) para colher a opinião das pessoas durante o evento, identificando os pontos fortes do projeto e o que pode ser melhorado.

O que pode ser melhorado?

- Com o protótipo pronto, a equipe **1** vai testar o aquecedor e verificar seu funcionamento. Em sala de aula, a equipe deve responder às seguintes questões:

1 **Quais foram as maiores dificuldades encontradas durante a confecção do protótipo?** Resposta variável, de acordo com a experiência dos estudantes ao longo do procedimento.

2 **O que pode ser aprimorado? O que vocês mudariam, na prática, caso fosse necessário repetir todo o procedimento?**

- A equipe **2** vai apresentar o tutorial ao restante da turma e, caso julgue conveniente, pode mostrar essa versão para colegas de outras turmas. Utilizando um questionário (em meio digital ou impresso), essa equipe também vai verificar se todos conseguem compreender o tutorial. Com base nas sugestões e críticas construtivas, a equipe deve trabalhar no refinamento do tutorial.

2. Respostas variáveis, de acordo com a experiência dos estudantes ao longo do procedimento. Espera-se que eles apontem soluções viáveis para os problemas encontrados, propondo, por exemplo, a substituição ou a complementação de materiais e/ou ferramentas.

Conclusão

Exposição do coletor e publicação do tutorial

Organizem previamente o local onde o protótipo do coletor ficará em exposição, de maneira que os convidados possam observar seu funcionamento.

Durante o evento, se possível, apresentem o tutorial em um telão ou em computadores e se prontifiquem a sanar as dúvidas dos participantes.

Apliquem o questionário elaborado pela equipe **2** para saber a opinião das pessoas sobre o aquecedor solar e as orientações expostas e, após o evento, analisem e avaliem os resultados do questionário.

1. Resposta variável, de acordo com a experiência de cada estudante. Eles podem mencionar a construção do aquecedor, a linguagem do tutorial de modo a garantir a compreensão das informações para um público variado, por exemplo.

Avaliação

1 **Quais foram as principais dificuldades encontradas durante a execução do projeto e como elas foram solucionadas?** **2.** Respostas variáveis, de acordo com a experiência de cada estudante e das equipes.

2 **O trabalho foi bem distribuído entre as equipes e os estudantes durante o projeto? Como a distribuição do trabalho poderia ser aprimorada, se necessário?** **4.** Respostas pessoais. Incentive os estudantes a refletir sobre o próprio desempenho no decorrer do projeto, tanto no aspecto da aprendizagem de conteúdo como em relação às atitudes pessoais com os colegas e os professores.

3 **Em sua opinião, o tutorial será útil às pessoas que o acessarem? Esse tutorial poderá incentivar a comunidade a criar aquecedores de água semelhantes ao que sua turma construiu?**

4 **Qual etapa do projeto foi mais interessante para você? Por quê?**

3. Resposta pessoal. Espera-se que o tutorial deixe claros os benefícios locais de um aparelho desse tipo para as famílias (como a redução das despesas com energia elétrica ou com gás no aquecimento de água e também os benefícios em escalas regional e global) no combate às mudanças climáticas e na redução da dependência da eletricidade para aquecer a água.

Não escreva no livro.

RESPOSTAS DAS ATIVIDADES DE CÁLCULO

UNIDADE 1 – Física e o estudo dos movimentos

Questões para refletir (página 12)

3. Resposta variável. Estimativa entre 20 e 30 km/h.

CAPÍTULO 2 – Medidas

Roteiro (página 27)

2. 10^7 passos.

Atividades (página 33)

4. a) 3 400 m
   b) 2 m
   c) 1,87 m
   d) $8 \cdot 10^{-6}$ m
5. a) $2{,}732 \cdot 10^1$ dias
   b) $2{,}031 \cdot 10^8$ habitantes
   c) $4{,}2 \cdot 10^{-8}$ m
6. a) $2 \cdot 10^2$ g
   b) $2 \cdot 10^{-1}$ g
   c) $2{,}5 \cdot 10^7$ g
   d) $3{,}79 \cdot 10^5$ g
7. b) $5 \cdot 10^4$ grãos

CAPÍTULO 3 – Cinemática escalar

Roteiro (página 38)

2. $s = 10 + 4 \cdot t$

Roteiro (página 42)

3. 100 m
4. 9 cm

Roteiro (página 48)

5. b) 3 m/s² e −3 m/s²
   c) 6 m/s
   d) 108 m

Atividades (páginas 54 e 55)

1. a) 7 cm/s
   b) 2 m/s
   c) 40 km/h
   d) 60 km/h
   e) 100 km/h
   f) 340 m/s
   g) 20 km/h
   h) 30 000 m/s
   i) 700 km/h
2. a) 5 h
   b) 500 km
   c) 417 km
3. a) 1 020 m
   b) 6 s
4. a) $\Delta s \cong 16{,}67$ m
   b) Cerca de 47 m (considerando a distância de frenagem de 30 m).
   c) Em média, de 2 s.
   d) Cerca de 44,4 m.
5. b) 160 km/h/dia
   c) 4 800 km/h
6. b) 0,084 volta/ano
   c) 1,96 volta
7. d) $v \cong 1675$ km/h

Questões globais (página 58 a 61)

2. Alternativa **c**.
5. Alternativa **d**.
6. Alternativa **c**.
7. Alternativa **b**.
11. Alternativa **d**.
12. Alternativa **c**.
15. Alternativa **a**.
16. Alternativa **e**.

UNIDADE 2 – Dinâmica

CAPÍTULO 1 – Forças e leis de Newton

Atividades (páginas 86 e 87)

1. Aceleração nula.
5. b) 40 N
6. Aceleração (0h-1h); repouso (1h-1,8h); MU (1,8h-3h).
7. b) 0,7 s
   c) 5,5 N e 4,0 N
   d) 0 m/s²; 0 m/s²; 0,2 m/s²; 0,8 m/s²; 2,1 m/s²
8. $\sqrt{40}$ m/s
9. b) 83,54 N
   c) 48 N
10. a) $a \cong 3{,}57$ m/s²
    b) 128,55 N
11. c) 60 N
12. a) 66,6 N
    b) 466,6 N
13. a) 1,2 m/s²
    b) 3,6 m/s²

CAPÍTULO 2 – Energia e trabalho

Atividades (páginas 102 e 103)

3. a) Cerca de 1400 kcal (se fizer atividades físicas leves ou for sedentária) e cerca de 2400 kcal (se essa pessoa fizer atividade física mais intensa).
4. $\tau_1 = 200$ J; $\tau_2 = 100$ J; $\tau_3 = 0$ J; $\tau_4 = -100$ J.
5. 10 J
6. a) 10 J
   c) 20 J
7. b) 9 J
8. a) 120 J
   b) 120 J
   c) 0 J

Não escreva no livro.

9. Maior variação de 30 km/h para 40 km/h.

10. a) 24 000 J
b) 10 500 J
c) $3 \cdot 10^{10}$ J
d) $6 \cdot 10^{10}$ J

11. c) 90 lâmpadas.

12. b) 20 J e 80 J
c) 20%

CAPÍTULO 3 – Impulso e colisões

Roteiro (página 109)

3. 44 % maior.

Atividades (página 114)

1. a) 0,25 kg · m/s
b) 140 kg · m/s
c) $1{,}27 \cdot 10^6$ kg · m/s
d) $5{,}0 \cdot 10^4$ kg · m/s
e) $5{,}08 \cdot 10^4$ kg · m/s

2. a) 500 km/h

3. a) 1125 kg · m/s

4. a) 4,5 N · s
b) 90 N

5. a) 546 N · s
b) 1092 N

6. a) 22,5 N · s
b) 4,5 m/s

7. a) −0,5 m/s
b) $e = 0$

8. b) $v_2 \cong 0{,}467$ m/s
c) $\Delta s_t \cong 3{,}468$ m

CAPÍTULO 4 – Bases da Mecânica celeste

Atividades (página 131)

3. a) 5 500 km
b) 25 500 km
c) 1100 km até 20 000 km, cerca de 20 vezes.

5. a) $4R$; 108 dias

6. a) $3{,}8 \cdot 10^{-39}$ N
b) 10^{37} vezes menor

7. a) $8{,}1 \cdot 10^3$ m/s
b) $5{,}7 \cdot 10^3$ m/s

Questões globais (página 135)

2. Alternativa **a**.

3. Alternativa **d**.

4. 08 + 16 = 24

7. Alternativa **c**.

8. a) $11{,}2 \cdot 10^3$ m/s
b) $3{,}5 \cdot 10^3$ m/s

UNIDADE 3 – Estática

CAPÍTULO 1 – Torque

Atividades (página 144)

2. b) 0,6 N · m
c) 12 N

3. 1000 N

4. 1,6 m

5. 8,4 N

6. 300 N

CAPÍTULO 2 – Estudo dos fluidos

Roteiro (página 146)

1. 1,3 g/cm³

Atividades (página 165)

5. 267 N

Questões globais (páginas 168 e 169)

1. Alternativa **b**.

2. Alternativa **e**.

3. a) 200 N
b) $100\sqrt{13}$ N

4. Alternativa **c**.

6. 1200 N

8. Alternativa **c**.

UNIDADE 4 – Física térmica

CAPÍTULO 1 – Temperatura e calor

Roteiro (página 176)

3. 9 °F e 5 K.

Atividades (página 180)

2. 40 °C

8. a) $h = 30 \cdot (T - 25)$
b) 44 250 m

10. a) $T = \dfrac{-2 \cdot H}{275} + 25$ (Estimando $T_0 = 25$°C).
b) $T_{Everest} \cong -39$ °C ; $P_{Everest} \cong 0{,}4$ *atm*

CAPÍTULO 2 – Consequências do calor

Roteiro (página 184)

1. 1500 cal

Roteiro (página 189)

6. $T_f \cong 14{,}3$ °C

Física e Geografia – Derretimento da geleira Thwaites e os eventos climáticos

Conecte as ideias (página 191)

3. $Q \cong 1{,}22 \cdot 10^{23}$ J

4. Mais de 200 anos.

Atividades (página 195)

1. a) 1,15 mm
b) 2,00115 m

2. a) 225 cm^2
   b) $2{,}25 \cdot 10^{-2}$ cm^2
   c) 225,0225 cm^2
3. $5{,}4 \cdot 10^{-4}$ mm^3
4. a) $C = 50$ cal/°C
   b) $c = 0{,}25$ cal/g · °C
   c) $Q = 16\,500$ cal
6. $c_{metal} = 0{,}2$ cal/g · °C
8. $T_f = 37{,}5$ °C
9. 7,5 L de água fervente com 2,5 L de água fria.
10. $T = 48$ °C

CAPÍTULO 3 – Leis da Termodinâmica

Atividades (página 213)

2. a) 50 000 K
   b) 2 340 000 J
3. a) 360 J
   b) 240 J
   c) 0,6
4. a) $Q = 0$
   b) 800 J
   c) $P_f > P_i$

Questões globais (páginas 216 e 217)

1. Alternativa **b**.
2. $Q = 10\,850$ cal
9. Alternativa **e**.

UNIDADE 5 – Luz, som e ondas

CAPÍTULO 1 – Óptica

Atividades (página 234)

8. b) 30°

CAPÍTULO 2 – Introdução às ondas

Atividades (página 246)

1. c) 3,33 m
2. a) 10 m
   b) 5 m
4. a) 490 min ou 8,16 h.
   b) 30 dB

CAPÍTULO 3 – Fenômenos ondulatórios

Atividades (página 257)

3. 0,05 m e 0,01 m.
6. $f_{obs} = 1\,062{,}5$ Hz

Questões globais (página 260)

5. Alternativa **b**.

UNIDADE 6 – Eletricidade e magnetismo

CAPÍTULO 1 – Força elétrica e campo elétrico

Roteiro (página 265)

1. $Q = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C

Atividades (página 271)

2. a) $d = 3 \cdot 10^{-3}$ m
   b) $|F'_R| = 6 \cdot 10^{-5}$ N
   c) $|F| = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ N
3. a) $E = 9 \cdot 10^9$ N/C
5. a) $E_1 = 6 \cdot 10^2$ N/C
   b) $E_2 = -4{,}5 \cdot 10^2$ N/C
   d) $E_R = 1{,}5 \cdot 10^2$ N/C

CAPÍTULO 2 – Corrente elétrica e circuitos elétricos

Roteiro (página 274)

1. a) $R = 20\ \Omega$
   c) $i = 6$ A

Roteiro (página 275)

2. b) $\frac{1}{8}$

Roteiro (página 277)

3. $i = 0{,}12$ A

Roteiro (página 278)

4. a) 127 V
   b) 19 kWh/mês
   c) kWh

Roteiro (página 280)

6. a) 1,6 kWh
   b) 48 kWh

Roteiro (página 283)

7. a) $0{,}2\ \Omega$
   b) 3 V

Roteiro (página 289)

9. a) $P_t \cong 12{,}52$ W
   b) $P_{útil} \cong 10{,}89$ W
   c) $P_{dissipada} \cong 1{,}63$ W
   d) $\eta \cong 0{,}87$

Atividades (páginas 294 e 295)

3. $P = 1250$ W
4. 1,97
5. $P_{máx} = 2\,500$ W
6. $P = 2\,420$ W
8. a) $11\ \Omega$
   b) $2{,}75\ \Omega$
9. $U = 120$ V
11. 2,38 A e 0,79 A
13. $0{,}5\ \Omega$ e $1{,}0\ \Omega$

Não escreva no livro.

14. a) 72 W
b) 24 V
c) 8 Ω

15. a) $2i_0$ b) $\frac{i_0}{2}$

16. a) 3 000 W
b) R$ 0,60/dia.

17. a) 45 V
b) 94%
c) 144 W
d) 135 W
e) 9 W
f) 15 Ω

CAPÍTULO 3 – Produção e consumo de energia elétrica

Roteiro (página 302)

2. 26,7 m²

Atividades (páginas 308 e 309)

5. a) 342 kWh

8. 10 MW

CAPÍTULO 4 – Magnetismo e indução eletromagnética

Atividades (páginas 328 e 329)

2. $F = 3\sqrt{3} \cdot 10^{-5}$ N, direção normal ao plano da página e saindo da página

3. $F = 3\sqrt{3} \cdot 10^{-5}$ N, direção normal ao plano da página e entrando na página

6. Direção vertical, sentido para baixo na carga e na intensidade $2 \cdot 10^{-6}$ N.

9. a) 0,2 Wb e 0,1 Wb
b) 0,1 Wb
c) $\varepsilon = 0{,}5$ V
d) $i = 0{,}125$ A
e) $P = 0{,}0625$ W

10. b) $\lambda = 0{,}1$ m
c) 6 000 m ou 6 km.
d) 5 100 m ou 5, 1 km.
e) $v = 720$ km/h

Questões globais (página 332)

2. Alternativa **e**.

5. a) $n = 2 \cdot 10^8$ elétrons a menos.
b) $F = 2{,}88 \cdot 10^{-10}$ N, $E_{mín} = 9$ N/C

6. 1,0 Ω · m

7. Alternativa **c**.

8. Alternativa **b**.

9. b) $1{,}5 \cdot 10^3$ m³/s

UNIDADE 7 – Física do "muito pequeno"

CAPÍTULO 2 – Física Quântica

Roteiro (página 346)

1. $2{,}83 \cdot 10^{-19}$ J

Atividades (página 354)

3. a) $6{,}63 \cdot 10^{-36}$ m

4. a) $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ m

5. $4{,}14 \cdot 10^{-9}$ m

7. $5{,}27 \cdot 10^{-27}$ J

CAPÍTULO 3 – Física Nuclear

Roteiro (página 358)

1. $\frac{1}{8}$ da amostra inicial

Roteiro (página 359)

2. a) 92 prótons e 146 nêutrons.
b) 90 prótons e 144 nêutrons.

Atividades (página 365)

2. a) 28 anos.
b) 3 g

Questões globais (páginas 368 e 369)

7. Alternativa **a**.

8. b) $5 \cdot 10^{14}$ Hz
c) 800 nm

UNIDADE 8 – Física do "muito grande"

CAPÍTULO 2 – Estrelas

Roteiro (página 380)

1. $\Delta t = 6{,}7 \cdot 10^4$ s = 18,5 horas.

CAPÍTULO 3 – Teoria da relatividade

Roteiro (página 396)

1. $\Delta E = 0{,}4149 \cdot 10^{-11}$ J

Atividades (página 399)

2. Considerando uma pessoa de 70 kg, $r_c = 1{,}04 \cdot 10^{-25}$ m

4. a) $E = 6{,}3 \cdot 10^{18}$ J (pessoa de massa 70 kg).
b) $E = 1{,}8 \cdot 10^{47}$ J

CAPÍTULO 4 – Modelo Cosmológico Padrão

Estudo de caso (página 409)

6. O tempo transcorrido entre as posições **1** e **3** é 3 horas.

Questões globais (páginas 410 e 411)

9. Alternativa **b**.

10. Alternativa **c**.

11. Alternativa **c**.

PROJETO 2 – Aquecedor solar de baixo custo

Preparação (página 413)

1. Resposta variável de acordo com os dados considerados no cálculo.

TRANSCRIÇÃO DOS ÁUDIOS

As transcrições aqui apresentadas não foram corrigidas de acordo com a norma-padrão da língua portuguesa, resguardando a autenticidade dos textos e preservando aspectos característicos das variações linguísticas e do registro oral das pessoas gravadas.

UNIDADE 1

página 17

Podcast – Mulheres na ciência

Locutor: Mulheres na ciência.

Historicamente, as mulheres enfrentaram inúmeros desafios para ingressar no meio científico, principalmente em áreas das ciências exatas, como a Física. Apesar disso, muitas mulheres tiveram contribuições significativas para o desenvolvimento da ciência. Um exemplo abordado neste *podcast* é o da física Sônia Guimarães.

Márcia Corrêa e Castro: Já está mais que provado que a Terra é redonda. Mas você já parou para pensar quantos experimentos foram feitos a partir de todas as teorias científicas que foram levantadas até essa confirmação?

A ciência é como um jogo: tem regras próprias que constituem uma forma de pensar e comprovar as teorias. Para se tornar cientista, é preciso acumular conhecimento, possibilitando, assim, comprovar as hipóteses na prática. As universidades são a porta de entrada para se formar um cientista. Mas será que homens e mulheres têm as mesmas chances de acesso?

Segundo dados da Unesco de 2020, 30% dos cientistas no mundo são mulheres. No Brasil, esse número sobe para 40,3%. Embora elas sejam maioria nas instituições de ensino e pesquisa, ainda enfrentam dificuldades para alcançar postos hierárquicos no meio científico.

A educação das mulheres no Brasil sempre foi marcada pela exclusão. O acesso à escola era tardio e sua formação, prioritariamente voltada para os cuidados do lar. Para você ter uma ideia de como essa luta é antiga, em 1879, quando o governo imperial brasileiro autorizou o ingresso de mulheres nas faculdades, condicionou a matrícula à autorização do pai ou do marido.

Ainda é muito comum aqui no Brasil que meninos e meninas cresçam recebendo estímulos, valores e aprendizados diferentes. Isso acaba influenciando na escolha de suas profissões. Um exemplo são os brinquedos oferecidos para as meninas e para os meninos, enaltecendo diferentes habilidades como se fossem naturais, dependendo do gênero.

Filmes, páginas nas redes sociais e desenhos animados podem ser fundamentais para o aprendizado, desenvolvimento de habilidades e como inspiração para as escolhas profissionais.

O filme *Estrelas além do tempo*, lançado em 2016, foi inspirado na história real de três mulheres negras que trabalharam na Nasa no início dos anos [19]60. Elas lutaram contra o preconceito de cor e gênero e foram fundamentais para as pesquisas da corrida espacial. As três personagens do filme eram matemáticas. Uma delas, depois, também se tornou engenheira. Pertenciam à área STEM, sigla em inglês que quer dizer Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática.

Na maioria dos países, independente do seu nível de desenvolvimento, a presença de mulheres nessas áreas é bem menor que a de homens. Apenas 35% de todos os estudantes das áreas STEM são mulheres. Para uma mulher driblar sua dupla ou até tripla jornada de trabalho, conciliando a profissão, cuidados domésticos e, em muitos casos, a criação dos filhos, optar por seguir uma carreira acadêmica pode ser extremamente desafiador.

Estudos mostram que cientistas que são mães têm queda drástica no número de publicações até o quarto ano de seus filhos. O tempo de formação dessas mulheres é maior do que o dos homens na mesma área de atuação. Só entre a graduação e o doutorado, uma mulher cientista pode levar uma média de dez anos.

A comunidade acadêmica, dentro e fora do Brasil, promove ações de incentivo à participação das mulheres na ciência. Segundo a ONU, um em cada três pesquisadores são mulheres. Apenas 12% das mulheres cientistas integram as academias nacionais. Quando a área é de inteligência artificial, só 22% das pesquisadoras são mulheres.

Apesar de todo este movimento para trazer mais mulheres e meninas para a ciência, a área tecnológica é a que apresenta maior desequilíbrio quantitativo entre homens e mulheres.

Com o objetivo de ampliar as oportunidades para mulheres e meninas na ciência, a Assembleia Geral das Nações Unidas criou, em 11 de fevereiro de 2015, o Dia Internacional das Mulheres e Meninas na Ciência.

É preciso que as universidades e instituições de pesquisa façam valer as políticas públicas e a participação de mulheres em espaços de decisão, em ambientes livres de assédio sexual e moral e de práticas voltadas ao combate à desigualdade.

Que tal conhecer um pouco mais sobre algumas cientistas pioneiras e empoderadas que superaram obstáculos e inspiraram as cientistas de hoje a ocupar seu lugar na ciência? Vamos lá?

Nise da Silveira, médica psiquiatra, foi a pioneira no uso dos tratamentos humanizados em pacientes com transtornos mentais.

Não escreva no livro.

Sônia Guimarães, primeira mulher negra doutora em Física e primeira professora negra a dar aulas no Instituto Tecnológico da Aeronáutica, o ITA, antes de ele começar a aceitar mulheres como estudantes.

Graziela Maciel Barroso, naturalista e botânica, conhecida como a primeira-dama da botânica no Brasil e a maior taxonomista de plantas em nosso país.

E, para fechar o programa, nossa homenagem a Margareth Dalcomo, pneumologista e pesquisadora da Fiocruz que acabou de ser eleita para ocupar a cadeira número 12 da Academia Nacional de Medicina. É a quinta mulher a conquistar esse posto. Ficou conhecida como uma das mais importantes vozes no combate e prevenção da covid-19 através dos meios de comunicação.

Locutor: Tocando a Real. Episódio "Mulheres na ciência".

Crédito: Tocando a Real, Canal Saúde Fiocruz. Locução: Jader Cardoso/ID/BR.

Fonte: Tocando a real: mulheres na ciência. Produção: Fiocruz. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2023. 1 vídeo (6 min 3 s). Disponível em: https://www.canalsaude.fiocruz.br/canal/videoAberto/mulheres-na-ciencia-tcrl-0092. Acesso em: 22 out. 2024.

UNIDADE 2

página 117

Podcast – Astronomia indígena

Locutor: Astronomia indígena.

Ao longo de séculos, os povos indígenas brasileiros desenvolveram um vasto conhecimento astronômico com base em observações do céu. Este *podcast* apresenta uma entrevista com o professor e astrônomo Germano Bruno Afonso, que realizou importantes pesquisas sobre o tema. Essa entrevista foi gravada antes de seu falecimento, que ocorreu em 2021.

Adrielen Alves: O Sol, a Lua, as estrelas, a Via Láctea.

Marcos Chagas: Puxa, a Via Láctea.

Adrielen Alves: Isso te diz alguma coisa, Marcos Chagas?

Marcos Chagas: E muito, Adrielen. Me fala muito sobre Astronomia, sobre o Universo. Claro, tudo isso, né?

Adrielen Alves: Olha que diz bem mais, hein? Diz sobre Astronomia indígena. É pela posição do Sol e das constelações que essas comunidades milenares aprenderam a se guiar, a entender o espaço e o tempo.

Marcos Chagas: Ah, não. Pera aí. Entender espaço e tempo? E olha que isso não é fácil, né, Adrielen?

Adrielen Alves: Não é fácil. Eles aprenderam também a plantar, a caçar, a sobreviver.

Marcos Chagas: Adrielen, olhando para o céu, os nossos povos indígenas entenderam as estações do ano e como se localizar estrategicamente. Você sabia disso?

Adrielen Alves: É aquele velho ditado: "estava escrito nas estrelas". Hoje nós vamos juntos entrar nesse universo. Quem nos guia é o doutor em Astronomia e especialista no estudo indígena Germano Afonso. Ele é professor aposentado da Universidade Federal do Paraná.

Germano Bruno Afonso: Como se estivesse escrito nas estrelas, né? Eles se baseavam no céu para fazer a sua meteorologia e para fazer a ligação com a Terra. Para construir calendários, orientação geográfica, para caça, para pesca, para agricultura e para seus rituais.

Os índios brasileiros e os povos antigos em geral, eles não davam muita atenção para o zodíaco como nós damos. [...] constelação de Leão, constelação de Peixes. Essas constelações que praticamente todos nós conhecemos um pouco. Eles olhavam mais na faixa da Via Láctea. Os Guarani, por exemplo, quando é primavera, a constelação que aparece logo que anoitece é a do Colibri. Então eles já sabem que é primavera. Agora que vai começar o verão, quando anoitece, a constelação que começa a surgir é a do Homem Velho. E quando é outono é a do Cervo do Pantanal. E quando é no inverno é a constelação da Ema.

Então você vê que são todas constelações ligadas ao nosso meio ambiente, à nossa cultura, né? E para se orientar pelas constelações também, eles, por exemplo, pegam a Cruzeiro do Sul quando está bem em pé, e é só baixar o braço na asa da cruz que eles acham exatamente o ponto cardeal sul. Do outro lado, tem o norte e acham o leste e o oeste. Uma maneira muito simples de explicar, que as crianças, de modo geral, não conhecem, né? E quando o Cruzeiro do Sul não está visível, eles se orientam pelas Três Marias. Porque as Três Marias nascem exatamente no ponto cardeal leste e se põem exatamente no ponto cardeal oeste. Então, eles olhando para a Cruzeiro do Sul, quando está mais alto ou para as Três Marias quando estão nascendo ou se pondo, eles conseguem achar facilmente os pontos cardeais. E, com essas constelações, eles conseguem se localizar, então, no espaço e no tempo.

Marcos Chagas: E por falar em caminho, Germano Afonso explica que a Via Láctea foi vista como um mapa, Adrielen.

Adrielen Alves: E esse roteiro fantástico é também chamado de Caminho de Peabiru.

Germano Bruno Afonso: O Caminho de Peabiru, para mim, vai de Cananeia até Assunção. Lógico que diziam que a partir de Assunção você pode pegar e ir até o Peru, por exemplo, por caminhos indígenas. Que são equivalentes ao Caminho de Santiago de Compostela. Porque, segundo os Guarani me ensinaram, esses caminhos eram feitos seguindo as estrelas da Via Láctea, e a Via Láctea é um lugar sagrado para eles.

E o caminho de Santiago de Compostela também foi feito, até o nome diz: Compostela, quer dizer "do campo de estrelas". Essa densidade de estrelas que tem na faixa da nossa galáxia, e todos eles seguiam por aí para ver se encontravam o fim desse caminho para poderem subir para o céu. É muito bonito.

Então, por esse caminho de Peabiru, supõe-se, que ele ia, com certeza, até Assunção. De lá pegavam caminhos incas ou outros tipos de caminho. Dava para ir do Atlântico até o Pacífico. Então, por aí, tiveram muitos contatos entre povos indígenas. Isso daí tudo está escrito no caminho, no livro do Cabeza de Vaca, que foi o primeiro governador do Paraguai e que saiu de Florianópolis, Santa Catarina, e chegou até Assunção. Era o objetivo dele, guiado por índios Guarani, seguindo o caminho de Peabiru. Então, isso, de fato é a história do Brasil. E a gente não fala isso nos colégios.

Adrielen Alves: Mas eu estou aqui me perguntando se ainda hoje os indígenas fazem essas observações. Será que essa cultura tem passado e ultrapassado as gerações? Será?

Germano Bruno Afonso: Agora eles mesmos percebem que está se perdendo de fato, está entendendo? Eles estão assimilando muito a cultura do branco. E isso, é lógico, é mais atraente a cultura do *videogame*, de tudo mais, do que ficar observando o céu, escutar talvez os mais velhos, né? Em termos de resgatar a cultura, de conservar, principalmente os mais velhos. Por exemplo, você chega a uma cidade grande e tem um índio que trabalha na construção civil e tudo mais. Na casa dele, ele continua falando a língua e tentando preservar a sua cultura. Mas que está se perdendo muito entre, principalmente entre os mais jovens, né? Está se perdendo bastante.

Locutor: *Podcast* Universo. Episódio "Saiba por que a Via Láctea é considerada sagrada na Astronomia indígena".

Crédito: Radioagência Nacional, EBC. Locução: Jader Cardoso/ID/BR.

Fonte: Universo: saiba por que a Via Láctea é considerada sagrada na Astronomia indígena. [Apresentação de]: Adrielen Alves e Marcos Chagas. Brasília, DF: Radioagência EBC, 11 dez. 2017. *Podcast*, Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/pesquisa-e-inovacao/audio/2017-12/universo-saiba-por-que-lactea-e-considerada. Acesso em: 22 out. 2024.

UNIDADE 8

página 385

Podcast – Astronomia amadora

Narrador: Astronomia amadora.

Qualquer pessoa pode realizar observações de fenômenos celestes, seja com telescópios simples, seja a olho nu, e contribuir para o desenvolvimento da Astronomia. Neste *podcast*, o astrônomo amador Cristóvão Jacques, do Observatório Sonear, localizado em Oliveira, Minas Gerais, comenta essa prática.

Locutor: Quando surgiu o seu interesse pela Astronomia?

Cristóvão Jacques: Hoje eu tenho 55 anos de idade e meu interesse pela Astronomia começou quando eu tinha mais ou menos 14 anos. Eu via uma estrela muito brilhante no horizonte oeste e ficava curioso para ver aquela estrela de perto por um telescópio. E, na verdade, não era uma estrela. Era o planeta Vênus, que também é conhecido como estrela-d'alva. Mas na verdade é um planeta.

Catorze anos, eu juntei um dinheiro e comprei um pequeno telescópio e comecei a observar o planeta Vênus e descobri que Vênus tinha fases igual à Lua. Sem ler livro nenhum, essa foi talvez a minha primeira descoberta.

Locutor: O que te motivou a se tornar astrônomo amador?

Cristóvão Jacques: A motivação é justamente aquele clique que você tem ao observar no céu estrelado, a Via Láctea no céu escuro, observar os planetas. Aquela curiosidade que você queria ver as coisas mais de perto e tentar descobrir algo. Então, a Astronomia, ela proporciona não só esse encantamento pela natureza, porque nós temos uma janela para o Universo, que é o nosso próprio céu, que é gratuita, democrática.

Essa curiosidade de entender como é que as coisas funcionam, como é que as coisas giram aqui no Sistema Solar, onde que a Terra está localizada no Sistema Solar, na Via Láctea, que é a nossa galáxia, onde que a Via Láctea está no Universo. Então, essas coisas que vão motivando a gente a investir em leituras, investir em equipamento, investir o nosso tempo nessas descobertas.

Locutor: A curiosidade e o desejo de saber são importantes para um astrônomo? Por quê?

Cristóvão Jacques: O desejo de conhecimento e a curiosidade que levam também um astrônomo a seguir o seu caminho na pesquisa. Porque hoje nós conhecemos apenas uma pequena parte das coisas que acontecem no Universo. Ou seja, tem muita coisa ainda por descobrir e tem muita coisa ainda para ser feita pelos astrônomos, tanto profissionais quanto amadores.

Locutor: Qual a diferença entre um astrônomo amador e um astrônomo profissional?

Cristóvão Jacques: A diferença entre o astrônomo amador e o astrônomo profissional basicamente é que o astrônomo profissional estuda uma matéria na universidade, geralmente Física ou Matemática. Também tem cursos de graduação de Astronomia, ou seja, ele estuda para ser astrônomo. E a partir daí ele vai fazer a graduação, pós-graduação, doutorado e pós-doutorado, sempre ligado à Astronomia ou Astrofísica, ou a alguma área

Não escreva no livro.

ligada à Astronomia, também como Astrobiologia ou Astroquímica. Enfim, ele estuda e depois ele vai ou fazer pesquisas ligadas a uma universidade ou a algum centro de estudos e vai ser remunerado por isso. Ele vai publicar trabalhos, vai obter verbas para a sua pesquisa, para conseguir tempo de telescópio em telescópios grandes, para observar e fazer as suas observações e, a partir daí, compor teorias sobre determinado fenômeno. Então, isso é o que um astrônomo profissional faz.

O astrônomo amador, ele pode ser desde uma pessoa curiosa a observar o céu com o seu telescópio em casa e pode também se aprofundar mais e fazer pesquisas. E também contribuir para a ciência de uma forma mais efetiva. E o astrônomo amador, ele pode ser qualquer pessoa que esteja interessada em Astronomia e tendo o telescópio ou não. Na verdade, o primeiro telescópio de um astrônomo amador é o seu próprio olho. Então nem de binóculo ele precisa.

Locutor: Como as descobertas feitas por astrônomos amadores podem ser úteis para outros pesquisadores?

Cristóvão Jacques: Bem, a partir de dados obtidos pelo astrônomo amador, o astrônomo profissional pode analisar aqueles dados e até pensar uma teoria que explique aquela obtenção de dados. E o trabalho que pode ser feito é a descoberta de asteroides que passam perto da Terra e também de cometas que podem passar aqui dentro do Sistema Solar, que também, depois de descobertos, um astrônomo profissional, ele vai continuar aquele estudo porque ele tem outros equipamentos mais potentes e mais sofisticados, capazes de estudar a luz desses cometas, desses asteroides, dessa supernova, que os astrônomos amadores não têm acesso a esse equipamento, que é mais caro e que a gente não tem acesso.

E também monitoramento, por exemplo, de estrelas variáveis, estrelas que variam o seu brilho, isso também fica a cargo do astrônomo amador. E depois esses dados são compilados e são enviados para astrônomos profissionais, que fazem estudos *a posteriori* ou teorias.

Locutor: Que descobertas você já fez? Comente a que você julgar mais relevante.

Cristóvão Jacques: E eu falo sempre que a descoberta mais importante é aquela que está por vir, porque é ela que te motiva a continuar trabalhando, pesquisando. Então é isso que eu também observo no meio acadêmico. Então, quando um astrônomo propõe uma teoria, aquela teoria, ela é comprovada, ele não para por aí. Ele quer continuar buscando e contribuindo, porque ele sabe que tem muita coisa ainda para ser descoberta.

Em 2012, nós descobrimos um cometa brilhante que... O cometa, ele recebe o sobrenome do descobridor. Então o meu nome é Cristóvão Jacques, o cometa, ele se chama cometa Jacques por causa de uma regra internacional que faz essa nomeação. E esse cometa foi brilhante. Ele foi observado por alguns astrônomos profissionais também. A curva de luz, a composição do cometa e várias coisas foram estudadas. E, em 2016, nós descobrimos um asteroide que passou a 86 mil quilômetros da Terra. Tinha mais ou menos 40 metros de diâmetro. Então, foi outra descoberta também importante.

Locutor: O que você diria para alguém que deseja se tornar astrônomo amador?

Cristóvão Jacques: Bem, para se tornar um astrônomo amador a primeira coisa importante é o interesse em estudar Astronomia. E para estudar Astronomia você não precisa ser bom em Matemática, não precisa ser bom em Física, não precisa ser bom em Biologia nem Química. Basta ter o interesse. A partir desse interesse que você vai, vamos dizer assim, desmembrando e vai descobrindo outras coisas que às vezes você não sabia que existiam ou que você até tinha aptidão para aquilo.

Então, tendo o interesse e o seu olho, ele vai ler, vai pesquisar. Hoje na internet tem muitas informações que ele pode pesquisar e ele pode também entrar em contato com outros astrônomos amadores ou profissionais mais experientes, com mais tempo de Astronomia, e buscar o conhecimento. Pode entrar para um clube de Astronomia porque o Brasil, por exemplo, hoje tem vários clubes de Astronomia espalhados por várias cidades. Então tem que procurar buscar esses clubes de Astronomia, que geralmente são os astrônomos amadores que conduzem esses clubes de Astronomia.

Locutor: Qual é o primeiro passo para um iniciante conhecer o céu?

Cristóvão Jacques: Hoje, com a tecnologia que nós temos à nossa disposição, eu recomendo fortemente, quase todo mundo hoje já tem um *smartphone* ou tem um *tablet* à disposição, ou até um computador. Eu recomendo baixar aplicativos referentes à observação do céu, porque esses aplicativos são muito fáceis de utilizar e eles permitem a você comparar na tela do celular ou na tela do *tablet* o céu que você está vendo no fundo. Então, é uma coisa bem simples e bem didática.

Locutor: Crédito: Entrevistado: Cristóvão Jacques Lage de Faria. Observatório Sonear. Locução: Jader Cardoso/ID/BR.

BIBLIOGRAFIA COMENTADA

Bermann, C. *Energia para o Brasil*: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável. São Paulo: Livraria da Física, 2002.

O livro aborda noções de sustentabilidade energética, o quadro energético brasileiro, potenciais energéticos, produção, custos e consumo de energia.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*: educação é a base. Brasília, DF: MEC/SEB, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 4 out. 2024.

A BNCC é um documento de caráter normativo que define o conjunto progressivo de aprendizagens essenciais que os estudantes devem desenvolver ao longo da Educação Básica, incluindo o Ensino Médio.

Chesman, C.; André, C.; Macêdo, A. *Física moderna*: experimental e aplicada. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

O livro apresenta experiências de Física, muitas delas possíveis de serem feitas em um laboratório didático.

Damineli, A. *Hubble*: a expansão do Universo. São Paulo: Odysseus, 2003 (Coleção Imortais da Ciência).

O livro trata da descoberta do Universo em expansão e da vida do astrônomo Edwin Hubble.

Eisberg, R. M.; Resnick, R. *Física quântica*: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. São Paulo: Campus, 1994.

A obra trata de sistemas quânticos, além de ideias e conceitos da mecânica quântica elementar.

Feynman, R. P. *Física em seis lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006.

O livro reúne seis palestras do físico estadunidense Richard Feynman, nas quais ele abordou temas como Física e outras ciências, conservação de energia e gravitação.

Gamow, G. *O incrível mundo da Física moderna*. São Paulo: Ibrasa, 2004.

A obra aborda assuntos como relatividade, atomística, mecânica quântica, entre outros.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref). *Física 3*: eletromagnetismo. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2012.

Nesse livro, o eletromagnetismo é abordado com base em exemplos do cotidiano.

Hawking, S. W. *Uma breve história do tempo*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

Nesse livro, o físico Stephen Hawking aborda desde a Física de partículas até a dinâmica das galáxias.

Hewitt, P. G. *Física conceitual*. 12. ed. São Paulo: Bookman, 2015.

O livro traz conhecimentos conceituais da Física, incluindo aplicações dessa ciência.

Marques, G. C. (org.). *Física*: tendências e perspectivas. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

A obra traz uma análise das perspectivas de várias áreas da Física, na visão de cientistas.

Menezes, L. C. *A matéria*: uma aventura do espírito. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

O livro apresenta uma visão conceitual mais aprofundada, abordando desde mecânica até cosmologia e evolução.

Sagan, C. *O mundo assombrado pelos demônios*. São Paulo: Companhia de Bolso, 2006.

Nessa obra, Carl Sagan questiona ideias pseudocientíficas, reforçando o poder positivo da ciência.

Tavolaro, C. R. C.; Cavalcante, M. A. *Física moderna experimental*. Barueri: Manole, 2003.

O livro apresenta vários experimentos com materiais simples, de baixo custo e de fácil acesso.

Tucci, W. J.; Brandassi, A. E. *Circuitos básicos em eletricidade e eletrônica*. São Paulo: Nobel, 1984.

O livro reúne diversos conteúdos sobre circuitos elétricos.

Vieira, C. L. *Einstein*: o reformulador do universo. São Paulo: Odysseus, 2003 (Coleção Imortais da Ciência).

O livro apresenta a vida e a obra do físico Albert Einstein.

Walisiewicz, M. *Energia alternativa*: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. São Paulo: Publifolha, 2008.

O livro aborda questões políticas, econômicas e ambientais relacionadas aos problemas energéticos mundiais e à busca por fontes renováveis de energia.

Walker, J. *O grande circo da Física*. Lisboa: Gradiva, 2001.

O livro apresenta a Física, de modo simples, em fenômenos e em acontecimentos do dia a dia.

Siglas de exames e universidades

Cefet-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Enem – Exame Nacional do Ensino Médio
Famerp-SP – Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto
FGV-SP – Fundação Getúlio Vargas
FMJ-SP – Faculdade de Medicina de Jundiaí
Furg-RS – Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Fuvest-SP – Fundação Universitária para o Vestibular
ITA-SP – Instituto Tecnológico de Aeronáutica
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Udesc – Universidade do Estado de Santa Catarina
UEA-AM – Universidade do Estado do Amazonas
Uece – Universidade Estadual do Ceará
UEL-PR – Universidade Estadual de Londrina
UEM-PR – Universidade Estadual de Maringá
UEPG-PR – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Uerj – Universidade Estadual do Rio de Janeiro
Uespi – Universidade Estadual do Piauí
UFGD-MS – Universidade Federal da Grande Dourados
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS-RS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM-RS – Universidade Federal de Santa Maria
UFU-MG – Universidade Federal de Uberlândia
Uneb-BA – Universidade do Estado da Bahia
Unesp – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Unicamp-SP – Universidade Estadual de Campinas
UPF-RS – Universidade de Passo Fundo

Não escreva no livro.

FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA FÍSICA

MANUAL DO PROFESSOR CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

MANUAL DO PROFESSOR

APRESENTAÇÃO

CARA PROFESSORA, CARO PROFESSOR,

O principal objetivo deste Manual é oferecer subsídios e sugestões para o trabalho cotidiano na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e seus componentes curriculares (Biologia, Física e Química), apresentando suas diversas possibilidades escolares e, mais ainda, sociais.

O Novo Ensino Médio e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) propõem iniciativas para alguns dos diversos desafios que enfrentamos como cidadãos brasileiros atualmente, como o de estarmos preparados para as novas formas de uso das tecnologias de comunicação e informação, visando utilizá-las de maneira ética e autônoma. Mais uma vez, a educação é o meio estratégico para que as transformações sociais possam ocorrer e para que os estudantes participem ativamente da construção de um mundo cada vez mais justo, social e ambientalmente.

Na primeira parte deste Manual, são abordados os principais aspectos teóricos e metodológicos do ensino das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, bem como de seus componentes curriculares, e as perspectivas pedagógicas que fundamentam a coleção. Também são propostas reflexões e sugestões sobre os processos de avaliação. Há, ainda, a descrição comentada da estrutura dos livros da coleção, os quadros de conteúdos de seus volumes, sugestão de cronograma para este volume e referências bibliográficas acompanhadas de sinopses.

A segunda parte do Manual oferece orientações mais específicas para o planejamento e o trabalho em sala de aula com o Livro do Estudante deste volume de Física. São disponibilizadas orientações didáticas e sugestões pedagógicas detalhadas, além de atividades complementares e respostas das atividades do Livro do Estudante. Essa parte também apresenta indicações de *sites*, livros, artigos, portais digitais e outros materiais que, de alguma maneira, podem apoiar a ação docente.

Com isso, esperamos que este material possa dar suporte à oferta de caminhos didáticos criativos e significativos às diversas comunidades escolares de nosso país, ampliando as possibilidades de futuro de nossos jovens.

Bom trabalho!

Equipe editorial

SUMÁRIO

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA E ORGANIZAÇÃO DA OBRA 428

Ensino Médio em contexto 428
O Ensino Médio ao longo do tempo 428
A etapa do Ensino Médio 428
O Novo Ensino Médio e a Base Nacional Comum Curricular 429
Temas Contemporâneos Transversais 430
As Ciências da Natureza na BNCC 431
O jovem, a escola e o Ensino Médio 431
Juventudes, currículo e equidade 431
Escola e inclusão 432
O ensino de Ciências da Natureza 433
Ciências da Natureza e interdisciplinaridade 433
A Biologia no contexto das Ciências da Natureza 433
A Física no contexto das Ciências da Natureza 434
A Química no contexto das Ciências da Natureza 434
Contextualização da ciência 435
O papel do professor no Ensino Médio 435
Formas de organização da turma 436
Estratégias e abordagem teórico-metodológica 436
Desenvolvimento de competências 436
Investigação, prática e linguagem científica 438
Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente 439
Argumentação 439
Leitura inferencial 440
Pensamento computacional 440
Avaliação 440
O papel do estudante e as formas de avaliação 440
Avaliação e novos paradigmas educacionais 441
Preparação para exames 442
Objetivos gerais da coleção 442
Organização da obra 442
Organização e estrutura da obra 442
Sugestão de cronograma 444
Quadros de conteúdos da coleção 446
Bibliografia comentada e leituras complementares 452

ORIENTAÇÕES E COMENTÁRIOS ESPECÍFICOS 453

Unidade 1 **Física e o estudo dos movimentos** 453
Unidade 2 **Dinâmica** 462
Unidade 3 **Estática** 477
Unidade 4 **Física térmica** 484
Projeto 1 **Portal de Ciências: tornando o conhecimento científico acessível à comunidade** 500
Unidade 5 **Luz, som e ondas** 502
Unidade 6 **Eletricidade e magnetismo** 510
Unidade 7 **Física do "muito pequeno"** 527
Unidade 8 **Física do "muito grande"** 535
Projeto 2 **Aquecedor solar de baixo custo: sustentabilidade e informação para a comunidade** 543

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA E ORGANIZAÇÃO DA OBRA

ENSINO MÉDIO EM CONTEXTO

O Ensino Médio ao longo do tempo

Historicamente, o acesso ao Ensino Médio no Brasil era restrito, e os avanços em busca da universalização dessa etapa do ensino são recentes. Um dos marcos no processo de redemocratização do país foi o estabelecimento da Assembleia Constituinte em 1987, durante a qual diversos setores da sociedade se manifestaram em favor da elaboração de um novo conjunto de leis para a nação. A Constituição promulgada em 1988 proporcionou avanços significativos para a Educação ao expressar como direitos fundamentais, entre outros:

- a obrigatoriedade e a gratuidade do Ensino Fundamental;
- a progressiva universalização do Ensino Médio;
- o atendimento a crianças de zero a 6 anos[1] de idade e a pessoas com deficiência física ou mental;
- a educação de jovens e adultos que não tiveram acesso à educação formal na idade recomendada[2].

Ficou também expresso na lei que é dever da educação pública preparar o indivíduo para seu desenvolvimento pleno, para o exercício da cidadania e para a qualificação para o mercado de trabalho, dispondo assim sobre os objetivos e a qualidade do ensino. A legislação estabelece, portanto, que apenas uma educação de qualidade contempla adequadamente o direito social previsto pela Constituição.

Essas resoluções foram devidamente organizadas em forma de um projeto, que contou com a participação do Fórum Nacional em Defesa da Escola Pública (FNDEP). Após oito anos de discussões e votações, em dezembro de 1996 foi sancionada a nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB)[3], que, em momentos posteriores, ganhou novos artigos. Apesar de a nova lei não contemplar, por si, a revolução educacional, ela amparou a política educacional em nível nacional, organizando, estruturando e permitindo transformações, reformas e inovações na educação formal. Em relação à legislação anterior[4], a nova LDB introduziu avanços importantes, especialmente para o Ensino Médio. Até então, o acesso a essa etapa de ensino era restrito e tinha somente dois objetivos: preparar o educando para o Ensino Superior ou para uma formação de caráter técnico-profissional. A nova LDB incluiu o Ensino Médio como parte da Educação Básica[5], com possibilidade de articulação com o ensino profissionalizante. Em seu artigo 35, essa lei define que o Ensino Médio tem como finalidades:

> I. a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;
> II. a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
> III. o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;
> IV. a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.
>
> (Brasil, 1996)

Além disso, a LDB prevê o desenvolvimento de habilidades e conteúdos obrigatórios, de forma que o Ensino Médio, ao atender à formação geral do jovem, possa prepará-lo também para o exercício de profissões técnicas.

Nota-se que tal diretiva considera o jovem um sujeito singular, cujo projeto de vida é construído por suas múltiplas relações sociais. Nesse sentido, estabelecidos os objetivos mencionados para o Ensino Médio, o tema passou a fazer parte da agenda das políticas educacionais, na medida em que se fazia necessária a criação de mecanismos que permitissem a implementação da política em âmbito nacional. Entre esses mecanismos, incluem-se a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e a avaliação do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), que, mais tarde, em 2009, passaria por significativa atualização. Somada a essas ações, destaca-se a ampliação do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), também para essa etapa de ensino. É importante lembrar que foi em 1998 que o Conselho Nacional de Educação (CNE) estabeleceu as bases para tais ações, ao publicar as Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio, em consonância com a LDB.

A etapa do Ensino Médio

O Ensino Médio tornou-se um direito universal subjetivo dos cidadãos brasileiros a partir de 2009, por meio da Emenda Constitucional n. 59/2009 (Brasil, 2009), que ampliou a obrigatoriedade escolar para a faixa dos 4 aos 17 anos de idade. Desde então, essa etapa de ensino passou a ser reconhecida como fundamental para a construção da cidadania, na medida em que

1 A Emenda Constitucional n. 53, de 19 dezembro de 2006, alterou a idade para até 5 anos. Disponível em: https://legis.senado.leg.br/norma/540656. Acesso em: 18 ago. 2024.

2 Brasil. [Constituição (1988)]. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Art. 208. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 18 ago. 2024.

3 Brasil. *Lei n. 9 394, de 20 dezembro de 1996*. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm. Acesso em: 18 ago. 2024.

4 Brasil. *Lei n. 5 692, de 11 agosto de 1971*. Fixa Diretrizes e Bases para o ensino de 1º e 2º graus, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1971. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5692impressao.htm. Acesso em: 18 ago. 2024.

5 Brasil. *Lei n. 9 394, de 20 de dezembro de 1996*, arts. 21 e 22. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/lei%209394.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

possibilita aos nossos jovens expandir seus horizontes mediante o acesso ao conhecimento historicamente acumulado, de modo que ganhem autonomia intelectual e ferramentas para o pleno exercício da cidadania e dos demais direitos sociais.

No entanto, o Ensino Médio tem uma particularidade. Por ser a última etapa da Educação Básica, faz-se necessário reconhecê-la dentro de uma visão sistêmica, não apenas no âmbito da formação de cidadãos, mas também como transição para outras etapas da vida, como explicitado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN):

"Visão sistêmica implica, portanto, reconhecer as conexões intrínsecas entre Educação Básica e Educação Superior; entre formação humana, científica, cultural e profissionalização [...]" (Brasil, 2013, p. 147).

As expectativas para essa etapa são tantas que chegam a ser mencionadas como fundamentais para o desenvolvimento do país.

> Para alcançar o pleno desenvolvimento, o Brasil precisa investir fortemente na ampliação de sua capacidade tecnológica e na formação de profissionais de nível médio e superior. Hoje, vários setores industriais e de serviços não se expandem na intensidade e ritmos adequados ao novo papel que o Brasil desempenha no cenário mundial, por se ressentirem da falta desses profissionais. Sem uma sólida expansão do Ensino Médio com qualidade, por outro lado, não se conseguirá que nossas universidades e centros tecnológicos atinjam o grau de excelência necessário para que o País dê o grande salto para o futuro.
>
> (Brasil, 2013, p. 145)

Contudo, ainda que sua importância venha sendo defendida e amparada em leis e documentos oficiais sobre a educação no país, essa etapa de ensino apresenta problemas de acesso e altas taxas de evasão e defasagem.

Esse cenário pode ser explicado por inúmeros fatores, como os de ordem social, política, econômica, entre outros, que se combinam de forma complexa e em diferentes proporções, dependendo da realidade de cada local. Mas um aspecto tem sido frequentemente mencionado: a falta de sentido que muitos jovens veem no Ensino Médio.

Os jovens em idade de frequentar o Ensino Médio têm anseios próprios e estão preocupados não apenas com a profissão que exercerão no futuro, como também com outros aspectos de sua vida: social, afetivo, criativo, etc. Além disso, com as transformações sociais ocorridas nos séculos XX e XXI e a revolução promovida pelas tecnologias da informação e da comunicação no que se refere ao acesso ao conhecimento, os estudantes do Ensino Médio vivem de modo mais agudo a crise que a instituição escolar e o próprio papel do professor têm enfrentado.

> Conforme Oliveira (2008)[6], a escola, e aqui tratando especificamente o Ensino Médio, já não se apresenta como representante único e legítimo de uma cultura a ser transmitida. Para Abramovay e Castro (2003)[7], tal monopólio da produção de significados não é predominante frente às múltiplas formas oferecidas aos jovens para construírem percepções sobre o mundo. Os mesmos trazem à escola suas próprias linguagens e culturas, fazendo-se atores, sujeitos ativos na construção da forma de ser no espaço escolar e não apenas receptores de conteúdos com fins de memorização.
>
> Nesse contexto, a cultura escolar e o processo de ensino vivenciado no Ensino Médio perdem lugar para as diferentes culturas que o jovem experimenta, como a cultura do *skateboard*, do *hip-hop*, do *funk*, da grafitagem, antagonicamente divergente da escola na maior parte das vezes, que fica fechada em si, não oferecendo espaços de abertura à criatividade, ao nomadismo, às inúmeras idas e voltas que têm caracterizado os espaços juvenis (Pais, 2006)[8].
>
> [...]
>
> Parece ser esse um dos aspectos do Ensino Médio que denota a sua crise: as dificuldades em conformar os jovens à cultura escolar. Tais situações reforçam a ideia que permeia a reflexão acerca da juventude e de processos de escolarização, ou seja, o Ensino Médio ainda se faz palco de práticas de longa duração, as quais nem sempre atendem à diversidade de interesses de seu público e, logo, manifestam-se dificuldades no estabelecimento de relações de sentido por parte dos alunos jovens.
>
> (Tomazetti e Schlickmann, 2016, p. 334-335)

Assim, um ensino desvinculado desses anseios dificilmente terá êxito em atrair os jovens e cumprir sua função.

Por esse motivo, as DCN já apontavam: "É sabido que a questão do atendimento das demandas das 'juventudes' vai além da atividade da escola, mas entende-se que uma parte significativa desse objetivo pode ser alcançada por meio da transformação do currículo escolar e do projeto político-pedagógico" (Brasil, 2013, p. 147).

O Novo Ensino Médio e a Base Nacional Comum Curricular

A crise apontada anteriormente pode ser tomada como incentivo para novas configurações escolares que atribuam valor a professores e estudantes.

Visando promover mudanças necessárias e propondo a construção de uma identidade própria para o Ensino Médio, foi idealizada uma reforma dessa etapa educacional, processo esse que foi oficialmente instituído em 2017 (Brasil, 2017) e posteriormente passou por amplo processo de escuta social e institucional, resultando na lei de reforma do Ensino Médio, a Lei n. 14 945, de 31 de julho 2024.

A reforma no Ensino Médio aliou-se ao estabelecimento da Base Nacional Comum Curricular, a BNCC (Brasil, 2018) no esforço conjunto de implementar de forma efetiva uma nova proposta de ensino, com o desafio de aproximar os estudantes do mundo contemporâneo.

Nesse sentido, com o objetivo de atender às necessidades da formação geral e à diversidade de expectativas dos jovens quanto à própria formação, a BNCC destaca a importância de "recontextualizar as finalidades do Ensino Médio, estabelecidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB, art. 35) há mais de vinte anos, em 1996" (Brasil, 2018, p. 464).

A reforma do Ensino Médio prevê maior tempo na escola, mas não necessariamente maior ênfase na transmissão de conhecimentos conceituais. Ao contrário, ela pressupõe mais espaço e tempo para práticas diversificadas e flexíveis, maior integração entre os saberes, opções de itinerários conforme o interesse dos estudantes e um olhar para a construção de seus projetos de vida.

6 Oliveira. A. M. *Jovens e adolescentes no Ensino Médio*: sintomas de uma sistemática desvalorização das culturas juvenis. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

7 Abramovay, M.; Castro, M. G. *Ensino Médio*: múltiplas vozes. Brasília, DF: Unesco/MEC, 2003.

8 Pais, J. M. Buscas de si: expressividades e identidades juvenis. *In*: Almeida, M. I. M.; Eugenio, F. *Culturas jovens*: novos mapas do afeto. Rio de Janeiro: Zahar, 2006. p. 7-10.

Essa nova estrutura do Ensino Médio [...] adota a **flexibilidade** como princípio de **organização curricular**, o que permite a construção de currículos e propostas pedagógicas que atendam mais adequadamente às especificidades locais e à multiplicidade de interesses dos estudantes, estimulando o exercício do **protagonismo juvenil** e fortalecendo o desenvolvimento de seus projetos de vida.

(Brasil, 2018, p. 468)

Vale ressaltar a importância dos fundamentos científico-tecnológicos para as várias juventudes e seus interesses. Para que sejam de fato garantidos, de modo a relacionar teoria e prática,

[...] a **escola que acolhe as juventudes**, por meio da articulação entre diferentes áreas do conhecimento, deve possibilitar aos estudantes:

- compreender e utilizar os conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico-tecnológico, bem como os procedimentos metodológicos e suas lógicas;
- conscientizar-se quanto à necessidade de continuar aprendendo e aprimorando seus conhecimentos;
- apropriar-se das linguagens científicas e utilizá-las na comunicação e na disseminação desses conhecimentos; e
- apropriar-se das linguagens das tecnologias digitais e tornar-se fluentes em sua utilização.

(Brasil, 2018, p. 467)

Em caráter complementar, a BNCC passa a determinar quais aprendizagens comuns e obrigatórias, conectadas às competências que preparam os jovens para a vida, devem ser trabalhadas nas escolas de todo o país. É importante ressaltar a inter-relação entre aprendizagem e competências.

Na BNCC, **competência** é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho.

Ao definir essas competências, a BNCC reconhece que a "educação deve afirmar valores e estimular ações que contribuam para a transformação da sociedade, tornando-a mais humana, socialmente justa e, também, voltada para a preservação da natureza" (Brasil, 2013[9]), mostrando-se também alinhada à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU[10]).

(Brasil, 2018, p. 8)

A BNCC propõe, para a etapa do Ensino Médio, uma organização curricular que possibilite a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental, o conhecimento dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, além de abordagens e temas mais próximos das culturas juvenis, do mundo do trabalho e de dinâmicas e questões sociais do mundo contemporâneo.

9 Brasil. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República. *Educação em direitos humanos*: diretrizes nacionais. Brasília, DF: Coordenação Geral de Educação/Secretaria Nacional de Promoção e Defesa dos Direitos Humanos, 2013. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=32131-educacao-dh-diretrizesnacionais-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 18 ago. 2024.

10 Organização das Nações Unidas (ONU). *Transformando nosso mundo*: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel. Acesso em: 18 ago. 2024.

As aprendizagens essenciais da etapa seguem orientadas pelas dez competências gerais da Educação Básica e são organizadas em quatro áreas do conhecimento (Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas). Cada área do conhecimento é pautada por suas competências específicas, que são articuladas às habilidades a serem desenvolvidas ao longo do Ensino Médio. As habilidades estão relacionadas a diferentes conteúdos, conceitos e processos, que, por sua vez, são organizados em unidades temáticas.

Na BNCC, para cada área do conhecimento, são definidas **competências específicas**, articuladas às respectivas competências das áreas do Ensino Fundamental, com as adequações necessárias ao atendimento das especificidades de formação dos estudantes do Ensino Médio. [...]

Relacionadas a cada uma dessas competências, são descritas **habilidades** a ser desenvolvidas ao longo da etapa [...].

(Brasil, 2018, p. 470)

Em relação à complexidade e amplitude das competências, de acordo com a BNCC (p. 8), as dez competências gerais "consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento". Por sua vez, em relação às competências específicas das áreas, a BNCC informa:

Essas competências explicitam como as competências gerais da Educação Básica se expressam nas áreas. Elas estão articuladas às competências específicas de área para o Ensino Fundamental, com as adequações necessárias ao atendimento das especificidades de formação dos estudantes do Ensino Médio.

(Brasil, 2018, p. 33)

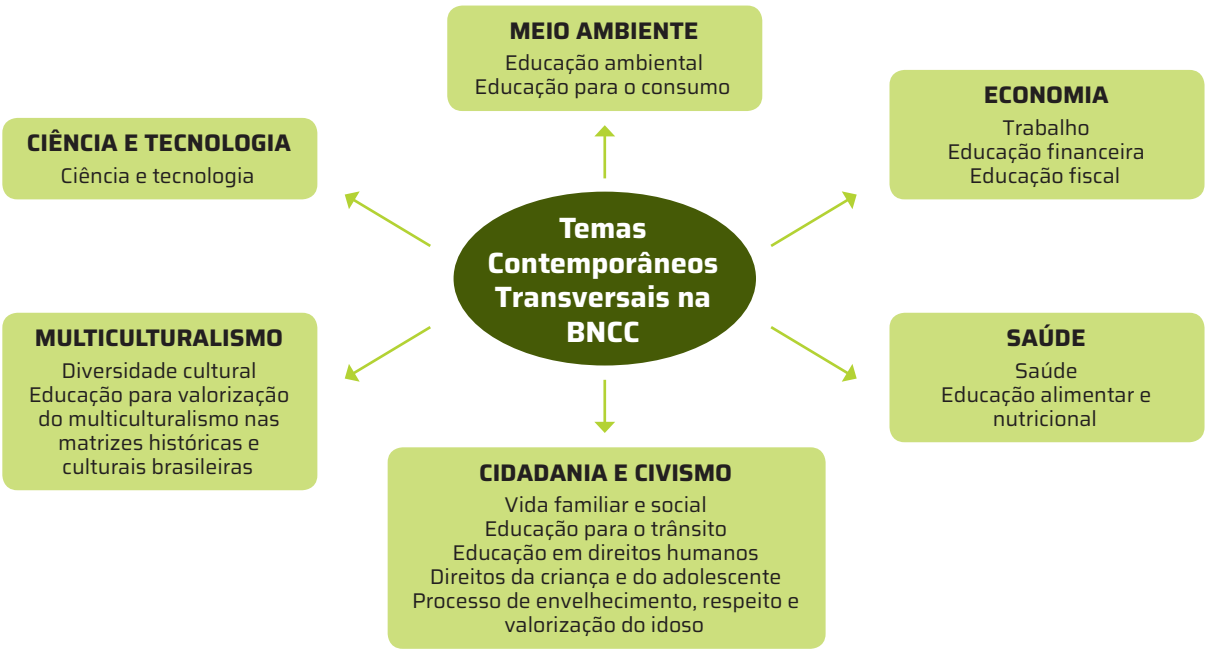
Essa concepção evidencia a proposta de um ensino com foco no desenvolvimento da capacidade de aprender, de saber lidar com a disponibilidade cada vez maior de informações, de atuar com discernimento e responsabilidade nos contextos das culturas digitais, de aplicar à resolução de problemas os saberes adquiridos, de tomar decisões de maneira autônoma, de ser proativo para identificar os dados em uma situação e buscar soluções pertinentes, de conviver e aprender com as diferenças e as diversidades. Nesse sentido, é salutar que os professores tenham autonomia para adaptar seu planejamento didático diante do projeto político pedagógico das escolas, visando à promoção dessas competências e habilidades.

Temas Contemporâneos Transversais

A BNCC também orienta que as escolas e redes de ensino incorporem a seus respectivos currículos e a suas propostas pedagógicas o trabalho com Temas Contemporâneos Transversais (TCTs). O objetivo é contextualizar o ensino com temas que afetam a vida humana, que despertam o interesse dos estudantes e que têm relevância em sua formação como cidadãos em diversas escalas (local, regional e global).

Os TCTs possibilitam estabelecer ligações entre diferentes componentes curriculares, atendem às demandas da sociedade contemporânea e contribuem para um ensino integrador e transversal. Essa abordagem se baseia na problematização da realidade e das situações de aprendizagem, na integração das habilidades e competências curriculares à resolução de problemas e na visão do conhecimento como uma construção coletiva.

Os TCTs perpassam diferentes áreas do conhecimento e se dividem em seis grandes áreas (ou macroáreas) temáticas, ilustradas no esquema a seguir:



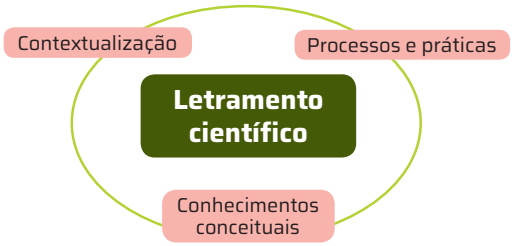
Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Temas contemporâneos transversais na BNCC*: proposta de práticas de implementação. Brasília, DF: MEC/SEB, 2019. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/guia_pratico_temas_contemporaneos.pdf. Acesso em: 18 ago 2024.

As Ciências da Natureza na BNCC

De modo geral, o ensino de Ciências da Natureza proposto na BNCC está alinhado a um enfoque no letramento científico.

> [...] poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos [...]. Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população.
>
> É importante destacar que aprender Ciências da Natureza vai além do aprendizado de seus conteúdos conceituais. Nessa perspectiva, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química – define competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos; aos processos e práticas de investigação e às linguagens das Ciências da Natureza.
>
> (Brasil, 2018, p. 547)

A abordagem da área de Ciências da Natureza deve ser compreendida não somente pelos conteúdos tradicionais mobilizados nas aulas, mas também pela possibilidade de aplicar nas práticas a lógica de produção de conhecimento usado nas Ciências da Natureza, que se baseia na investigação, na pesquisa, no raciocínio lógico, no pensamento crítico, na elaboração e verificação de hipóteses, entre outras estratégias.



Além disso, a própria discussão sobre os produtos e processos das ciências pode se articular ao dia a dia na sala de aula, possibilitando àqueles dispostos a realizar novas dinâmicas implementar um Ensino Médio relevante e efetivo para a formação dos jovens do século XXI.

O JOVEM, A ESCOLA E O ENSINO MÉDIO

Juventudes, currículo e equidade

De acordo com Dayrell e Carrano (2014), observou-se, nas últimas décadas, uma mudança significativa no modo como os jovens se comportam e se comunicam e no modo como expressam a própria identidade e opiniões, por meio de linguagens culturais. No contexto urbano, o sentido de pertencimento a um grupo somado aos impulsos pessoais de expressão de subjetividade levou os jovens a ocupar espaços públicos para produzir e expressar suas culturas. Assim, tais espaços passaram a ser entendidos como locais de uso coletivo ou espaços sociais que potencializam os encontros, as trocas e a expressão cultural deles. Os jovens passaram a se reunir nesses lugares não só para compartilhar ideias com seus pares e fruir manifestações artísticas, mas também para produzir músicas, vídeos, programas de rádios comunitárias, eventos culturais, entre outras formas de expressão.

> Por meio da produção dos grupos culturais a que pertencem, muitos deles recriam as possibilidades de entrada no mundo cultural além da figura do espectador passivo, ou seja, como criadores ativos. Por meio da música ou da dança que criam, dos *shows* que fazem ou dos eventos culturais que promovem, eles colocam em pauta, no cenário social, o lugar do jovem, principalmente no caso dos mais empobrecidos.
>
> (Dayrell e Carrano, 2014, p. 116)

Assim, os jovens estabeleceram uma nova relação com o consumo de bens culturais, tornaram-se protagonistas em seus meios e criaram novos modos de atuar na sociedade. Tudo isso indica que é salutar aproximar-se das culturas juvenis, acolhendo suas diversas modalidades de expressão, em uma educação que visa ao protagonismo e à autonomia.

Uma diferença importante é que muitos jovens do século XXI estão utilizando diversas formas de interação multimidiáticas e multimodais, em aplicativos educativos ou de entretenimento, por exemplo, e especialmente atuando nas redes sociais. Nesse cenário, existe um elemento fundamental a ser considerado: a desigualdade de acesso aos recursos tecnológicos. Enquanto algumas pessoas sentem que o uso exagerado das telas acirrou o imediatismo, o individualismo e a solidão, outras se sentem isoladas exatamente pelo inverso, ou seja, por não terem acesso a essas tecnologias e à internet. A pandemia de covid-19, que se iniciou em 2020 e persistiu por alguns anos, potencializou e escancarou os sentimentos de isolamento, ansiedade e exclusão, que não se restringiram a esse período, mas se tornaram problemas reais para as famílias e para a sociedade de forma ampla.

Se já não podíamos antes dizer que existe uma juventude, no singular, e padronizar nossa entrega aos estudantes, hoje, depois da publicação da BNCC e de tantos estudos nas áreas de educação, psicologia e sociologia, é imprescindível olhar para as individualidades e procurar enxergar que um jovem de periferia de uma metrópole provavelmente não tem as mesmas necessidades de um jovem que reside em um pequeno município rural, por exemplo. Temos uma diversidade de jovens e de juventudes no Brasil e no mundo – basta pensarmos em alguns fatores que claramente impactam a forma de vivenciar o mundo e de ser jovem, como gênero, local de residência, cor de pele, cultura da comunidade em que está inserido, entre outras.

A rede pública de ensino agrupa, em suas salas de aula, estudantes com diferentes perfis econômicos, sociais, políticos, identitários e de instrução; por isso, para que os objetivos de aprendizagem façam sentido para cada grupo específico de estudantes (ou seja, de cada escola, de cada ano, de cada turma), é preciso que esses objetivos sejam definidos com base no que se conhece de cada estudante, assegurando, com isso, que não se recorra a práticas de massificação e apagamento das diferenças observadas na turma, mas, sim, que se promova a equidade na educação. Equidade, como a própria BNCC explicita, significa, na prática, reconhecer que as necessidades dos estudantes são diferentes.

Ao fazer as escolhas curriculares, é papel de cada rede considerar a comunidade que a integra, de maneira ampla, assim como devem ficar nas mãos das escolas e dos professores fazer as escolhas necessárias para que esse currículo dialogue com a realidade de seus estudantes e os engaje no desejo de aprendizagem. Desse modo, a equidade se explicita a cada escolha feita pelos atores que compõem cada rede estadual e municipal de ensino e cada comunidade escolar, e essas decisões devem, necessariamente, dialogar com os diferentes perfis culturais e socioeconômicos que cada sala de aula acolhe. Não se trata de uma tarefa fácil. Por isso, dessa perspectiva, é preciso engajamento, colaboração e respeito mútuo, para que seja possível garantir um melhor índice nas aprendizagens e uma cultura de paz na comunidade escolar e em seu entorno.

Escola e inclusão

Compreender que a diversidade é uma característica intrínseca à sociedade e, por consequência, às salas de aula é imperioso. Cada estudante traz uma bagagem de habilidades, experiências e necessidades, e é papel da escola e dos educadores reconhecer e valorizar essa diversidade. É essencial reconhecer que cada estudante é único e apresenta demandas e capacidades muito próprias.

Para aprofundar as percepções sobre a múltipla diversidade de condições dos estudantes do Ensino Médio, é importante identificar as especificidades de possíveis deficiências e transtornos. De acordo com o artigo 2º da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência – Lei n. 13.146/2015 –, as pessoas com deficiência são aquelas que "têm impedimentos de longo prazo de natureza física, intelectual, mental ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas".

Por sua vez, de acordo com a Resolução n. 4/2009 do Conselho Nacional de Educação Básica (Brasil, 2009), os estudantes com transtornos do neurodesenvolvimento são os "que apresentam um quadro de alterações no desenvolvimento psicomotor, comprometimento nas relações sociais, na comunicação ou estereotipias motoras". Os transtornos do neurodesenvolvimento englobam uma diversidade de condições que podem variar em nível e em grau, de acordo com o contexto. Nesse sentido, é possível citar o Transtorno do Espectro Autista (TEA), a Deficiência Intelectual (DI), o Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) e os transtornos de aprendizagem, sendo os mais comuns entre estes últimos a dislexia, a discalculia e a disgrafia.

É necessário compreender os desafios enfrentados pelos jovens que têm transtornos dessa ordem. Muitos deles podem apresentar dificuldades relativas à comunicação, interação social, compreensão das emoções dos outros, aprendizado acadêmico, bem como dificuldades comportamentais, sendo necessário adotar abordagens pedagógicas específicas para atender às necessidades de cada uma delas.

As deficiências, contudo, agrupam grande diversidade de condições humanas e podem se apresentar em diferentes dimensões, como a física (no caso de pessoas surdas e/ou cegas, de usuários de cadeiras de rodas, etc.) e a intelectual (por exemplo, a síndrome de Down). Assim como ocorre com os transtornos, é importante garantir ambientes que possam receber estudantes que apresentam tais condições e preparar-se para incentivá-los de maneira específica, adaptando propostas pedagógicas e ampliando o repertório escolar concernente a esse cenário.

Resumindo, esses jovens exigem uma política de gestão da escola para recebê-los e cuidar de sua formação, de acordo com seus direitos e suas possibilidades. A arquitetura inclusiva é essencial para facilitar o acesso à escola não só aos estudantes com condições físicas específicas, mas também a outras pessoas que tenham dificuldade de locomoção. É preciso incluir a disponibilização de material didático adaptado, a implementação de estratégias de ensino diferenciadas, como currículo individualizado, o suporte emocional e comportamental (se necessário), a tutoria e o uso de recursos digitais e até mesmo visuais (como os cartões de emoções, que ajudam a identificar os próprios sentimentos e a compartilhá-los com outras pessoas).

Outra estratégia eficaz é trabalhar com os jovens habilidades de resolução de problemas e conflitos. Aqueles que apresentam tais transtornos podem se sentir desafiados em situações de conflito, o que pode ser sanado ou amenizado mediante o ensino de habilidades de negociação, escuta e empatia.

Também pode-se explorar propostas de trabalho colaborativo, em duplas ou grupos, a expressão oral ou a dramatização como recursos para entender ou explicar o pensamento. No entanto, para cada jovem não bastam as estratégias de ensino, também é preciso repensar o que ensinar em função de suas possibilidades. Algumas orientações que podem auxiliar seu planejamento para esses estudantes estão listadas a seguir.

- Organizar o trabalho, combinando com a turma a maneira de realizá-lo, de modo que todos saibam o que se espera de cada um. Comece a aula organizando o que será feito, as tarefas e, se for o caso, as expectativas diferenciadas para os estudantes com deficiência.
- Selecionar conteúdos, relacionando os conceitos das Ciências da Natureza ao contexto e às experiências dos estudantes.
- Utilizar recursos digitais e ferramentas *on-line* que os estudantes possam acessar de acordo com seu potencial, permitindo, também, retomadas ou preparação prévia de qualquer lugar. Plataformas de aprendizagem *on-line*, vídeos educativos e aplicativos interativos podem ser muito úteis.
- Planejar o ensino colaborativo por meio do trabalho em grupo e a aprendizagem colaborativa. Diferentes estudantes podem se beneficiar ao compartilhar seus conhecimentos e habilidades.

Por fim, as decisões para a real inclusão de estudantes com deficiências devem sempre evidenciar, bem como assegurar e promover, em condições de igualdade, que a pessoa com deficiência faz parte do grupo social e é aceita do modo como se apresenta. Não se trata de oferecer concessões ou favores, mas de demarcar o território escolar como um espaço de acolhimento e de cidadania. Portanto, escolas verdadeiramente inclusivas são fundamentais para a construção de uma sociedade inclusiva. Acreditamos, com isso, que a diversidade de condições físicas e neurológicas pode ser bem atendida quando há promoção de valores, como colaboração e empatia; criação de ambientes acolhedores e seguros; valorização ativa da diversidade; e envolvimento da comunidade.

O ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Ciências da Natureza e interdisciplinaridade

No amplo processo de reformulação do Ensino Médio, a flexibilização curricular é um dos principais pontos, bem como a ampliação da carga horária mínima, o foco no estudante e em seu desenvolvimento integral e a incorporação de práticas escolares mais dinâmicas e interativas. Essa flexibilização visa possibilitar que os estudantes escolham parte de seu percurso educativo como forma de conectar o aprendizado a seus interesses e projeto de vida. Com isso, o currículo do Ensino Médio passou a integrar formação geral e itinerários formativos. A formação geral, comum a todos os estudantes, está organizada por áreas do conhecimento integradas por componentes curriculares, propondo o trabalho com o conhecimento aplicado e tendo como foco o desenvolvimento de competências. Em relação às ciências naturais, estas estão organizadas na área de conhecimento Ciências da Natureza, a qual é integrada por Biologia, Química e Física.

Não é de hoje que se discute a articulação entre Biologia, Física e Química. As Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (Brasil, 2013, p. 195) já propunham, em seu artigo 8, um "tratamento metodológico que evidencie a contextualização e a interdisciplinaridade ou outras formas de interação e articulação entre diferentes campos de saberes específicos". Em outros documentos oficiais que organizam o currículo, essas disciplinas integram o mesmo campo do conhecimento – a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Essa proximidade justifica-se pela existência de características comuns, como o caráter investigativo, com a aplicação de estruturas lógicas hipotético-dedutivas, e, muitas vezes, a mesma linguagem de sistematização e representação do conhecimento.

Nesse sentido, esta coleção procura oferecer os conteúdos da Biologia, da Física e da Química em seus respectivos volumes únicos, mas também promover a interdisciplinaridade sempre que possível. Isso ocorre por meio de atividades, de conteúdos ou temas pontuais, em seções e boxes, como as seções e os boxes *Biologia e...*, *Física e...* ou *Química e...* (a depender do volume em questão), assim como nos projetos ou em outras seções e momentos da obra. Com isso, procura-se a interação interdisciplinar sem perder de vista os conhecimentos dos componentes curriculares. Não se trata, portanto, de tirar de cena os conteúdos da Biologia, da Física e da Química, mas de promover a interação entre eles (ou com outros componentes curriculares) quando oportuno. É possível, assim, atuar com os componentes curriculares e, ao mesmo tempo, mobilizar o conhecimento destes para o tratamento dos temas interdisciplinares.

A abordagem de temas transversais e/ou contemporâneos e a realização de projetos também ganham especial importância. Tais estratégias são válidas e permitem enormes ganhos em eficácia na aprendizagem. Em ciências, sejam elas naturais, sejam humanas, há noções e conceitos-chave que permeiam os componentes curriculares. A seleção e a eleição dessas noções ou desses conceitos centrais como foco de trabalho interdisciplinar são muito instigantes. Pense, por exemplo, nas ideias de transformação ou de ciclo, ou em conceitos como energia, espaço e tempo. Todos eles estão presentes e são significativos em muitos componentes, da Física à História, da Geologia à Geografia, passando pela Química e pela Biologia. Essas ideias e esses conceitos de caráter interdisciplinar podem, portanto, ser uma motivação especial para a abordagem das ciências naturais.

Não há dúvida de que a interdisciplinaridade traz muitos desafios, especialmente para o professor. Primeiro, porque a formação do docente foi, provavelmente, de caráter estritamente disciplinar, com poucas oportunidades formativas de trabalho interdisciplinar. Segundo, porque, de maneira geral, a escola brasileira ainda carece de práticas organizacionais de trabalho colaborativo típicas de uma proposta interdisciplinar. No que diz respeito ao primeiro desafio, uma alternativa é a busca – em nível governamental, escolar e individual – por oportunidades de formação continuada do professor. Igualmente importante é a construção de aulas em conjunto com professores dos componentes curriculares que formam as Ciências da Natureza – como também de outras áreas de conhecimento. Quanto ao segundo desafio, um passo imprescindível é considerar a interdisciplinaridade na construção do próprio projeto político-pedagógico da escola.

A Biologia no contexto das Ciências da Natureza

Há registro do uso do termo "biologia", em 1766, pelo físico e filósofo alemão Michael Christoph Hanov (1695-1773). Contudo, foi só na primeira década do século XIX que o naturalista francês Jean-Batiste Lamarck (1744-1829) deu ao termo uma formulação mais sistemática, conferindo-lhe o significado de uma ciência da vida como fenômeno unificado e não somente dos seres vivos. Até então, algumas das áreas que mais tarde se tornariam disciplinas da Biologia estavam integradas à Medicina (casos da Anatomia e da Fisiologia), à História Natural e à Botânica. De fato, alguns autores consideram que somente após o advento da teoria da evolução pela seleção natural, elaborada pelos britânicos Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Wallace (1823-1913), a Biologia consolidou-se como ciência, pois permitiu a unificação teórica de muitos fenômenos antes compreendidos de modo relativamente independente.

Atualmente a Biologia trabalha com uma diversidade imensa de organismos e atua sob o enfoque de várias áreas de pesquisa. Trata-se de uma ciência extremamente dinâmica – é o que comprova a publicação, a cada ano, de mais de centenas de milhares de artigos científicos relacionados às diversas áreas que a compõem. Além disso, novas fronteiras de investigação vêm sendo abertas. É o caso, por exemplo, de áreas de pesquisa impulsionadas pelo aperfeiçoamento de técnicas de biologia molecular, como a genética, a engenharia genética, a sistemática, etc.

Esse crescimento – não somente da Biologia, mas também da Física e da Química – nas últimas décadas impõe alguns desafios para os professores, os quais se veem diante da necessidade de compreender os fundamentos de diversas disciplinas e, ao mesmo tempo, de se manterem atualizados, para auxiliar os estudantes na aquisição e na interpretação dos novos conhecimentos divulgados cotidianamente. Parte dessa tarefa pode ser facilitada se o professor tiver em mente, de modo bem assimilado, as teorias, as noções, as ideias e os conceitos mais importantes que sustentam a Biologia, como a teoria da evolução por seleção natural. Por meio da teoria da evolução, por exemplo, explicam-se inúmeros processos biológicos, tanto os microscópicos como os mais abrangentes, no nível do organismo ou mesmo no da biosfera. Ela é, portanto, uma teoria central da Biologia, e o domínio dos conceitos ligados aos mecanismos evolutivos, como os de competição, de adaptação e de seleção natural, se bem compreendidos, conferem aos estudantes a base requerida para a assimilação de muitos fenômenos e processos relativos a outras disciplinas da Biologia, tais como a Citologia, a Embriologia, a Botânica e a Zoologia. Assim como a teoria da evolução, há também outros temas ou conceitos estruturadores do pensamento em Biologia e, por isso, fundamentais – como a origem da vida, a transmissão da vida, a ética e a manipulação genética, a diversidade da vida, entre outros. Eles podem, por essa razão, ser empregados como norteadores no processo de ensino-aprendizagem.

A Física no contexto das Ciências da Natureza

A Física pode expandir a compreensão do mundo. Para transferir esse benefício à sociedade, é preciso assegurar o acesso dos estudantes aos saberes produzidos. No entanto, não interessa apenas que os estudantes tenham acesso aos conhecimentos da Física, mas que também tenham compreensão dos instrumentos que acompanham seu aprendizado, evitando generalidades sem significado.

Contudo, mesmo diante de sua importância na aquisição de competências investigativas, o ensino da Física – e, por vezes, da Química – pode ser considerado difícil e complicado. Em parte, isso se explica pelo formalismo matemático, muitas vezes necessário, na resolução de problemas. Por outro lado, nem sempre os estudantes conseguem se apropriar adequadamente dos conhecimentos matemáticos necessários a essa fase da escolaridade. Isso contribui para que a Física se distancie da vida e da realidade deles.

Nesse sentido, é essencial a contextualização do conhecimento científico, que pode ser traduzida em ações complementares: a identificação de fenômenos naturais e de tecnologias presentes na vida diária e a explicação ampla de tais fenômenos e tecnologias que envolvem dimensões do saber diversas. Há também o papel instigante e motivador da investigação científica como elemento característico das Ciências da Natureza no contexto físico, bem como as relações que a Física estabelece com outras áreas do conhecimento. Temas como estrutura da matéria, história da ciência, clima e aquecimento global e astrobiologia, por exemplo, permitem que a Física interaja com outros componentes curriculares, como a Química, a Biologia, a História, a Geografia, entre outros. Essas ações ainda podem servir como pontos de partida ou de apoio para a discussão de assuntos distantes da realidade imediata da sala de aula. A aproximação entre o científico e o cotidiano se dá inicialmente pelo reconhecimento de que existe um conhecimento empírico acumulado pelos estudantes do Ensino Médio e que tal conhecimento é fruto de suas vivências, de sua história pessoal e de sua inserção no mundo.

Por fim, pode-se ver a Física como elemento da ciência, mas também da cultura. Essa concepção reforça o redirecionamento dos elementos históricos, éticos e estéticos – antes empregados como meros objetos de motivação ou ilustração – para um papel de maior relevância. É preciso despertar nos estudantes a capacidade de perceber que a Física – assim como a Química e a Biologia – está presente também em diferentes campos da cultura: nas artes plásticas (como em pinturas e esculturas), na arquitetura, na literatura, nas histórias em quadrinhos, nos filmes, nas séries, no teatro, na música, nos esportes. Assim, é necessário trazer para o ensino de Física diferentes objetos culturais e, ao mesmo tempo, promover a difusão científico-cultural em diversas instâncias para além do ambiente escolar.

A Química no contexto das Ciências da Natureza

A sociedade interage com o conhecimento químico em vários níveis e por diferentes meios, como pela escolaridade formal, por meio da mídia ou por saberes populares. E não são só os químicos que fazem uso dessa ciência, mas também os profissionais de áreas diversas, como Medicina, Farmácia e Artes. Além disso, ela faz parte de inúmeras interações cotidianas. Com isso em mente, é importante ressaltar que a Química e alguns conceitos a ela relacionados são objetos de representações sociais pelos estudantes; portanto, considerar as concepções elaboradas por eles no decorrer da vida em sociedade é de extrema importância para que o processo de ensino-aprendizagem seja bem-sucedido, pois, em geral, tais representações estão solidamente incorporadas ao modo de pensar dos estudantes sobre os fenômenos que os cercam. Ao ignorar essas representações, o professor corre o risco de não se fazer compreender. A interpretação da expressão "substância química", por exemplo, pode ficar comprometida caso os estudantes considerem eventual visão negativa veiculada pela mídia, ou seja, interpretando-a como algo ruim, poluidor, tóxico, artificial, etc.

Nesse sentido, é salutar não reforçar visões maniqueístas a respeito da Química, segundo as quais ela estaria ligada meramente a aspectos negativos do cotidiano. Por exemplo, ao abordar a temática ambiental, é fundamental cuidar para que a Química não seja mostrada somente pelo viés de problemas ambientais, como a poluição de rios e solos, mas também como componente essencial para a sustentabilidade, como evidenciado pela Química Verde. Do mesmo modo, é importante explorar as variadas aplicações e a articulação da Química com outros componentes curriculares. Isso inclui abordar os ciclos biogeoquímicos em conjunto com a Biologia e a Geografia, os modelos atômicos em consonância com a Física e a reciclagem como ação sustentável e forma de subsistência, relacionando-a à Biologia e à Sociologia.

Desse modo, pode-se afirmar que o ensino de Química contribui de maneira eficaz para o pleno exercício da cidadania quando consegue levar os estudantes a relacionar os conceitos científicos entre si e com suas implicações socioeconômicas, culturais, ambientais e tecnológicas. Para isso, é preciso desmistificar a ideia de que a Química é algo distante da realidade dos estudantes, aproximando-a do cotidiano deles e da sala de aula, reforçando seu protagonismo.

Contextualização da ciência

Explicações fundamentadas no senso comum costumam ter um caráter local, específico, particularizado e, com frequência, inconsistente. Por isso é importante estabelecer conexões entre o conhecimento empírico e o conhecimento científico, não para transformar o empírico em científico, mas para explorar as contradições e limitações de um e de outro. Assim, ao contrapor e avaliar diferentes interpretações (prévias, empíricas ou científicas), favorecemos atitudes reflexivas, críticas e investigativas. Ao mesmo tempo, o ensino formal deve permitir aos estudantes a percepção dos limites dos modelos, inclusive dos científicos.

Para contextualizar a produção do conhecimento das Ciências da Natureza em relação a aspectos históricos e sociais, parte-se do pressuposto de que a produção científica, na tentativa de alcançar determinado saber, percorre um caminho marcado por continuidades e rupturas, ou seja, os problemas são tratados dentro da história e da ciência, bem como das implicações sociais que acarretam, explicitando suas origens, as tentativas de solução e as controvérsias. Essa dimensão procura mostrar o conhecimento científico como produto histórico da humanidade, ilustrando como a produção científica percorre uma rota acidentada, coletiva, cheia de percalços e desvios.

É com base nessa percepção ampla de contextualização que o ensino de Ciências da Natureza pode desenvolver nos estudantes a competência crítico-analítica. Com esse objetivo, esta coleção procura explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, de maneira que possam refletir sobre a contextualização histórica e social da ciência e da tecnologia, bem como suas aplicações no cotidiano. A coleção busca, ainda, ser atraente e desenvolver nos estudantes competências cognitivas, práticas e sociais a que todo cidadão tem direito – e que se traduzem na capacidade de descrever, interpretar e agir sobre a realidade –, procurando estimular também o planejamento de ações e o pluralismo de ideias.

O papel do professor no Ensino Médio

Levando em conta o exposto anteriormente, consideramos fundamental o papel mediador do professor.

> O que distingue a atuação do professor das demais experiências mediadas presentes no cotidiano do aluno é a maneira planejada, intencional com que ele organiza a sua prática didática, considerando-se que: "os mediadores são todas as pessoas que organizam com intencionalidade sua interação e atribuem significados aos estímulos que o educando recebe" (TÉBAR, 2011, p. 114). O professor ajuda a suscitar o interesse e captar a atenção do aluno, trazendo-o para junto do objeto, a fim de que ao aprendê-lo derive benefícios desta experiência. [...]
>
> A mediação demanda domínio da prática das relações humanas, porque, o mediador é um educador que assume completamente a responsabilidade de seu trabalho educativo, envolve-se na formação integral dos educandos dentro dos limites éticos e é cônscio de que o processo formativo é holístico, pois envolve todo o ser humano. Em suma, "o professor deve ter atitudes de empatia e acolhimento, de permanente interação, de críticas positivas da cultura e vivência dos valores que pretende transmitir" (Tébar, 2011, p.115).
>
> No processo de construção dos conhecimentos do próprio aluno, o professor é o mediador que gerencia, planeja e executa a aplicação das atividades e as relações dos sujeitos com o objeto a fim de atingir os objetivos de aprendizagem dos alunos. O objetivo é a autonomia do aluno, pois ao estruturar sua ação, o professor tem em mente, "[...] que os educandos são os protagonistas de sua própria aprendizagem" (Tébar, 2011, p.125). A autonomia do aluno é construída ao longo do trabalho docente quando este oferece oportunidades ao aluno de tomar decisões (Freire, 2006, p.120).
>
> O professor medeia o processo de aprendizagem do aluno em direção à autonomia da aprendizagem, quando o aluno aprende a aprender. De acordo com os pressupostos da teoria do sócio construtivismo ou sócio-interacionismo de Vygotsky, a aprendizagem é construída no processo de interação social onde o conhecimento é mediado. A prática mediadora é ampla e se manifesta nas relações sociais. Não é somente o professor que cumpre o papel de mediador na vida do aluno, mas a família e a comunidade também o fazem, pois "[...]a mediação é uma forma de interação que engloba todos os âmbitos da vida dos educandos" (Tébar, 2011, p. 114).
>
> A atuação intencional do professor permite que o aluno transcenda e perceba novos sentidos acrescentados pelo conhecimento adquirido, e desta forma desempenha o papel de mediador do processo de ensino-aprendizagem. [...]
>
> [...]
>
> Maia, Miriam Bastos Reis Maia; Guerreiro, Elaine Maria Bessa Rebello. Perfil do professor mediador: proposta de identificação. *Revista Educação*. Centro de Educação – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reveducacao/article/view/34189/pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

Neste sentido, o professor se posiciona como um mediador de linguagens e oportunidades educativas, como aquele que apoia o acesso ao conhecimento e não aquele que o detém. Reuven Feuerstein (1921-2014) reforça que são essenciais algumas características para que, de fato, se efetive a mediação, como intencionalidade e reciprocidade, transcendência e mediação dos significados. Essas e outras características favorecem a autonomia e o protagonismo dos estudantes.

O papel do professor é especialmente importante pois, em geral, em uma turma há estudantes de diferentes perfis, com diferenças significativas em seus conhecimentos e experiências, o que impõe desafios à aprendizagem, principalmente se a turma for grande. Torna-se importante identificar eventuais dificuldades dos estudantes e orientá-los na análise e na descoberta de caminhos e soluções, procurando, sempre que possível, entender essa variedade na base cultural dos jovens, de suas linguagens e de seus anseios de vida. O diálogo e a escuta ativa, em consonância com abordagens como discussões, o trabalho em grupos, o trabalho com outros professores, etc., são essenciais.

De mesmo modo, estimular o debate e o posicionamento crítico dos estudantes no sentido de valorizar uma visão humanista, de respeito aos direitos humanos, à diversidade de corpos, de sexualidades, de gêneros, de culturas, de etnias, de classes sociais, de crenças religiosas, entre outros.

Ao professor também é importante não deixar de investir em seu aprendizado. Sabemos que o cotidiano da sala de aula é desafiador, mas hoje em dia há boa oferta de cursos *on-line* gratuitos que podem colaborar nesse sentido. Um exemplo é a plataforma Avamec, do Ministério da Educação, disponível em https://avamec.mec.gov.br/ (acesso em: 18 ago. 2024). A plataforma propõe um ambiente virtual de aprendizagem que possibilita realizar cursos a distância, projetos de pesquisa ou colaborativos e outras maneiras de apoio educacional a distância para o processo de ensino-aprendizagem.

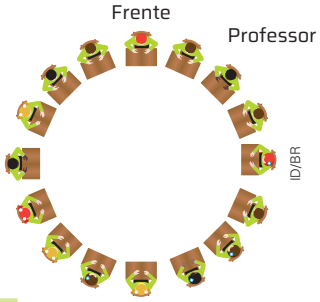
Formas de organização da turma

Pensar a escola é pensar em um espaço formativo, pois é por meio das relações, reações, vivências e convivências nesses ambientes que professores e estudantes se formam juntos. Organizar de maneiras alternativas as carteiras em sala de aula tem como objetivo atender melhor às necessidades diversas dos estudantes, promover interações mais significativas e facilitar métodos de ensino mais dinâmicos e participativos.

As disposições em círculo ou em U, por exemplo, permitem que todos os estudantes se vejam e se ouçam claramente, facilitando a discussão em grupo, a colaboração e o compartilhamento de ideias. Isso não apenas enriquece a experiência de aprendizagem, mas também ajuda a desenvolver habilidades sociais e comunicativas essenciais para o sucesso dentro e fora da sala de aula. Outra possibilidade ideal para trabalhos em grupo ou projetos colaborativos com mais de quatro estudantes é organizar as carteiras em ilhas ou grupos menores para fomentar um ambiente mais cooperativo. Para atividades que exigem foco individual, como testes ou tarefas de escrita, uma disposição em filas ou em forma de L pode ser mais adequada para reduzir distrações e aumentar a concentração. Já a organização da sala em diferentes estações ou áreas, cada uma dedicada a uma atividade específica, estimula a autonomia dos estudantes, permitindo que se movimentem e escolham as atividades que desejam realizar. Observe a seguir a representação de algumas dessas disposições.

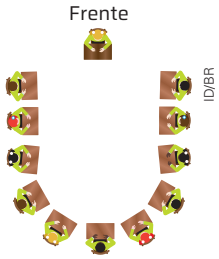
Círculo

Ideal para debates, discussões em grupo e atividades de compartilhamento.



Formato em U

Recomendado para aulas expositivas, discussões e apresentações, permitindo uma boa interação com o professor.

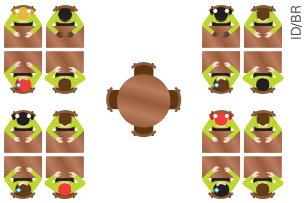


Grupos ou ilhas

Facilita a realização de projetos e atividades em grupo.

Organização em estações

Ideal para aprendizagem com base em centros de interesse, projetos e rotação por estações.



A flexibilidade na organização das carteiras permite que os professores adaptem o ambiente de acordo com os objetivos específicos de cada aula ou atividade. Essa adaptabilidade é crucial em um mundo educacional em constante mudança, no qual as metodologias e abordagens pedagógicas estão sempre evoluindo para melhor atender às necessidades dos estudantes. Há ainda a possibilidade de utilizar espaços externos à sala a de aula, de modo que os estudantes possam experimentar diferentes arranjos em um ambiente mais dinâmico e inclusivo.

ESTRATÉGIAS E ABORDAGEM TEÓRICO-METODOLÓGICA

Desenvolvimento de competências

As semelhanças entre Biologia, Química e Física no contexto das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, especialmente no que se refere a procedimentos e linguagens comuns, justificam tanto o compartilhamento quanto o estímulo ao desenvolvimento das competências gerais e específicas e das habilidades que consistem nos objetivos fundamentais desses componentes curriculares.

De modo geral, deseja-se que os estudantes dessa área sejam capazes de se comunicar, obter informações, argumentar, compreender, agir, enfrentar problemas, fazer escolhas, propor soluções, entre outros exemplos de competências ou qualificações humanas amplas desejáveis.

Nesta coleção, compartilhamos o entendimento de competências e habilidades preconizado pela BNCC, apresentado anteriormente. No conjunto de seus três volumes, procurou-se desenvolver todas as competências gerais da Educação Básica e todas as competências específicas e habilidades da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Esse trabalho com competências e habilidades, além de reforçar o aspecto interdisciplinar, estimula a autonomia, o protagonismo e o pensamento crítico dos estudantes, conduzindo-os

a um papel central como sujeitos do próprio aprendizado. Também promove atitudes e valores, contribuindo para a formação de estudantes com visão ética, justa, inclusiva, sustentável e solidária, para o desenvolvimento de seus projetos de vida e para lidar com os desafios das sociedades contemporâneas.

Relacionamos, a seguir, as competências gerais da Educação Básica e as competências específicas e habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio. As siglas utilizadas para as competências que serão mencionadas mais adiante neste Manual são: competências gerais da Educação Básica (CGEB) e competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio (CECNTEM).

COMPETÊNCIAS GERAIS DA EDUCAÇÃO BÁSICA

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

3. Valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais, e também participar de práticas diversificadas da produção artístico-cultural.

4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.

5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

6. Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade.

7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.

8. Conhecer-se, apreciar-se e cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas.

9. Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza.

10. Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.

(Brasil, 2018, p. 9-10)

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

(Brasil, 2018, p. 553)

HABILIDADES DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO

Competência específica 1

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis.

(EM13CNT105) Analisar os ciclos biogeoquímicos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.

(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.

(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.

(Brasil, 2018, p. 555)

HABILIDADES DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO
Competência específica 2
(EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.
(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).
(EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos e no corpo humano, com base nos mecanismos de manutenção da vida, nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia, utilizando representações e simulações sobre tais fatores, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).
(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).
(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.
(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.
(EM13CNT207) Identificar, analisar e discutir vulnerabilidades vinculadas às vivências e aos desafios contemporâneos aos quais as juventudes estão expostas, considerando os aspectos físico, psicoemocional e social, a fim de desenvolver e divulgar ações de prevenção e de promoção da saúde e do bem-estar.
(EM13CNT208) Aplicar os princípios da evolução biológica para analisar a história humana, considerando sua origem, diversificação, dispersão pelo planeta e diferentes formas de interação com a natureza, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural humana.
(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).

(Brasil, 2018, p. 557)

HABILIDADES DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS PARA O ENSINO MÉDIO
Competência específica 3
(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.
(EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.
(EM13CNT304) Analisar e debater situações controversas sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza (tais como tecnologias do DNA, tratamentos com células-tronco, neurotecnologias, produção de tecnologias de defesa, estratégias de controle de pragas, entre outros), com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista.
(EM13CNT305) Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos, em diferentes contextos sociais e históricos, para promover a equidade e o respeito à diversidade.
(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.
(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.
(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.
(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.
(EM13CNT310) Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de avaliar e/ou promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

(Brasil, 2018, p. 559-560)

Investigação, prática e linguagem científica

Nesta obra, o contato dos estudantes com um repertório estimulante de conhecimentos acadêmicos se articula com o desenvolvimento do fazer científico. Nesse contexto, a proposição de questões ou problemas deve servir aos processos característicos do pensar e do fazer científicos, que envolvem a admiração e o questionamento diante de algo, a ponto de levar os estudantes a formular hipóteses ou suposições, motivando-os, assim, a empreender uma investigação.

Tão importante quanto a problematização ou a apresentação de um conflito inicial é possibilitar meios para que os estudantes percorram o caminho investigativo que os levará à solução do problema e à aprendizagem. O que chamamos aqui de investigação envolve uma lista extensa e diversificada de atividades que inclui a realização de testes e experimentos, as demonstrações, os estudos de meio, as entrevistas e as pesquisas em livros e multimeios. Ou seja, a investigação nas

aulas de Ciências da Natureza e seus componentes curriculares não se reduz apenas à experimentação ou às "atividades de laboratório". Ela envolve todos os tipos de atividade, que são acompanhados de situações problematizadoras que promovem a busca ativa de dados ou de informações, os quais, quando analisados e discutidos, conduzem à solução de um problema ou à geração de informações que evidenciem ou contradigam uma ou mais hipóteses ou suposições formuladas anteriormente. O que de fato faz com que uma atividade seja considerada uma investigação é a forma como ela é apresentada e conduzida pelo professor e o caráter que ela assume no processo de ensino e aprendizagem.

A atividade investigativa possibilita, sobretudo, a reflexão crítica e o engajamento ativo dos estudantes. Ela exige que os estudantes mobilizem várias habilidades cognitivas e processuais, entre elas, as que são importantes no pensamento científico: a observação, a formulação de hipóteses, o planejamento e a construção de modelos, a realização de testes e experimentos, a coleta, a sistematização e a análise de dados e informações, o estabelecimento de sínteses e relações e a comunicação de conclusões. Também demanda dos estudantes o conhecimento de variados conteúdos de natureza conceitual (informações, fatos, dados, conceitos, vocabulário específico, entre outros), a tomada de decisões e a expressão de valores (colaboração, respeito, organização, criatividade, entre outros).

A investigação e suas práticas proporcionam aos estudantes oportunidades de desenvolver habilidades relacionadas à linguagem, como a construção de um discurso oral coerente para expressar uma explicação, argumentar ou relatar uma experiência. Propicia também o desenvolvimento da habilidade de escrita, como em situações de comunicação de resultados na forma de um relatório. Até mesmo o uso de outras linguagens pode e deve ser estimulado, como as linguagens próprias da Matemática e das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, com a utilização de ferramentas de tratamento de dados e de produção e leitura de mapas, entre outras.

Atividades práticas no laboratório ou em campo devem ser estimuladas. Uma rápida saída a campo, para visitar um ambiente natural ou modificado, possibilita ricas experiências de aprendizagem e cumpre um importante papel pedagógico, pois desperta a curiosidade, estimula a busca pelo conhecimento e exercita certas habilidades e a prática de alguns valores e atitudes que nem sempre são facilmente exploráveis em sala de aula. Sabendo que a realidade de cada escola é muito particular, com seu entorno natural e social próprio, não ousamos apresentar no Livro do Estudante propostas definidas de saída a campo. Essa atividade vai depender muito mais do planejamento do professor e do projeto da escola. No entanto, em geral, ofereceremos algumas sugestões na parte específica deste Manual.

A escolha e o planejamento de atividades investigativas são fundamentais em uma proposta de ensino de Ciências da Natureza que vise ao desenvolvimento do pensar e do agir de maneira científica, sem, no entanto, negligenciar a aquisição de conteúdos conceituais. Além disso, se conduzidas de maneira colaborativa e solidária, as atividades investigativas podem auxiliar na consolidação de valores e atitudes importantes e servir de exemplo de como se constrói o conhecimento científico. Desse modo, possibilitam também a vivência e o debate sobre o caráter coletivo, social e cultural do conhecimento científico.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente

Na esteira de diretrizes educacionais contemporâneas, surgiu e se fortaleceu o movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), que recomenda que o ensino de Ciências tenha como focos: o estudante e suas necessidades; as demandas da comunidade; a consciência de que as respostas da ciência podem ser controversas; a estreita ligação entre ciência e sociedade. Essa visão fundamenta-se tanto em razões político-econômicas como em razões sociais e humanistas. De acordo com Pereira (2002)[11], citando a abordagem de Fourez (1994)[12], as razões econômicas e políticas implicam educar os jovens para se sentirem aptos a lidar com produtos científicos e tecnológicos com maior comodidade e para que entendam os processos produtivos fundamentados na ciência e na tecnologia, sendo então capazes de aproveitar melhor as tecnologias e inovações futuras. No âmbito social, objetiva-se permitir que os jovens compreendam as decisões que envolvem problemáticas científicas e tecnológicas e sejam capazes de participar das decisões, exercendo a cidadania. As razões humanistas agregam diversas dimensões, como:

- a dimensão histórica, para entender como a ciência e a tecnologia emergem da história da humanidade e dela fazem parte.
- a dimensão epistemológica, para adquirir noções de como se constrói a ciência e como se dá a atividade científica.
- a dimensão funcional, para apreciar como determinada teoria ou máquina se ajusta a certas situações.
- a dimensão corporal, para perceber o corpo como um lugar inteligente em relação a utensílios e máquinas.
- a dimensão de comunicação, para ter consciência de que ciência e tecnologia são formas de construir uma visão de mundo compartilhável e comunicável.

Nesse sentido amplo, a BNCC reforça que ciência e tecnologia sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais. Esta obra se alinha com a orientação da BNCC ao propor discutir "o papel do conhecimento científico e tecnológico na organização social, nas questões ambientais, na saúde humana e na formação cultural, ou seja, analisar as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente" (Brasil, 2018, p. 549). Além disso, ao longo deste Manual do Professor se encontram orientações, proposições e subsídios que fortalecem as relações entre as Ciências da Natureza e os componentes que as integram e com as outras áreas do conhecimento, quando pertinente.

Argumentação

A argumentação aparece explicitamente na competência geral da Educação Básica 7 da BNCC:

> Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.
>
> (Brasil, 2018, p. 9)

11 Pereira, A. *Educação para a ciência*. Lisboa: Universidade Aberta, 2002.

12 Fourez, G. *Alphabétisation scientifique et technique*. Bruxelles: De Boeck-Wesmael, 1994.

Por meio desse excerto, é possível notar a importância que fatos, dados e informações confiáveis têm para a construção de uma boa argumentação. Também é possível perceber que a argumentação, como competência a ser desenvolvida na escola, deve estar vinculada a princípios éticos e cidadãos. Considerando esse viés, a obra proporciona aos estudantes oportunidades particularmente propícias para o desenvolvimento de importantes habilidades relacionadas à argumentação, como construir um discurso oral coerente, expressar uma explicação, defender uma ideia, deliberar coletivamente ou propor soluções para problemas. Isso ocorre, por exemplo, no desenvolvimento de um projeto, nas atividades propostas nos capítulos, nos estudos de caso, entre outros.

Leitura inferencial

Durante a leitura de textos científicos, em suas investigações ou na execução de tarefas, os estudantes vão se deparar com diversas situações e textos (verbais ou não verbais). Para cada um deles, deverão elaborar um sentido, que vai além de localizar as informações apresentadas. Para elaborar esse sentido, os estudantes precisam fazer inferências, estabelecendo relações entre o que está explícito no texto (ou na situação vivenciada) e aquilo que eles inserem no texto com base em seu conhecimento de mundo. Nessa perspectiva, o conhecimento prévio é um fator fundamental na qualidade das inferências que uma pessoa pode fazer ao realizar uma leitura e, consequentemente, torna-se estritamente necessário para a compreensão de um texto, pois é esse conhecimento, seja linguístico, seja conceitual ou procedimental, que permite ao leitor fazer as inferências necessárias para a construção de significados de um texto (Kleiman, 2010). Segundo Guedes (1999, p. 31-32), "a inferência pode ser considerada a maior contribuição cognitiva do leitor. Sem perceber, o leitor está inferindo, isto é, adequando representações mentais".

Em sala de aula, o professor pode promover a qualidade das inferências nas leituras dos estudantes de diversas formas. É possível formular perguntas que os motivem a antecipar informações, verificar a probabilidade de que as hipóteses sejam reais, acessar seus conhecimentos prévios, explicar o que está implícito em um texto, preencher lacunas de informação com base em pistas já dadas e excluir ou confirmar hipóteses levantadas durante a leitura. Seguramente, ao se empenhar para que os estudantes realizem cada vez mais e melhor a leitura inferencial, o professor obterá maior qualidade dos resultados nas atividades que propõe. Assim, o professor contribuirá para a formação de leitores proficientes, competência tão necessária aos estudantes no enfrentamento dos desafios da vida.

Pensamento computacional

Quem imagina que o pensamento computacional diz respeito unicamente a saber navegar na internet, utilizar as redes sociais, enviar *e-mails* ou utilizar ferramentas digitais para elaborar um texto ou resolver uma equação está enganado. O pensamento computacional utiliza a linguagem e o raciocínio da computação para resolver problemas de modo individual ou colaborativo. Essa estratégia de ensino e aprendizagem está próxima do pensamento analítico, que, assim como a matemática, a engenharia e a ciência, busca, entre outras questões, aprimorar a proposição de soluções para problemas. De acordo com a BNCC, o pensamento computacional:

> [...] envolve as capacidades de compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e suas soluções, de forma metódica e sistemática, por meio do desenvolvimento de algoritmos.
>
> (Brasil, 2018, p. 474)

Ainda no âmbito da BNCC, em 2022 foi homologado pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) o documento *Base Nacional Comum Curricular: Computação – Complemento à BNCC*, resultado de debates ocorridos em comissões formadas por professores e pesquisadores de diferentes áreas (como Pedagogia, Psicologia, Ciências da Computação, Matemática, Geografia, etc.) ao longo dos anos. Nesse documento, o pensamento computacional ganha destaque como um de seus três eixos – os outros dois são cultura digital e mundo digital – de uma perspectiva que considera a abstração, análise e automação[13].

Essa visão encontra consonância com os quatros eixos do pensamento computacional apresentados pelo Currículo de Referência em Tecnologia e Computação (2018)[14], publicado pelo Centro de Inovação para a Educação Brasileira (Cieb):

- Decomposição: trata da divisão de problemas complexos em partes menores para sua solução.
- Reconhecimento de padrões: envolve a identificação de características comuns entre problemas para sua solução.
- Abstração: envolve a filtragem, formas de organização e a classificação de dados para a resolução de problemas.
- Algoritmos: refere-se à construção de orientações claras para a resolução de problemas.

Nesta obra, esses quatro eixos são trabalhados explicitamente na seção *Pensando Ciências*, mas é importante ressaltar que o pensamento computacional pode ser/estar incorporado de diversas maneiras ao se abordar e tentar solucionar um problema. Ao longo dos três volumes, isso pode ocorrer em atividades, por exemplo, que envolvem diferentes processos cognitivos, como analisar, compreender, definir, modelar e resolver. A estrutura da seção *Projeto* também reflete o desenvolvimento do pensamento computacional.

Avaliação

O papel do estudante e as formas de avaliação

Nas últimas décadas, foi se consolidando um referencial para a concepção de aprendizagem com base nas contribuições teóricas da psicologia do desenvolvimento, que se fundamentaram nas pesquisas de Lev Vygotsky (1896-1934), de Jean Piaget (1896-1980) e de Henri Wallon (1879-1962), entre outros. Uma das principais hipóteses dessas linhas de pensamento é a de que o indivíduo constrói um conjunto de conhecimentos nas mais diversas situações vivenciadas, dentro e fora da escola, e leva esse repertório para o espaço educativo. Assim, o indivíduo passa a ser visto como sujeito ativo de seu conhecimento, na busca de responder às inúmeras interrogações postas pelo mundo que o rodeia.

Tal concepção altera radicalmente o papel do estudante – de mero receptáculo de conteúdos para protagonista na construção de seu conhecimento. Essa mudança de perspectiva impõe alterações na maneira de avaliar o estudante, especialmente na compreensão de que a avaliação constitui um processo

13 Diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação para o Ensino de Computação na Educação Básica. Sociedade Brasileira de Computação. 2019. Disponível em: https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/view/60/263/505. Acesso em: 18 ago. 2024.

14 Centro de Inovação para a Educação Brasileira (Cieb). *Currículo de Referência em Tecnologia e Computação*: da Educação Infantil ao Ensino Fundamental. São Paulo: Cieb, 2018. p. 19. Disponível em: https://curriculo.cieb.net.br/assets/docs/Curriculo_de_Referencia_em_Tecnologia_e_Computacao.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

permanente, instaurado ao longo de todo o período letivo, e deve contemplar as múltiplas capacidades e habilidades desenvolvidas pelo estudante no trajeto educativo.

Os novos modelos de avaliação implicam o rompimento da ideia arraigada no imaginário escolar de que avaliação é sinônimo de prova. Os instrumentos de avaliação variam de acordo com a dinâmica da sala de aula. Sem perder de vista os objetivos específicos da disciplina, o professor pode avaliar os resultados de uma vasta gama instrumental, como: produção de textos sobre a análise de modelos ou hipóteses científicas ou de situações do contexto social; debates e rodas de conversa sobre determinado tema dos conteúdos em estudo; produções artísticas resultantes da troca de ideias; registros escritos de experimentos laboratoriais; resoluções propostas para situações-problema variadas; relatos escritos sobre as dificuldades no aprendizado de certos conteúdos; entre outros.

A avaliação passa a ser também um objeto de investigação do professor, com potencial para produzir informações diagnósticas e qualitativamente indicativas sobre as transformações e os avanços na relação entre o grupo de estudantes, o professor e o sistema didático-pedagógico adotado. Hoffmann (1993, 1995) propõe três momentos distintos de avaliação: a **avaliação diagnóstica** ou **inicial**; a **avaliação contínua** ou **formativa**; e a **avaliação final** ou **somativa**.

Nas abordagens pedagógicas em que os estudantes são concebidos como indivíduos que constroem o conhecimento dentro e fora da escola, é adequado, na introdução de cada novo tópico, realizar uma avaliação diagnóstica, ou seja, um levantamento do que eles já sabem. O objetivo dessa avaliação é possibilitar-lhes tomar consciência das concepções que já têm sobre o assunto em foco e facilitar ao professor a identificação dos limites das soluções propostas para construir argumentos que conduzam à compreensão do tópico estudado. Isso pode ser feito por meio de atividades na abertura de capítulos, ou ao introduzir a unidade ou em outro momento que o professor considere oportuno.

A avaliação pode ser também um instrumento para o professor repensar seu planejamento. Nesse caso, é importante não se restringir a um momento final da etapa de aprendizado, quando já não há mais tempo de redirecionar o trabalho. É com esse objetivo que se propõe uma avaliação contínua ou formativa: momentos variados de avaliação ao longo do processo de ensino e aprendizado (por exemplo, ao longo dos capítulos de uma unidade) que possibilitem aos estudantes tomar consciência de suas dúvidas, dificuldades e avanços, e ao professor perceber se suas escolhas didáticas foram adequadas.

O término de uma sequência didática (por exemplo, ao final de uma ou mais unidades) é o momento adequado para a avaliação final ou somativa. Objetiva-se, sobretudo, perceber se os objetivos propostos inicialmente foram atingidos neste ciclo maior, se houve de fato aprendizado, se é possível dar prosseguimento ao processo de ensino ou se há necessidade de revisão e/ou de complementação.

Além desses modelos avaliativos, vale a pena destacar os seguintes:

- avaliação comparativa: utilizada para comparar o desempenho de diferentes grupos de estudantes ou de um grupo de estudantes em diferentes momentos. O objetivo da avaliação comparativa é analisar diferenças no desempenho entre grupos de estudantes (como diferentes turmas ou escolas) ou, ao longo do tempo, para entender tendências e efetividade de métodos de ensino.
- avaliação ipsativa: compara o desempenho atual de um estudante com seu desempenho anterior. Ela pode ser utilizada para manter registros das avaliações dos estudantes ou você pode pedir a eles que façam autoavaliações e estabeleçam metas de aprendizagem, revisando essas metas periodicamente para monitorar seu progresso pessoal. O objetivo principal da avaliação ipsativa é focar no progresso individual e na melhoria contínua dos estudantes, incentivando o desenvolvimento pessoal.

Outro aspecto importante para a formação do estudante é o incentivo à autoavaliação. Esse processo colabora para que o estudante se torne responsável pelo próprio processo de aprendizado, na medida em que a autoavaliação subsidia o desenvolvimento de estratégias metacognitivas. Essas estratégias são entendidas como a capacidade do ser humano de monitorar o que é percebido, julgar o que é aprendido ou o que precisa aprender e predizer as consequências das ações futuras (Metcalfe, 1996).

Neste Manual, procuramos oferecer, nas orientações específicas de cada unidade, uma série de subsídios e de estratégias que possibilitem ao professor conduzir da melhor maneira a avaliação dos estudantes.

Avaliação e novos paradigmas educacionais

Ao seguir o paradigma de uma aprendizagem centrada em conteúdos – e pressionada pela necessidade de medir, de forma objetiva, o "sucesso" ou o "fracasso" de seus estudantes –, a escola tradicional perpetuou um modelo de avaliação de caráter classificatório, seletivo e frequentemente punitivo, que deixa de lado aspectos importantes (hoje entendidos como centrais) do processo educacional, como a aquisição de competências e habilidades e a construção de valores e atitudes.

Em decorrência do entendimento atual sobre como se processa a aprendizagem, surge a necessidade de romper com essa concepção de avaliação. O "erro" deve ser encarado como parte fundamental do processo de ensino-aprendizagem, visto que ele é uma evidência dos processos mentais por meio dos quais os estudantes experimentam a realidade, formulam hipóteses sobre o seu objeto de estudo, confrontam-nas com as hipóteses de seus pares, reestruturam-nas e criam concepções que devem ser aplicadas à realidade. Quando visto desse modo, o "erro" – e também o "acerto" – não é mais do que um elemento que ajuda a compor o diagnóstico do professor sobre as aprendizagens de seus estudantes, sinalizando a necessidade de repensar seu planejamento, de experimentar outras estratégias de ensino-aprendizagem e de realizar de maneira mais próxima a gestão da aprendizagem de um estudante. A avaliação, nessa perspectiva formativa, significa saber em que ponto se está e o que é preciso fazer para se chegar aonde se pretende.

Um dos instrumentos mais importantes para operacionalizar esse modo de avaliação é o estabelecimento de objetivos de aprendizagem claros e passíveis de serem aferidos. Em se tratando de habilidades e competências, é necessário cuidado especial para traduzir em notas ou conceitos a relação entre os objetivos estabelecidos para a aprendizagem e aquilo que os estudantes demonstram como conhecimento efetivamente construído. Também é preciso dar peso adequado a cada aspecto a ser avaliado. Esses objetivos devem ser traçados considerando-se o programa de ensino de Ciências da Natureza e seus componentes curriculares como um todo, mas, idealmente, devem ser subdivididos em objetivos parciais, para que seja possível transformar a avaliação em uma prática processual, realizada ao longo de todo o período letivo e não apenas ao final de etapas burocraticamente instituídas.

Para que se torne produtiva, a avaliação deve ser dialógica, valorizando em igual proporção as atividades individuais e as coletivas, as atividades de avaliação do professor, de avaliação entre pares e de autoavaliação. Deve, ainda, abrir espaço para a criatividade, a participação e o questionamento do estudante. Trocas de experiências entre professores da área podem ser muito valiosas para se pensar em caminhos alternativos, partilhar situações de ensino e aprendizagem bem-sucedidas e buscar subsídios teóricos e metodológicos para reorientar a prática, quando necessário.

Preparação para exames

Ao longo da obra, os estudantes terão contato com questões de exames de larga escala, como o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem). No Manual do Professor, também são apresentadas opções de atividades que podem ser compartilhadas com os estudantes, para que conheçam e resolvam questões de diversas instituições do país. O intuito é dar aos estudantes a oportunidade de se prepararem para esses tipos de exame, que estão presentes na vida dos jovens brasileiros como parte da trajetória natural para o ingresso no Ensino Superior, colaborando, assim, para a construção de seu projeto de vida. Caso o professor considere oportuno, essas atividades podem ser organizadas em um simulado, por exemplo.

Outro aspecto importante nessa preparação é possibilitar aos estudantes conhecer como funcionam esses exames, as instituições que são de seu interesse, entre outros aspectos. Vale a pena orientá-los a acessar *sites* de universidades e de instituições aplicadoras de exames, como a página do Enem (disponível em: https://enem.inep.gov.br/; acesso em: 18 ago. 2024), em que poderão conhecer mais esse exame, acessar a cartilha do estudante, fazer o *download* de provas e gabaritos de anos anteriores, etc.

OBJETIVOS GERAIS DA COLEÇÃO

Tendo como base o que foi apresentado anteriormente, listamos, a seguir, alguns objetivos para a coleção no conjunto de seus volumes.

- Promover as competências gerais da Educação Básica e as competências específicas e habilidades da BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio.
- Valorizar os conhecimentos científicos, utilizando-os de modo que os estudantes entendam, interpretem e expliquem fenômenos e processos do mundo natural, tecnológico e do cotidiano.
- Discutir o papel do conhecimento científico e tecnológico e de questões sociais, políticas, históricas e culturais, analisando as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente.
- Promover a cultura de paz e de diálogo, colaborando para o desenvolvimento integral dos estudantes e preparando-os para enfrentar as demandas complexas do cotidiano.
- Promover o letramento e a investigação científica, exercitando a curiosidade intelectual dos estudantes, pondo em prática conceitos, processos, práticas, valores e atitudes.
- Estimular os estudantes a expressar ideias e compartilhar conhecimentos, informações, vivências, experiências, bem como a defender e negociar decisões, ideias e perspectivas por meio da construção de argumentos alicerçados em conhecimentos, dados, informações confiáveis, etc.
- Reconhecer e valorizar a diversidade de culturas e saberes, respeitando e valorizando os diferentes indivíduos e grupos sociais, identidades, culturas, sem preconceitos de origem, etnia, gênero, idade, convicção religiosa, entre outros.
- Colaborar para o desenvolvimento do protagonismo dos estudantes, estimulando-os a agir com autonomia, criticamente, pautando-se em conhecimentos, em princípios éticos e democráticos, na inclusão e na solidariedade.

ORGANIZAÇÃO DA OBRA

Organização e estrutura da obra

Esta coleção está organizada em três volumes únicos: um de Biologia, um de Física e um de Química. Cada volume apresenta dois projetos e oito unidades; as unidades são formadas por capítulos.

Páginas iniciais

As primeiras páginas de cada volume trazem uma apresentação aos estudantes, com um texto motivador para o estudo da coleção e a seção *Conheça seu livro*, que orienta os estudantes sobre como o livro está organizado. Além disso, há um sumário.

Projeto

A obra apresenta dois projetos em cada volume. Neles, os estudantes desenvolvem um produto relevante para a comunidade. A realização de um projeto é um dos principais momentos de protagonismo do estudante.

Abertura da unidade

Sempre em dupla de páginas, a abertura da unidade procura atrair o interesse dos estudantes para o estudo dos respectivos conteúdos. Ela introduz a temática da unidade por meio de uma imagem em tamanho grande e de um texto curto relacionado ao assunto. Além de introduzir o tema, a abertura apresenta os objetivos, propõe questões que podem explorar a imagem e o contexto apresentados e/ou questões reflexivas sobre a relevância do tema para a vida dos estudantes e fornece a relação dos capítulos da unidade.

Capítulo

Cada capítulo apresenta um número variável de páginas de conteúdo, com base na especificidade de cada tema. O conteúdo dos capítulos é estruturado segundo os elementos descritos a seguir.

Abertura de capítulo: além do número e do título do capítulo, a página apresenta o boxe *Para começar*, que apresenta questões que possibilitam aos estudantes levantar os conhecimentos prévios que têm sobre os conceitos e/ou práticas abordados no capítulo. A abertura também traz ao menos uma imagem para despertar o interesse deles. O texto dessa página pode apresentar uma introdução ao tema do capítulo ou ir diretamente à apresentação do conteúdo.

Texto-mestre: trata-se do texto principal do capítulo no qual são apresentados os conteúdos a serem estudados. As imagens, o glossário e outros recursos gráficos facilitam a compreensão do conteúdo focalizado pelos estudantes. Os títulos e subtítulos organizam e demarcam os conteúdos, permitindo aos estudantes estabelecer relações entre os temas em estudo e

compará-los, sintetizá-los e analisá-los, o que colabora para a integração dos conceitos.

Objetos digitais: a coleção apresenta, em sua versão digital, doze objetos digitais para cada volume, totalizando 36 objetos. Eles se apresentam nos seguintes tipos: *podcasts*, vídeos, carrosséis de imagens, mapas clicáveis e infográficos clicáveis. Esses objetos podem ser localizados por meio do sumário presente no início do Livro do Estudante ou ao longo dos capítulos, por meio deste ícone:

Boxes: os boxes aparecem em quantidades variáveis nos capítulos e visam trabalhar aspectos diversos dos conteúdos. São eles:

- **De olho no conceito:** retoma e/ou define algum conceito importante que é necessário para a compreensão do conteúdo abordado na página em que está inserido.
- **Ciência se discute:** apresenta debates, conflitos e controvérsias entre os próprios cientistas ou entre sociedade e ciência, propondo questionamento(s) e/ou atividade(s).
- **Ação e cidadania:** apresenta exemplos de aplicações do conhecimento científico que promovem melhoria na vida das pessoas e no ambiente ou que estão relacionados aos direitos e deveres dos cidadãos, a questões de atitudes e valores, etc., propondo questionamento(s) e/ou atividade(s).
- **Biologia e... / Física e... / Química e...:** aprofunda pontos de contato e a relação entre conteúdos da Biologia, da Física ou da Química (a depender do volume/componente em questão), na área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, ou com componentes de outras áreas do conhecimento. No formato de boxe, a informação é apresentada de modo pontual ao longo dos capítulos. No volume de Biologia, esse boxe se chama *Biologia e...*; no volume de Física, *Física e...*; por fim, no volume de Química, *Química e...*. Em todas, o título é complementado com o nome do componente curricular com o qual se relaciona, por exemplo: Biologia e Geografia.
- **Roteiro:** aparece eventualmente ao longo do capítulo. Traz atividades de retomada, compreensão e aplicação do que foi apresentado, que podem envolver a resolução de uma questão, a produção de sínteses, a construção de analogias, o estabelecimento de relações, a produção de pequenos textos, gráficos e tabelas, etc. Tem como finalidade ajudar os estudantes na compreensão do texto apresentado.
- **Ampliação:** trata de assuntos que complementam ou aprofundam o que foi abordado no texto principal.
- **Para explorar:** apresenta indicações comentadas de vídeos, *sites*, livros, etc. Não é exclusivo do capítulo e pode aparecer em outros momentos no decorrer da obra, como em Projeto.

Seções de capítulos: as seções se diferenciam dos boxes por serem desenvolvidas em páginas inteiras ou em duplas de páginas, permitindo aprofundar determinados desdobramentos dos conteúdos e estimular a reflexão por parte dos estudantes. As que constam dos capítulos, em quantidades variáveis, são:

- **Práticas de Ciências:** apresenta atividades práticas, experimentais e investigativas. Envolve coleta e análise de dados e informações, uso de tecnologias variadas, trabalho em grupo, elaboração de conclusões coletivas e comunicação. Desenvolve as várias formas de investigação próprias das ciências como meio de conhecer e de interpretar o mundo.
- **Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente:** apresenta um assunto relacionado à temática da ciência, tecnologia, sociedade e ambiente e questões que estimulam a análise, a reflexão e o posicionamento sobre assuntos relacionados ao tema do capítulo.
- **Ciência tem história:** discute a história da ciência, o contexto histórico, personagens, conflitos, construção de conceitos, métodos, mudanças de paradigmas, etc. Evidencia o caráter social e histórico da ciência como empreendimento humano.
- **Biologia e... / Física e... / Química e...:** a seção é "coirmã" do boxe de mesmo nome, apresentado anteriormente. O objetivo é explorar a interdisciplinaridade entre Biologia, Física ou Química (a depender do volume/componente) com componentes da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias ou de outras áreas do conhecimento. Na forma de seção, o assunto é desenvolvido de modo mais aprofundado em páginas duplas. No volume de Biologia, essa seção se chama *Biologia e...*; no volume de Física, *Física e...*; por fim, no volume de Química, *Química e...*. Em todas elas, o título recebe o complemento do componente curricular; por exemplo: Química e Física.
- **Atividades:** organizada sempre ao final de cada capítulo, apresenta questões que permitem aos estudantes retomar conteúdos pontuais e trabalhar diferentes habilidades e competências na resolução das atividades propostas. O conjunto dessas atividades possibilita, portanto, estabelecer relações entre os tópicos tratados e avaliar o conhecimento adquirido.

Fechamento da unidade

Seções de fechamento da unidade: o final de cada unidade apresenta uma seção *Estudo de caso* ou uma seção *Pensando Ciências*. *Questões globais* está presente em todo fechamento de unidade.

- **Estudo de caso:** contém um texto narrativo que apresenta dados e uma situação-problema, para que os estudantes, em grupo, discutam e proponham uma solução/interpretação do caso. Pode envolver exemplos de diferentes atuações profissionais.
- **Pensando Ciências:** apresenta um problema/questão a ser solucionado(a) pelos estudantes por meio da aplicação do pensamento computacional.
- **Questões globais:** propõe atividades autorais mais elaboradas, que abordam o conjunto dos capítulos e/ou de exames de larga escala (vestibular e Enem). A exemplo do que ocorre nas atividades ao longo dos capítulos, nesta seção, espera-se que os estudantes mobilizem diferentes habilidades e competências na resolução das atividades propostas e que se preparem para exames de larga escala.

Fechamento do volume

Ao final do volume do Livro do Estudante, há as seções:

- **Respostas das atividades de cálculo:** são apresentadas aos estudantes as respostas das atividades do Livro do Estudante que envolvem cálculo.
- **Transcrições dos áudios**: neste Manual do Professor, as transcrições dos áudios (*podcasts*) se encontram no final da reprodução do Livro do Estudante.
- **Bibliografia comentada**: referências bibliográficas e breves comentários sobre as obras utilizadas na elaboração do volume e indicadas para o aprofundamento dos estudos na área.

SUGESTÃO DE CRONOGRAMA

Apresentamos, a seguir, uma proposta de distribuição dos conteúdos deste volume em bimestres, trimestres e semestres previstos para os três anos do Ensino Médio. Entretanto, sabemos que o dinamismo do contexto escolar exige uma prática docente flexível diante dos desafios que surgem ao longo do ano letivo. Assim, esta proposta tem o objetivo de nortear sua prática pedagógica de maneira que você possa adaptá-la à sua realidade escolar e ao projeto pedagógico desenvolvido na instituição de ensino em que leciona.

UNIDADE	CAPÍTULO	1º ANO			
		1º semestre		2º semestre	
		1º trimestre	2º trimestre		3º trimestre
		1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre
1. Física e o estudo dos movimentos	**1.** Física, ciência da natureza				
	2. Medidas				
	3. Cinemática escalar				
2. Dinâmica	**1.** Forças e leis de Newton				
	2. Energia e trabalho				
	3. Impulso e colisões				
	4. Bases da Mecânica celeste				
3. Estática	**1.** Torque				
	2. Estudo dos fluidos				
4. Física térmica	**1.** Temperatura e calor				
	2. Consequências do calor				
	3. Leis da Termodinâmica				
Projeto 1	Portal de Ciências: tornando o conhecimento científico acessível à comunidade				
5. Luz, som e ondas	**1.** Óptica				
	2. Introdução às ondas				
	3. Fenômenos ondulatórios				
6. Eletricidade e magnetismo	**1.** Força elétrica e campo elétrico				
	2. Corrente elétrica e circuitos elétricos				
	3. Produção e consumo de energia elétrica				
	4. Magnetismo e indução eletromagnética				
7. Física do "muito pequeno"	**1.** Estrutura da matéria				
	2. Física Quântica				
	3. Física Nuclear				
8. Física do "muito grande"	**1.** Evolução da Terra				
	2. Estrelas				
	3. Teoria da relatividade				
	4. Modelo Cosmológico Padrão				
Projeto 2	Aquecedor solar de baixo custo: sustentabilidade e informação para a comunidade				

Caso considere oportuno, apresente os temas em uma ordem diferente, mas atente para os temas e os conceitos abordados em unidades precedentes e posteriores, a ligação que estabelecem com os demais conteúdos e como isso pode interferir no andamento dos projetos. Os projetos, por sua vez, também podem ser executados no momento que julgar mais adequado à sua realidade escolar.

Você pode complementar essa proposta esmiuçando os temas, os boxes e as seções que compõem os capítulos e as unidades. Se considerar interessante, também é possível adaptar os momentos previstos para as avaliações, conforme sua necessidade.

2º ANO				3º ANO			
1º semestre		2º semestre		1º semestre		2º semestre	
1º trimestre	2º trimestre		3º trimestre	1º trimestre	2º trimestre		3º trimestre
1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre

QUADROS DE CONTEÚDOS DA COLEÇÃO

Volume de Biologia

Unidade	Capítulo	Conteúdos
1 Biologia: o estudo da vida	**1.** O que é Biologia?	• Características dos seres vivos • Níveis de organização • A Biologia e a investigação científica • A Biologia e sua relação com outras áreas do conhecimento
	2. As bases químicas da vida	• Composição química dos seres vivos • Moléculas orgânicas das células vivas • Água, sais minerais e vitaminas
2 Células e tecidos	**1.** As células	• Introdução à citologia • Observações ao microscópio • A célula • Composição e estrutura da membrana plasmática • Citoplasma • O núcleo celular
	2. Metabolismo celular	• Metabolismo e energia • Metabolismo • Reações de oxirredução e metabolismo energético • Respiração celular aeróbia • Processos anaeróbios de obtenção de energia • Fotossíntese • As etapas da fotossíntese • Quimiossíntese • O DNA e o metabolismo • Síntese de proteínas
	3. Ciclo celular e o estudo dos tecidos	• Células e tecidos • Ciclo celular • Mitose • Meiose • Tecidos celulares • Tecidos epiteliais • Tecido conjuntivo • Tecido muscular • Tecido nervoso
3 Genética	**1.** Hereditariedade	• Diferenças e semelhanças • Primeiras ideias sobre hereditariedade • A herança cromossômica • Genética mendeliana • Noções de probabilidade • Padrões de dominância • Interação gênica • Alelos múltiplos • Padrões de herança influenciados pelo sexo • Ligação gênica • Alterações cromossômicas • Epigenética
	2. Biotecnologia	• O uso da natureza • O que é biotecnologia? • Produção de vacinas • Produção de antibióticos • Tecnologia do DNA recombinante • Sequenciamento de DNA • Clonagem • Células-tronco • Biotecnologia e ética
4 Origem da vida e diversidade dos seres vivos	**1.** A origem da vida	• Como surgiu a vida na Terra? • Os primeiros seres vivos • Primeiras ideias sobre a geração dos seres vivos • Teorias sobre a origem da vida na Terra • A teoria da evolução molecular da vida • Evolução do metabolismo energético • A origem das células, da multicelularidade e da diversidade celular
	2. Evolução	• A evolução biológica • O pensamento evolucionista • A evolução por seleção natural • Evidências da evolução • Seleção natural e adaptação • Seleção sexual e seleção artificial • A teoria sintética da evolução • As bases genéticas da evolução
	3. Taxonomia, sistemática e diversidade da vida	• Classificação dos seres vivos • Sistemática filogenética • Os grandes grupos de seres vivos • Vírus • Bactérias • Protozoários • Algas • Fungos • Plantas • Animais • As origens da humanidade

Unidade	Capítulo	Conteúdos
5 O estudo dos seres vivos	**1.** Nutrição e excreção	• Os seres se nutrem e excretam resíduos • Nutrição • A água e os seres vivos • Osmose e pressão osmótica • Osmorregulação e excreção • Plantas e o transporte da seiva mineral
	2. Circulação e trocas gasosas	• Os gases e os seres vivos • Composição da atmosfera • Trocas gasosas em animais • Circulação nos animais • Trocas gasosas e transpiração em plantas
	3. Coordenação e percepção do ambiente	• Introdução aos sistemas sensoriais • Células nervosas e condução de estímulos • Sistema nervoso • Mecanismos e receptores sensoriais • Audição e equilíbrio humanos • Evolução da percepção visual • Hormônios
6 Ser humano e saúde	**1.** Fisiologia humana	• Uma ciência antiga • Nutrição • Sistema digestório • Sistema respiratório • Sistema circulatório • Circulação da linfa • Sistema urinário • Sistema nervoso • Sistema endócrino • O ciclo menstrual • Gestação • Parto • Aleitamento materno
	2. Saúde e tecnologia	• O que é saúde? • A evolução do conceito de saúde • A saúde pública no Brasil • O Sistema Único de Saúde • Doenças crônicas • Saúde sexual e saúde reprodutiva • Saúde mental • Tecnologia e saúde
7 Ecologia	**1.** Noções básicas de Ecologia	• Introdução à Ecologia • A biosfera • Ecossistemas • Biomas • Biodiversidade • Fatores abióticos em um ambiente • Nicho ecológico
	2. Energia e matéria nos ecossistemas	• Relações tróficas nos ecossistemas • Biomassa e produtividade • Pirâmides tróficas • Fotossíntese
	3. Relações ecológicas e dinâmica de populações	• Introdução às relações ecológicas • Relações intraespecíficas • Relações interespecíficas • Dinâmica de populações • Sucessão ecológica
8 Ambientes e conservação	**1.** As ações do ser humano no ambiente	• A ação antrópica e os ambientes • O impacto humano sobre o ar • O impacto humano sobre a água • O impacto humano sobre o solo • Saneamento básico
	2. Ecossistemas brasileiros	• Os ambientes brasileiros • Ecossistemas aquáticos • Mata Atlântica • Floresta Amazônica • Cerrado • Caatinga • Pantanal • Pampa
	3. Conservação ambiental	• O que é conservação ambiental • Desenvolvimento sustentável • Estratégias de conservação ambiental • Unidades de Conservação • Acordos internacionais sobre meio ambiente • Tecnologia aplicada à conservação ambiental

QUADROS DE CONTEÚDOS DA COLEÇÃO

Volume de Física

Unidade	Capítulo	Conteúdos
1 Física e o estudo dos movimentos	**1.** Física, ciência da natureza	• Ciências da Natureza • Ciência, tecnologia e ética • Ciência e religião na sociedade • Modelagem de fenômenos
	2. Medidas	• Medidas no dia a dia • A importância das medições • Grandezas físicas e medidas • Representações de medidas
	3. Cinemática escalar	• Estudo do movimento • Conceitos iniciais • Movimento uniforme (MU) • Movimento uniformemente variado (MUV) • Movimento circular
2 Dinâmica	**1.** Forças e leis de Newton	• Causas e alterações nos movimentos • Interações e forças • Caracterização de uma força • A inércia e a primeira lei de Newton • O princípio fundamental da dinâmica e a segunda lei de Newton • Força peso ($\vec{P}$) • O princípio da ação e reação e a terceira lei de Newton • Força normal ($\vec{N}$) • Força de tração ($\vec{T}$) ou força tensora • Força de atrito • Aplicações das leis de Newton • Movimento no plano inclinado • Forças no movimento circular
	2. Energia e trabalho	• Usos comuns de energia e trabalho • A grandeza energia • Tipos de energia • Trabalho de uma força constante • Trabalho de uma força variável • Energia cinética • Energia potencial e forças conservativas • Energia mecânica • Sistemas não conservativos e forças dissipativas • Potência e rendimento
	3. Impulso e colisões	• Quantidade de movimento • Princípio da conservação da quantidade de movimento • Outro enunciado da segunda lei de Newton • Energia em colisões
	4. Bases da Mecânica celeste	• A evolução dos modelos cosmológicos • Os primeiros modelos cosmológicos • Modelo aristotélico • Modelo ptolomaico • Modelo copernicano • Leis do movimento planetário • Lei da gravitação universal • Movimento dos satélites artificiais
3 Estática	**1.** Torque	• Relação entre equilíbrio e força em corpos extensos • Torque • Relação entre o torque e a direção da força • Centro de massa • Alavancas • Forças em uma alavanca
	2. Estudo dos fluidos	• O que são fluidos • Grandezas básicas no estudo dos fluidos • Princípios básicos no estudo dos fluidos • Alguns fenômenos que envolvem fluidos líquidos
4 Física térmica	**1.** Temperatura e calor	• Calorimetria • Temperatura • Calor • Medidas de temperatura
	2. Consequências do calor	• O calor e a variação de temperatura • Capacidade térmica • Calor específico • Calor latente • Equilíbrio térmico e mudanças de estado • Dilatação e contração térmica
	3. Leis da Termodinâmica	• Um pouco sobre a Termodinâmica • A Termodinâmica e a Revolução Industrial • A primeira lei da Termodinâmica • A segunda lei da Termodinâmica • Ciclo de Carnot • Entropia • Máquinas térmicas • Combustíveis

Unidade	Capítulo	Conteúdos	
5 Luz, som e ondas	**1.** Óptica	• Reflexão da luz • Modelos para a luz • Fontes de luz • Tipos de reflexão da luz	• Espelhos • As cores dos objetos • Refração da luz
	2. Introdução às ondas	• Pulso e onda • Classificação e características das ondas • Ondas sonoras • Qualidades fisiológicas do som	
	3. Fenômenos ondulatórios	• Estudo dos fenômenos ondulatórios • Polarização da luz • Reflexão de uma onda • Refração de uma onda	• Difração de uma onda • Ressonância • Onda estacionária • Efeito Doppler
6 Eletricidade e magnetismo	**1.** Força elétrica e campo elétrico	• Eletricidade • Introdução à força elétrica • Força elétrica	• Campo elétrico • Energia potencial elétrica • Potencial elétrico
	2. Corrente elétrica e circuitos elétricos	• Corrente elétrica e condutividade em metais • Resistência elétrica e a primeira lei de Ohm • Resistividade elétrica e a segunda lei de Ohm • Eletricidade, resistência e choques elétricos • Potência elétrica • Resistência elétrica e efeito Joule	• Cálculo de consumo de energia elétrica • Associação de resistores • Circuitos residenciais • Geradores • Força eletromotriz
	3. Produção e consumo de energia elétrica	• Transformações de energia • Energia • Usinas hidrelétricas	• O caminho da energia: das usinas às residências • O problema da escassez mundial de energia
	4. Magnetismo e indução eletromagnética	• A importância das bússolas • Campo magnético • Campo magnético de correntes elétricas em fios retilíneos • Força magnética • A descoberta da indução eletromagnética • Fluxo magnético	• Lei de Faraday • Lei de Lenz • As ondas eletromagnéticas • O espectro eletromagnético • Computadores e Tecnologia da Informação (TI)
7 Física do "muito pequeno"	**1.** Estrutura da matéria	• Modelos atômicos • O átomo contemporâneo	
	2. Física quântica	• Fenômenos atômicos • O trabalho de Planck • O efeito fotoelétrico • A dualidade onda-partícula	• O princípio da incerteza • A descoberta do *spin* • A física das partículas elementares
	3. Física nuclear	• Medicina nuclear • A descoberta da radioatividade • Decaimento radioativo	• Efeitos biológicos da radiação ionizante • Alteração do núcleo atômico
8 Física do "muito grande"	**1.** Evolução da Terra	• A origem da Terra • A Terra primitiva • Os planetas do Sistema Solar • A estrutura da Terra	
	2. Estrelas	• Céu noturno • Escala de distância cósmica • Classificação das estrelas • O destino das estrelas	
	3. Teoria da relatividade	• Espaço curvo • Contexto histórico-científico	• Teoria da relatividade especial de Einstein • Teoria da relatividade geral de Einstein
	4. Modelo cosmológico padrão	• Universo em expansão • A geometria e a estrutura do Universo • A expansão do Universo	• O Big Bang • Modelo Cosmológico Padrão – ΛCDM

QUADROS DE CONTEÚDOS DA COLEÇÃO

Volume de Química

Unidade	Capítulo	Conteúdos
1 Química e estudo dos materiais	**1.** Química: objeto de estudo e aplicações	• Onde a Química está presente • Conhecimento químico • Química Verde: uma abordagem mais sustentável para a conservação ambiental
	2. Propriedades da matéria	• Medições • Massa • Volume • Densidade • Propriedades da matéria • Sistemas • Substâncias puras e misturas • Substâncias simples e substâncias compostas • Propriedades específicas dos materiais e separação de misturas
	3. Modelos atômicos e características dos átomos	• Aplicações dos raios X • Modelos atômicos de Dalton e Thomson • O modelo de Rutherford e as partículas fundamentais do átomo • Próton, nêutron e elétron • Número atômico • Isótopos • A reelaboração do modelo atômico de Rutherford • Espectros atômicos • O modelo atômico de Rutherford-Bohr • Distribuição eletrônica em camadas ou níveis de energia • Critérios para prever a distribuição eletrônica
	4. Ligações químicas	• Introdução ao estudo das ligações químicas • Substâncias iônicas, moleculares e metálicas • Ligação iônica • Ligação covalente • Ligação metálica • Fórmulas das substâncias moleculares: as representações de Lewis • Ligações simples, duplas e triplas • A polaridade das ligações e das moléculas • Geometria molecular e polaridade de moléculas • Estado físico das substâncias e as forças intermoleculares
2 O macro e o micro	**1.** Relações entre massas de átomos e moléculas	• O Modelo-Padrão e a massa dos átomos • Massa atômica • Isótopos e massa atômica • Massas moleculares
	2. Quantidade de matéria	• Quantidades de substâncias • A unidade mol • Relação entre mol, massa molar e constante de Avogadro
	3. Contando átomos e moléculas	• Reações químicas • Equações químicas • Balanceamento de equações • Tipos de fórmula • Cálculo estequiométrico • Reagente em excesso e reagente limitante • Reagentes impuros e rendimento de uma reação
3 O comportamento das substâncias	**1.** O comportamento dos gases	• Como os gases afetam a vida na Terra • Características dos gases • Transformações gasosas
	2. Funções inorgânicas	• Introdução às funções químicas • Funções inorgânicas • Ácidos • Bases • Óxidos • Sais
	3. Soluções e propriedades coligativas das soluções	• As diferentes propriedades de uma solução de sal de cozinha • As soluções • Relações entre a quantidade de soluto e a de solvente ou a de solução • Propriedades coligativas
4 Energia e transformações da matéria	**1.** Termoquímica	• A energia dos alimentos é química • Transformações exotérmicas e endotérmicas • Energia envolvida nas transformações • Poder calorífico de um combustível e calor de combustão • Entalpia e variação de entalpia de reação • Lei de Hess • Energia de ligação • Entalpia-padrão de formação (ΔH^0_f)
	2. Cinética química	• Rapidez das reações • Como as reações ocorrem • Fatores que alteram a rapidez das transformações químicas • Catalisadores

Unidade	Capítulo	Conteúdos
5 Eletroquímica	**1.** Contando elétrons	• Reações envolvendo transferência de elétrons • Reações de oxirredução • Número de oxidação (Nox) • Transferência de elétrons • Regras para determinação do Nox • Nox e as reações de oxirredução • Balanceamento de equações de oxirredução • Reações redox e produção de corrente elétrica • Espontaneidade das reações • Pilhas comerciais • Corrosão de metais: um exemplo de pilha • Proteção contra a corrosão
	2. Eletrólise	• Eletrólise: energia elétrica gerando transformações químicas • Eletrólise ígnea e eletrólise em solução aquosa • Comparação entre a eletrólise e o funcionamento das pilhas • Principais aplicações da eletrólise
6 Equilíbrios químicos	**1.** Estado de equilíbrio	• Reconhecendo os equilíbrios químicos • Equilíbrio químico • Constantes de equilíbrio • Cálculo das constantes de equilíbrio • Princípio de Le Châtelier
	2. Equilíbrios ácido-base	• Ácidos e bases no cotidiano • Ácidos e bases segundo a teoria de Arrhenius • Ácidos e bases segundo a teoria de Brönsted-Lowry • Constantes de ionização de ácidos e de dissociação de bases • Equilíbrio iônico e produto iônico da água • Determinação do pH • Indicadores ácido-base • Cálculo de pH de soluções de ácidos e bases • Titulação ácido-base • Sistema-tampão ou solução-tampão
	3. Equilíbrios em sistemas heterogêneos	• Equilíbrios heterogêneos • Solubilidade de gases em líquidos • Perturbação de equilíbrios heterogêneos • Produto de solubilidade (K_{PS})
7 A química da vida	**1.** Ciclos biogeoquímicos	• Introdução aos ciclos biogeoquímicos • Ciclo da água • Ciclo do carbono • Ciclo do oxigênio • Ciclo do nitrogênio
	2. Carbono e cadeias carbônicas	• A versatilidade do carbono • Introdução à química orgânica • O carbono e as ligações covalentes • Carbono e cadeias carbônicas • Algumas características dos compostos orgânicos
	3. Hidrocarbonetos	• Hidrocarbonetos e mudanças climáticas • Hidrocarbonetos • Petróleo: fonte de hidrocarbonetos • A queima de combustíveis fósseis e as mudanças climáticas • Carvão mineral: fonte de hidrocarbonetos aromáticos • Isomeria
	4. Funções orgânicas	• Introdução às funções orgânicas • Funções nitrogenadas • Funções halogenadas • Funções oxigenadas • Isomeria óptica
8 Química, sistema produtivo e meio ambiente	**1.** Reações químicas na natureza e no sistema produtivo	• Reações químicas e a obtenção de produtos • Processos de obtenção de alguns metais • Galvanoplastia • Reações que envolvem funções oxigenadas • Sabões
	2. Polímeros sintéticos	• Plásticos • Monômeros e polímeros • Tipos de polímeros • Reciclagem de materiais plásticos
	3. Gestão de resíduos: práticas e desafios	• Descarte adequado de resíduos perigosos: uma questão de saúde pública e ambiental • O que acontece com o lixo descartado • Os perigos do mercúrio: de Minamata ao Tapajós • A doença de Minamata • Perigos do mercúrio na mineração do ouro

BIBLIOGRAFIA COMENTADA E LEITURAS COMPLEMENTARES

André, C. F. O pensamento computacional como estratégia de aprendizagem, autoria digital e construção da cidadania. *TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, São Paulo, n. 18, p. 94-109, jul./dez. 2018. Disponível em: https://www.pucsp.br/pos/tidd/teccogs/artigos/2018/edicao_18/teccogs18_artigo05.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

O artigo discorre sobre o pensamento computacional como visão estratégica de aprendizagem, considerando a autoria digital e a perspectiva da cidadania, entre outros aspectos relacionados a esse tema.

Brasil. *Emenda constitucional n. 59, de 11 de novembro de 2009*. [...] dá nova redação aos incisos I e VII do art. 208, de forma a prever a obrigatoriedade do ensino de quatro a dezessete anos [...]. Brasília, DF: Presidência da República, [2009]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc59.htm. Acesso em: 18 ago. 2024.

A redação dos incisos prevê a obrigatoriedade do ensino para a faixa etária dos 4 aos 17 anos de idade e amplia a abrangência dos programas suplementares para todas as etapas da Educação Básica.

Brasil. Conselho Nacional de Educação Básica. Resolução n. 4/2009, de 2 de outubro de 2009. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, p. 17, 5 out. 2009. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rceb004_09.pdf. Acesso em: 11 set. 2024.

O documento estabelece as diretrizes para a organização e a prática do ensino nas escolas de Educação Básica. Ele visa orientar a formação de um currículo que atenda às necessidades educacionais dos estudantes e os prepare para uma participação ativa e crítica na sociedade.

Brasil. *Estatuto da Pessoa com Deficiência*. 3. ed. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2019. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/554329/estatuto_da_pessoa_com_deficiencia_3ed.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

O documento detalha a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei n. 13 146/2015), que estabelece uma série de direitos e garantias para pessoas com deficiência.

Brasil. *Lei n. 13 415, de 16 de fevereiro de 2017*. [...] institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, p. 1, 17 fev. 2017.

Brasil. *Lei n. 14 945, de 31 de julho de 2024*. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14945-31-julho-2024-796017-publicacaooriginal-172512-pl.html. Acesso em: 18 ago. 2024.

A lei estabelece a organização e a carga horária referentes à reforma do Ensino Médio.

Brasil. Ministério da Educação. Novo Ensino Médio. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/novo-ensino-medio-descontinuado/. Acesso em: 18 ago. 2024.

O portal do Ministério da Educação sobre o Novo Ensino Médio traz diversas informações, como o marco legal e as mudanças no Ensino Médio para estudantes, professores e gestores escolares, entre outras.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Base Nacional Comum Curricular*: educação é a base. Brasília, DF: MEC/SEB, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 18 ago. 2024.

A BNCC é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, incluindo o Ensino Médio.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional da Educação. Câmara Nacional de Educação Básica. *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*. Brasília, DF: MEC/SEB/Dicei, 2013. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curiculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 18 ago. 2024.

O documento oficial apresenta e justifica normas obrigatórias para a Educação Básica visando orientar o planejamento curricular das escolas e das redes de ensino no Brasil.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Conselho Nacional de Educação. *Base Nacional Comum Curricular*: Computação – complemento à BNCC. Brasília, DF: MEC/SEB, 2022. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/docman/fevereiro-2022-pdf/236791-anexo-ao-parecer-cneceb-n-2-2022-bncc-computacao/file. Acesso em: 18 ago. 2024.

O documento apresenta diretrizes específicas para a inclusão da área de Computação na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) da Educação Básica no Brasil.

Dayrell, J.; Carrano, P. Juventude e Ensino Médio: quem é este aluno que chega à escola. *In*: Dayrell, J.; Carrano, P.; Maia, C. L. (org.). *Juventude e Ensino Médio*: sujeitos e currículos em diálogo. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014. p. 101-133.

O artigo trata do currículo como um caminho para equilibrar saberes relevantes e projeto de vida, sem simplificar a experiência escolar, o que possibilita uma interlocução com os universos do trabalho, das tecnologias, da cultura, das artes e das ciências.

Gentile, P.; Bencini, R. Construindo competências: entrevista com Philippe Perrenoud, Universidade de Genebra. *Nova Escola*, p. 19-31, set. 2000.

Nessa entrevista, o sociólogo suíço Philippe Perrenoud, da Universidade de Genebra, aborda as competências e a educação.

Guedes, M. B. Espaços mentais, leitura e produção de resumos. *Veredas*: revista de estudos linguísticos, Juiz de Fora, v. 3, n. 2, p. 31-48, jul./dez. 1999.

O artigo apresenta uma investigação sobre estratégias de leitura e esquemas cognitivos ativados durante a leitura, verificando a atribuição de sentido ao texto.

Hoffmann, J. *Avaliação mediadora*: uma prática em construção da pré-escola à universidade. Porto Alegre: Educação & Realidade, 1993.

Neste livro, a autora explora pressupostos metodológicos relacionados à prática avaliativa mediadora, do Ensino Infantil ao Ensino Superior.

Hoffmann, J. *Avaliação, mito e desafio*: uma perspectiva construtivista. 16. ed. Porto Alegre: Educação & Realidade, 1995.

A obra aborda, por meio de exemplos reais, a ressignificação da avaliação como acompanhamento da construção do conhecimento dos estudantes.

Jiménez-Aleixandre, M. P.; Rodríguez, A. B.; Duschl, R. A. "Doing the lesson" or "doing science": argument in high school genetics ("Fazendo a lição" ou "fazendo ciência": argumento em genética do Ensino Médio). *Science Education*, Hoboken, v. 84, p. 757-792, 2000.

Neste artigo, os autores investigam a construção de argumentos em aulas de Ciências.

Kleiman, A. *Texto e leitor*: aspectos cognitivos da leitura. Campinas: Pontes, 2010.

O livro apresenta as teorias cognitivas relacionadas à interpretação de texto e explica como percepção, atenção, memória e inferência têm papel central na compreensão e na reflexão sobre o que se lê.

Metcalfe, J. Metacognitive processes. *In*: Bjork, E. L.; Bjork, R. A. (ed.). *The handbook of perception and cognition*: memory. San Diego: Academic Press, 1996. v. 10.

O capítulo discute o papel da metacognição na resolução de problemas e sua relação com o aprendizado e a memória.

Sasseron, L. H. ; Carvalho, A. M. P. de. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011. Disponível em: http://scielo.br/pdf/ciedu/v17n1/07.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

Nesse artigo, as autoras investigam os elementos em jogo na construção de um argumento, dando destaque aos aspectos estruturais da argumentação.

Tomazetti, E. M.; Schlickmann, V. Escola, Ensino Médio e juventude: a massificação de um sistema e a busca de sentido. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 331-342, abr./jun. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ep/v42n2/1517-9702-ep-42-2-0331.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.

O artigo problematiza o Ensino Médio, refletindo sobre a falta de sentido atribuída à escola em razão de mudanças sociais, culturais e políticas.

UNIDADE 1 FÍSICA E O ESTUDO DOS MOVIMENTOS

INTRODUÇÃO

Esta unidade é constituída de três capítulos. No capítulo 1, são abordados métodos e dimensões do conhecimento científico de modo geral e da Física em particular, como: as relações entre ciência, sociedade, tecnologia e ética; a natureza humana da construção da ciência e da tecnologia; e o modelo científico como elemento essencial na ciência. No capítulo 2, são tratadas as medições, com enfoque na problematização e sinalização de alguns elementos presentes no estudo da Física, a necessidade e os meios de realizar medições, a representação de grandezas físicas e a utilização adequada das unidades de medida, tanto na pesquisa científica como em atividades do cotidiano. No capítulo 3, estuda-se a descrição dos movimentos (Cinemática), com especial atenção para o movimento uniforme, o movimento uniformemente variado e o movimento circular.

A seção *Estudo de caso*, ao final da unidade, promove a reflexão sobre o projeto de vida, especialmente as possibilidades profissionais na área de Ciências da Natureza.

Os objetivos da unidade articulam-se a estes e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas competências como: **CGEB1** (valorizar o conhecimento historicamente construído), **CGEB2** (utilizar a abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar hipóteses e resolver problemas), **CGEB4** (compartilhar informações), **CGEB6** (apropriar-se de conhecimentos e experiências que possibilitem aos estudantes entender as relações próprias do mundo do trabalho). Também são desenvolvidas as competências e habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como a habilidade **EM13CNT301**, promovendo o uso de equipamentos de medição para representar e interpretar dados e resultados experimentais e construindo conclusões sob uma perspectiva científica.

Sugestão de planejamento

Separe momentos para ouvir as dúvidas e as curiosidades dos estudantes sobre Física e promova debates dirigidos para que eles possam participar ativamente do processo de aprendizagem. Incentive pesquisas e trabalhos em grupo a fim de desenvolver entre os estudantes a cooperação, o respeito e a autonomia na construção do conhecimento científico.

Um momento oportuno para explorar a interdisciplinaridade ocorre na seção *Ciência tem História*, ao promover a realização de pesquisa sobre a Revolta do quebra-quilos junto ao(à) professor(a) de História. Por fim, chame a atenção dos estudantes para a importância dos conceitos básicos, como o estudo das grandezas físicas e da introdução à Cinemática para a compreensão da linguagem científica.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Identificar fenômenos e teorias investigados pelas áreas das Ciências Naturais e reconhecer em quais delas o conhecimento físico é estruturado. • Reconhecer e apresentar exemplos da relação entre ciência e a tecnologia. • Entender que ciência e religião, cada uma a seu modo, tentam compreender e interpretar o mundo. • Reconhecer a importância do método científico.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CGEB6 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT201 EM13CNT301 EM13CNT302	Ciência e tecnologia
2	• Identificar processos de medição em situações do cotidiano e a necessidade de precisão nas medidas. • Compreender e utilizar adequadamente a notação científica com potências de base dez e a normatização de unidades dada pelo Sistema Internacional.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CECNTEM3	EM13CNT301	Ciência e tecnologia
3	• Entender as aplicações da Cinemática para analisar e prever características de corpos em movimento, como posição, velocidade e aceleração. • Ler, interpretar e fazer uso de diferentes linguagens para descrever, representar ou fazer previsões e cálculos envolvendo diferentes tipos de movimentos.	CGEB1 CGEB2 CGEB9 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT204 EM13CNT301 EM13CNT302	Ciência e tecnologia Educação para o trânsito
Fechamento da unidade	• Discutir e argumentar sobre as possibilidades de atuação profissional na área da Física e em outras ciências da Natureza.	CGEB6		Ciência e tecnologia Trabalho

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 12 E 13)

- Utilize a imagem da abertura da unidade e as *Questões para refletir* para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o que é Física e sobre como essa ciência está presente no cotidiano, especialmente no desenvolvimento de novas tecnologias, e aproveite para desenvolver o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Questões para refletir (página 12)

1. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é levar os estudantes a refletir sobre o mundo ao redor e perceber que a ciência busca entendê-lo e interpretá-lo, permitindo o desenvolvimento de novas tecnologias e melhorar a qualidade de vida das pessoas.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que essa compreensão permite ao corredor estimar sua velocidade, de modo a manter um ritmo constante para evitar esforço desnecessário e conseguir completar o percurso. Também permite saber os momentos em que precisa aumentar ou diminuir o ritmo
3. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes estimem uma velocidade entre 20 e 30 km/h.

CAPÍTULO 1 FÍSICA, CIÊNCIA DA NATUREZA (PÁGINA 14)

Ciências da Natureza (páginas 14 e 15)

- O propósito deste tópico é situar a Física no conjunto das Ciências Naturais, identificando aspectos comuns em relação à Química e à Biologia e suas especificidades. É importante que se procure conhecer a visão que os estudantes têm da figura do cientista, e suas concepções sobre: o que é ciência; o que a Física investiga e o que os físicos fazem em seu campo de trabalho; a influência da Física na sociedade humana; de que maneira a cultura contemporânea influencia essa área científica; quais são os benefícios e os riscos do conhecimento científico e tecnológico. Essa discussão pode ser feita mediante questionários, debates, representações teatrais, redações, desenhos, jogos ou outras estratégias que considerar pertinentes.

Ciência, tecnologia e ética (páginas 16 e 17)

- No boxe *Roteiro* (p. 16), procure motivar os estudantes a produzir textos completos nos quais manifestem opiniões próprias sobre a relação do desenvolvimento tecnológico e o mercado de consumo.
- As discussões sobre ética na ciência e sobre benefícios e riscos da aplicação de conhecimento científico devem ter como objetivo permitir questionamentos, que, muitas vezes, poderão criar oposições nos debates. Isso é saudável, pois propicia momentos de reflexão tanto em classe quanto posteriormente, quando os estudantes se defrontarem com situações reais nas quais a conduta ética esteja envolvida ou naquelas em que seja necessário se posicionar a respeito da ciência e da tecnologia.
- Chame a atenção dos estudantes sobre a tecnologia assistiva, a qual promove o desenvolvimento de recursos e serviços específicos para pessoas com deficiência, e que proporcionam a elas autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Ciência e religião na sociedade (página 17)

- Neste tópico é muito importante ressaltar que ciência e religião são conhecimentos diferentes e que todas as religiões devem ser respeitadas.
- Explore com os estudantes o objeto digital *Mulheres na ciência*, promovendo uma roda de conversa para que eles possam compartilhar com os colegas suas experiências e suas opiniões sobre a participação das mulheres na construção do conhecimento científico.

Modelagem de fenômenos (página 18)

- Avalie se os estudantes compreendem a importância de um método científico para a pesquisa científica. Sugerimos exemplificar o método científico, propondo-lhes, por exemplo, que escolham um fenômeno de seu cotidiano para investigar e que elaborem quais seriam as etapas do método científico para a investigação desse fenômeno. Aproveite para reforçar a existência de variados métodos científicos e que estes não são infalíveis.

Práticas de Ciências – Praticando o método científico (página 19)

- Nesta atividade prática, a intenção é proporcionar uma reflexão sobre ações que realizamos no cotidiano e às quais nem sempre percebemos que, intuitivamente, aplicamos etapas do método científico, como elaboração de hipóteses e experimentos. São promovidas as competências **CGEB2** e **CGEB6** e a habilidade **EM13CNT301**.
- Ressalte aos estudantes para que tenham cuidado ao manipular objetos que podem se quebrar, como a cuba de vidro.

Ciência tem história – História do método científico (página 20)

- Nesta seção, o objetivo é mostrar que a ciência é construída pelas pessoas, incluindo o método científico. Exploram-se, assim, a competência geral **CGEB1** e a habilidade **EM13CNT201**, ao discutir modelos propostos em diferentes épocas e cultura.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Divulgação científica (página 21)

- Esta seção propõe trabalhar a importância da divulgação científica para o desenvolvimento da sociedade como um todo, destacando a relação entre o conhecimento e o empoderamento da sociedade. As atividades propostas permitem desenvolver a análise textual, a inferência e, ainda, as competências gerais **CGEB2** e **CGEB4**. Explora-se também a habilidade **EM13CNT302**, ao discutir sobre como comunicar resultados científicos para públicos variados. Aproveite também para desenvolver o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia** e sua importância para pesquisas e divulgações científicas.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

A Física na mídia

Oriente os estudantes a pesquisarem em jornais e/ou redes sociais uma ou mais reportagens relacionadas à Física e a trazê-las para a sala de aula. Depois, que realizem o que se pede:

a) Identifiquem o tema tratado na matéria.

b) Identifiquem o autor.

c) Expliquem o título e, se houver, as imagens e as legendas.

d) Pesquisem os termos que eles não conhecem.

e) Anotem algumas perguntas que eles fariam ao/à autor(a).

FONTES COMPLEMENTARES

- Alves, R. *Filosofia da ciência*: introdução ao jogo e a suas regras. 19. ed. São Paulo: Loyola, 2000.

  Ao analisar as diferenças e as semelhanças entre as várias atividades do cotidiano de uma pessoa comum e as de um pesquisador, o autor vai extraindo as características do conhecimento científico. Além disso, aborda a questão de modelos, leis e teorias das ciências, traçando um paralelo entre as atividades de um pescador e as de um cientista.

- Feynman, R. P. *O que é uma lei física?* Lisboa: Gradiva, 1989.

  O livro apresenta um panorama do desenvolvimento das ciências físicas clássicas e modernas e uma reflexão sobre suas características comuns, oferecendo uma abordagem objetiva sobre as leis científicas.

- Ignotofsky, R. *As cientistas*: 50 mulheres que mudaram o mundo. São Paulo: Blucher, 2017.

  O livro apresenta a história de cientistas mulheres e a importância delas para o desenvolvimento da ciência. Caso considere oportuno, incentive a leitura pelos estudantes e realize um debate com eles, valorizando o respeito à pluralidade e à igualdade de direitos.

TEXTO COMPLEMENTAR

[...]

Desde uma simples demonstração do movimento pendular para alunos do nível básico ao cálculo da função de correlação de um campo quântico, o ensino da Física deve sempre expressar sua característica mais fundamental: Física é um processo de descoberta do mundo natural e de suas propriedades, uma apropriação desse mundo através de uma linguagem que nós, humanos, podemos compreender.[...] Mas é justamente aqui que o desafio pode ser transformado em bônus; um dos aspectos mais belos da ciência é ela ser capaz de explicar quantitativamente fenômenos observados. Então, o ensino da Física deve, necessariamente, conectar a visualização do fenômeno e sua expressão matemática. [...]

[...]

Gleiser, M. Por que ensinar Física? *Física na Escola*, v. 1, n. 1, 2000. Disponível em: https://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol01-Num1/artigo11.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Neste capítulo, a avaliação pode ser realizada com base nas atividades propostas ao longo do capítulo. Outra possibilidade é sugerir um trabalho em grupo seguindo a temática da atividade resolvida proposta na seção *Atividades*.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (página 22)

4. a) Os cientistas descobriram que certa radiação eletromagnética, com comprimentos de onda compreendidos entre 1 mm e 1 cm, faz vibrar as moléculas de água. Essa descoberta científica possibilitou uma invenção tecnológica: o forno de micro-ondas.

b) A ciência busca o entendimento dos fenômenos naturais, observáveis ou não, por meio de modelos. Em decorrência das pesquisas científicas desenvolvidas para o entendimento dos fenômenos, podemos ter novas descobertas, assim como as radiações de micro-ondas e de raios X, que muitas vezes possibilitam a construção de equipamentos úteis para a sociedade. Por exemplo, na medicina, os raios X podem ser utilizados nas análises de fraturas, e isso é tecnologia.

CAPÍTULO 2 MEDIDAS (PÁGINA 23)

A importância das medições (página 24)

- Para iniciar a abordagem deste tópico, você pode solicitar aos estudantes que elaborem uma lista de objetos ou de eventos do dia a dia em que sejam utilizadas grandezas e unidades de medida. Nessa lista, podem estar presentes, por exemplo: medidas cotidianas, como distância entre cidades; altura de uma pessoa; área de um terreno; consumo de energia elétrica, de água ou de gás de cozinha em uma residência; consumo de combustível de um automóvel; massa de um objeto; intervalos de tempo variados; velocidade de um automóvel; temperatura do ar; potência de um aparelho de som; voltagem de uma rede elétrica; população mundial. Em seguida, incentive os estudantes a refletir sobre a importância dessas medições.

Representações de medidas (páginas 26 a 28)

- Uma maneira de exemplificar a incerteza ou o erro nas medições é realizar uma mesma medição, a do comprimento de uma mesa, por exemplo, diversas vezes e por estudantes diferentes, utilizando-se o mesmo instrumento, como uma fita métrica ou trena. O conceito e a utilização de algarismos significativos ganham sentido quando se reconhece a incerteza das medições. Ou seja, é importante entender que a representação do valor de uma medida depende de fatores diversos, como o instrumento e a estratégia utilizada, desenvolvendo a habilidade **EM13CNT301**. Aproveite a atividade do boxe *Roteiro* (p. 25), para avaliar se os estudantes têm dificuldades na leitura de uma medida e na compreensão dos algarismos significativos.

SUGESTÃO DE AULA

- As potências de base dez são um tema pouco familiar e pouco frequente no vocabulário dos estudantes, ainda que eles já tenham visto essa forma de notação em livros e em materiais de divulgação científica. Sugerimos, portanto, planejar inicialmente uma aula com o(a) professor(a) de Matemática para trabalhar esse tema.

  A necessidade do uso de potências fica evidente quando são apresentados números muito grandes ou muito pequenos, como distâncias astronômicas ou dimensões atômicas. Proponha aos estudantes questões que envolvam essas grandezas e operações com potências de base dez.

Por fim, com o(a) professor(a) de Matemática, explore as regras matemáticas desse conteúdo conforme o que os estudantes já estudaram nesse componente curricular.

Ciência tem história – Revolta do quebra-quilos: a obrigatoriedade do uso do quilo resultou em desavença e conflitos (página 29)

- Nesta seção, a abordagem histórica possibilita trabalhar a competência geral **CGEB1**, além de retomar a discussão sobre o que representa a adoção de um sistema de unidades de medida padronizado nas situações vivenciadas no dia a dia.

Física e Biologia – Nanotecnologia e sociedade (páginas 30 e 31)

- Esta seção explora a competência geral **CGEB2** e o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia** e, com enfoque na nanotecnologia, exemplifica como essa nova área de pesquisa tecnológica multidisciplinar é importante para a sociedade, especialmente na área da saúde humana.
- Aproveite esse momento para planejar com o(a) professor(a) de Biologia uma aula expositiva que trate das funções fisiológicas do corpo humano e de como o diagnóstico de algumas doenças pode comprometer a condição do paciente.

Práticas de Ciências – Medindo volumes de corpos com forma irregular (página 32)

- Nesta atividade prática, propõe-se que os estudantes utilizem a linguagem científica com os algarismos significados, trabalhando, assim, a competência geral **CGEB4**.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Uma lista de grandezas

Oriente os estudantes a pensar em um período de seu cotidiano: dias, semanas ou meses. Depois, a identificar situações em que fazem uso de medidas de, no mínimo, cinco grandezas físicas diferentes. Por fim, peça que listem essas grandezas, suas unidades de medida e os instrumentos utilizados nessas medições, esclarecendo em quais delas a precisão da medida é importante e em quais pode haver estimativa ou aproximação.

FONTE COMPLEMENTAR

- Pietrocola, M. A Matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 1, p. 89-109, ago. 2002. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9297/8588. Acesso em: 15 set. 2024.

  O objetivo deste artigo é mostrar que existe uma relação complexa entre os componentes curriculares Física e Matemática, sendo o conhecimento matemático estruturante para o conhecimento físico. Essa relação apresenta profundas implicações para o ensino de Física.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- A atividade sugerida na seção *Atividade complementar* pode ser utilizada para avaliar a aprendizagem dos estudantes, assim como as questões propostas na seção *Práticas de ciências*.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Ciência tem história – Revolta do quebra-quilos: a obrigatoriedade do uso do quilo resultou em desavença e conflitos (página 29)

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes concordem com a afirmação e argumentem sobre a importância dessas medidas em situações vivenciadas cotidianamente, como comprar alimentos.
2. **a)** A Revolta do "quebra-quilos" estendeu-se apenas por estados do Nordeste brasileiro, como Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Rio Grande do Norte.

   b) A Revolta do "quebra-quilos" terminou com a implantação da medida do quilo, pois, com o crescimento da revolta, tropas do governo, armadas de baionetas e espingardas, chegaram por mar, a bordo do navio Werneck, vindas do Maranhão para o Rio Grande do Norte, e líderes passaram a ser perseguidos e processados. Alguns foram obrigados a restabelecer os novos pesos e medidas por eles destruídos nos mercados e feiras e indenizar os particulares pelo dano causado em seus estabelecimentos.
3. O fato de o Brasil ter adotado o Sistema Internacional de Unidades facilitou as negociações nacionais e internacionais, pois medidas que antes eram discutidas por terem variações agora são padronizadas e consideradas válidas, independentemente de limites territoriais. Isso aumentou a credibilidade nas negociações e deu mais segurança aos comerciantes.

Física e Biologia – Nanotecnologia e sociedade (páginas 30 e 31)

1. Os estudos em nanociências permitiram a criação de materiais com propriedades únicas e avanços em áreas como eletrônica, medicina e meio ambiente.
2. A nanomedicina pode ser usada para diagnósticos mais precisos, terapias direcionadas contra o câncer, entrega controlada de medicamentos e regeneração de tecidos.
3. A divulgação é importante para informar a sociedade sobre os benefícios e as implicações das tecnologias em escala nanométrica.

Práticas de Ciências – Medindo volumes de corpos com forma irregular (página 32)

1. **a)** O volume de água deslocado correspondeu ao volume da pedra.

   b) Obtém-se o volume do corpo (a pedra).
2. **a)** Quando um corpo flutua, uma parte desse corpo fica emersa e a outra parte fica submersa; portanto, seria medido o volume da parte submersa.

   b) A correspondência deveria ser feita levando em consideração as dimensões do corpo e o material, ou seja, o protótipo deveria ser construído em uma escala conhecida e com o mesmo material do corpo do qual se quer saber o volume. Como o volume é uma grandeza tridimensional, porém, não basta simplesmente calcular o volume do protótipo e multiplicar pela escala, pois se a escala for de 1:10, por exemplo, o que significa que o protótipo é 10 vezes menor, seu volume será 1 000 vezes menor, pois cada uma das três dimensões foi reduzida em 10 vezes.

   c) Caso o corpo seja oco e com alguma parte aberta, como um copo, por exemplo, se for colocado no recipiente com

a boca para baixo ele se encherá, e o volume de água deslocado não representará o volume do corpo incluindo sua parte interna, mas apenas o volume de suas paredes.

d) As respostas dependem dos dados obtidos pelos estudantes. Espera-se que eles encontrem um valor aproximado para o volume do corpo feito com massa de modelar de 1 cm^3 ou 1 mL e percebam que os valores de volumes dos objetos trabalhados nessa etapa podem variar, devido à imprecisão dos instrumentos de medição utilizados.

Atividades (página 33)

4. a) 3,4 km = 3 400 m

b) 2 000 mm = 2 m

c) 187 cm = 1,87 m

d) 0,008 mm = $8 \cdot 10^{-6}$ m

5. a) O período de translação da Lua em torno da Terra é aproximadamente $2{,}732 \cdot 10^1$ dias.

b) A população brasileira estimada em 2022 é aproximadamente $2{,}031 \cdot 10^8$ habitantes.

c) O diâmetro do vírus da hepatite B é aproximadamente $4{,}2 \cdot 10^{-8}$ m.

6. a) 0,2 kg = $0{,}2 \cdot 10^3$ g = $2 \cdot 10^2$ g

b) 200 mg = $200 \cdot 10^{-3}$ g = $2 \cdot 10^{-1}$ g

c) 25 000 kg = $25 \cdot 10^3$ kg = $25 \cdot 10^6$ g = $2{,}5 \cdot 10^7$ g

d) 379 kg = $379 \cdot 10^3$ g = $3{,}79 \cdot 10^5$ g

7. a) Para quantificar os alimentos citados, usamos como unidades de medida o quilograma (kg) para os alimentos sólidos e o litro (L) para os alimentos líquidos, e seus respectivos submúltiplos.

b) Se um grão de arroz tem massa de $20 \cdot 10^{-6}$ kg, o número n de grãos contidos em um saco de 1 kg é dado por:

$$n \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 1 \Rightarrow n = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow n = 0{,}05 \cdot 10^6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = 5 \cdot 10^4 \text{ grãos}$$

Portanto, um saco de 1 kg contém $5 \cdot 10^4$ grãos de arroz, ou seja, 50 000 grãos.

CAPÍTULO 3 CINEMÁTICA ESCALAR (PÁGINA 34)

- O estudo da Cinemática possibilita o contato dos estudantes com fenômenos e modelos físicos associados ao movimento dos corpos. Ao mesmo tempo, introduz as principais grandezas e unidades de medida e suas relações por meio de linguagens matemática e gráfica. Nesse sentido, trabalha-se a competência geral **CGEB1**, ao valorizar e utilizar conhecimentos historicamente construídos sobre Cinemática.
- As questões propostas na abertura do capítulo devem ser utilizadas para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre assuntos que serão abordados no capítulo. Paralelamente, é importante que se estabeleçam relações entre a vivência e os conhecimentos prévios dos estudantes ou o senso comum com os modelos da Física, para facilitar o reconhecimento, a descrição e a classificação de movimentos verificáveis no cotidiano.

Estudo do movimento (página 34)

- Apesar de a modelagem de movimentos exigir algumas equações, deve-se evitar que o estudo da Cinemática seja pautado exclusivamente pela álgebra e aborde apenas situações hipotéticas. De fato, algumas considerações utilizadas pela Cinemática não estão totalmente alinhadas aos resultados experimentais, porém, elas podem servir como primeira ferramenta para realizar previsões aproximadas.

Conceitos iniciais (páginas 35 a 37)

- No boxe *Ação e cidadania* (p. 37), explore com os estudantes o tema contemporâneo transversal **Educação para o trânsito**, da área Cidadania e civismo, promovendo a conscientização.

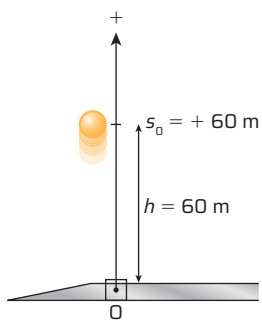
Movimento uniforme (MU) (páginas 38 a 43)

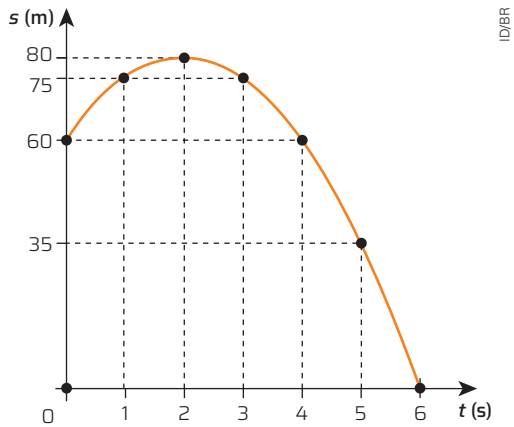
- Incentive os estudantes a pensar sobre o significado da expressão "movimento uniforme", perguntando: "O que é uniforme nesse movimento?" (R.: *A velocidade, que permanece constante*.); "Quais são as grandezas variáveis nesse movimento?" (R.: *A posição e os instantes*.). Depois, destaque o fato de, apesar de os movimentos uniformes serem raros no cotidiano, eles podem ser utilizados para previsões aproximadas.
- Identifique as classes gramaticais das palavras na expressão "movimento uniforme". (R.: *Substantivo e adjetivo*.). Em seguida, relacione a que propriedade esse adjetivo se direciona e qual seria seu adjetivo oposto (R.: *Velocidade e variado*.).
- Solicite aos estudantes que deem exemplos de movimentos que podem ser uniformes – um trem ou uma composição do metrô deslocando-se entre duas estações após finalizada a aceleração e antes do acionamento dos freios – ou peça que construam uma tabela em duas colunas com movimentos do dia a dia, classificando-os como uniformes ou não uniformes. Possibilidades de movimentos não uniformes: um trem ou uma composição de metrô aproximando-se da estação em que vai parar (após o acionamento dos freios); um ciclista saindo de uma superfície horizontal e começando uma descida ou uma subida, ou seja, casos em que há variação na velocidade.
- A atividade do boxe *Roteiro* (p. 38) trabalha os conceitos iniciais assim como a função horária espacial do movimento uniforme (MU). Dê tempo aos estudantes para que eles resolvam a atividade; depois, corrija-a no quadro. Verifique se as eventuais dificuldades evidenciadas pelos estudantes devem-se a conceitos de Matemática (ou seja, na resolução da função) ou de Física.
- Mostre aos estudantes como é possível encontrar as informações do gráfico sem que seja necessário recorrer a fórmulas e equações – por exemplo: como determinar se a velocidade é positiva ou negativa, se o deslocamento é a favor ou contra a orientação da trajetória, qual é o espaço inicial (s_0), etc.
- As atividades do boxe *Roteiro* (p. 42) trabalham a interpretação de gráficos. Sugerimos realizar antes a *Atividade resolvida* da página 43 como exemplo.

Movimento uniformemente variado (MUV) (páginas 43 a 49)

- Informe aos estudantes que nem todo movimento com variação de velocidade é um movimento uniformemente variado. Como exemplos de movimento com velocidade variável, cite o deslocamento de um ônibus ao longo de uma viagem (pois sua velocidade inicial é nula e se altera durante o trajeto). Aproveite para sugerir a atividade proposta no boxe *Ação e cidadania* que aborda o tacógrafo (p. 44).

- Incentive os estudantes a formular uma interpretação para o que seria um movimento uniformemente variado. (Sugestão de resposta: *Aquele em que a variação da intensidade da velocidade é constante, considerando-se intervalos de tempo iguais*.). Para auxiliá-los, faça perguntas como: "O que pode variar no MUV?" (R.: *O módulo da velocidade*.); "O que significa variar uniformemente?" (R.: *Significa que a velocidade varia de maneira constante, ou seja, de maneira uniforme*.); "Em se tratando de um movimento retilíneo, o que permanece constante no MUV?" (R.: *A variação da velocidade, que é sempre a mesma para o mesmo intervalo de tempo*.).
- No estudo da equação horária do MUV e de seu gráfico da posição em função do tempo, é interessante mostrar que a expressão e o gráfico da posição de um objeto em função do tempo permitem (em certas situações e em alguns problemas) prever sua localização em determinado momento.
- Apresente aos estudantes uma situação na qual um corpo é lançado verticalmente para cima, em uma trajetória orientada também para cima, como ilustrado no esquema a seguir por exemplo com velocidade inicial de 20 m/s, e solicite a eles que elaborem o gráfico de ($s \times t$). Com base nessa imagem, eles poderão determinar a função horária do movimento e chegar ao respectivo gráfico.





$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow s = 60 + 20t + \frac{(-10)t^2}{2} \Rightarrow s = 60 + 20t - 5t^2$$

Ressalte que esse gráfico representa uma parábola com a concavidade para baixo, pois o sinal do número que acompanha o termo quadrático – determinado pela aceleração – é negativo.

- É importante ficar claro para os estudantes que os valores positivos ou negativos de velocidades e acelerações e os correspondentes gráficos em função do tempo dependem, no primeiro caso, da orientação da trajetória e, no segundo caso, do fato de a velocidade ser crescente ou decrescente.
- Ao introduzir a equação de Torricelli (p. 47), avalie a pertinência de destacar que não se trata de "mais uma equação do movimento", mas, sim, da combinação de duas expressões básicas: da variação da posição e da variação da velocidade. Ressalte que a equação de Torricelli é útil para resolver problemas em que não se conhece a variável tempo. Ao abordar a equação elaborada por Torricelli, promove-se a competência **CGEB1**.
- As atividades do boxe *Atividades resolvidas* das páginas 48 e 49 trabalham a habilidade **EM13CNT204** de Ciências da Natureza, uma vez que abordam o movimento de corpos na Terra devido a interações gravitacionais.
- Para auxiliar os estudantes a determinar a expressão algébrica mais apropriada em função de variáveis conhecidas e desconhecidas, sugerimos trabalhar o boxe *Física e Educação digital* (p. 49) em colaboração com o(a) professor(a) de Educação digital ou com o(a) professor(a) de Matemática. As atividades propostas neste boxe permitem desenvolver a competência geral **CGEB2** e a habilidade **EM13CNT302**, ao propor a interpretação de gráficos, de tabelas, de símbolos e de códigos e equações, por meio de diferentes linguagens e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), e o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.

Movimento circular (páginas 50 a 52)

- Ressalte aos estudantes que o movimento circular uniforme é o caso particular mais simples dos movimentos circulares. Por isso, definidas e compreendidas as grandezas desse movimento, sua interpretação e sua análise podem facilmente ser apreendidas e utilizadas.
- A equação horária e os gráficos do movimento circular podem ser apresentados para se estabelecer a relação com o movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV). Aproveite as *Atividades resolvidas* da página 52 para explorar as relações entre as grandezas lineares e angulares.

Práticas de Ciências – Investigação do movimento circular uniforme (página 53)

- Nesta prática, pretende-se tornar os estudantes mais familiarizados com as grandezas envolvidas no estudo do movimento circular, como período, frequência e velocidade angular, por exemplo. Além disso, a atividade promove a competência geral **CGEB9**, ao fomentar o diálogo e a cooperação, e a habilidade **EM13CNT301**, ao determinar o emprego de instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos.
- Embora esta prática apresente baixo risco em sua realização, é sempre bom advertir os estudantes sobre a possibilidade de ocorrerem acidentes. Peça-lhes que, se possível, utilizem luvas de proteção.
- Uma alternativa na escolha de materiais para a realização desta prática é trocar a roda de bicicleta por outro objeto giratório – por exemplo, um catavento.

FONTE COMPLEMENTAR

- Oliveira, L. D. de. Aprendendo Física com o Homem-aranha: utilizando cenas do filme para discutir conceitos de Física no

Ensino Médio. Revista *Física na Escola*, v. 7, n. 2, p. 79-83, 2006. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a16.pdf. Acesso em: 12 ago. 2024.

Análise e discussão do filme *Homem-aranha* (Direção: Sam Raimi. Estados Unidos, 2002, 121 min), com sugestões de abordagem de algumas cenas para introduzir conceitos de Mecânica no Ensino Médio.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Movimentos circulares no cotidiano

Organizados em grupos, os estudantes devem fazer um levantamento de movimentos circulares comuns no cotidiano ou no Universo (a rotação da Terra, a órbita de um planeta, a órbita de um satélite, etc.), em fenômenos naturais ou em sistemas tecnológicos (por exemplo, o movimento dos ponteiros de um relógio, das pás de um ventilador, de uma roda de bicicleta, de uma roda-gigante, etc.).

1. Selecionem um ou mais movimentos que tenham sido elencados e façam o que se pede a seguir.

a) Estimem a ordem de grandeza de raios, períodos, frequências e velocidades escalares e angulares.

Pode-se trabalhar com os estudantes o significado de "estimar o valor de uma grandeza" e como isso deve ser feito.

b) Pesquisem valores conhecidos de raios e períodos para calcular a frequência e a velocidade do(s) movimento(s) selecionado(s).

É interessante propor aos estudantes não apenas que comparem os valores estimados com os valores conhecidos, mas também que sugiram hipóteses para as diferenças que, eventualmente, encontrarem.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- As atividades propostas nos boxes *Roteiro* ao longo do capítulo podem servir como avaliação formativa. Esse tipo de avaliação pode gerar informações úteis sobre etapas vencidas e dificuldades encontradas. A seção *Atividades* também pode auxiliar na identificação de pontos de dificuldade dos estudantes.
- A indicação de pesquisas sobre os temas trabalhados, seguidas da realização de resenhas ou de resumos pelos estudantes, é uma forma de complementar o aprendizado e avaliar pontos frágeis. Seminários, jogos, dramatizações e histórias em quadrinhos são também recursos lúdicos que podem ser aproveitados como instrumentos de avaliação.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 38)

2. A posição inicial do esqueitista em relação à bandeira é $S_0 = 10$ m. A velocidade do esquiador é 4 m/s. Assim:

$S = S_0 + v \cdot t \Rightarrow S = 10 + 4 \cdot t$

Roteiro (página 42)

3. Analisando o gráfico, podemos concluir que se trata de um movimento retilíneo uniforme, com posição inicial na origem e velocidade constante de 10 m/s. A equação horária é dada por: $s = 0 + 10 \cdot t$

Para sabermos a distância do corpo no instante $t = 10$ s, podemos substituir o tempo na função horária do corpo:

$s = 0 + 10 \cdot 10 \Rightarrow s = 100$ m

4. O deslocamento escalar será numericamente igual à área do retângulo mostrada no gráfico.

área $= b \cdot h = 3 \cdot 3 \Rightarrow$ área $= 9$. Logo: $\Delta s = 9$ cm.

Roteiro (página 48)

5. a) De acordo com o gráfico, o módulo da velocidade varia em relação ao tempo, portanto, o movimento é denominado variado (MUV).

b) Usando a definição de aceleração para os valores obtidos do gráfico entre os instantes 0 s e 6 s, teremos:

$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{18 - 0}{6} = 3$ m/s²

Do mesmo modo, teremos entre os instantes 6 s e 12 s:

$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 18}{6} = -3$ m/s²

c) Observando o gráfico, notamos que, entre os instantes 0 s e 6 s, o movimento do automóvel é uniformemente variado, com aceleração constante de 3 m/s². Assim, podemos obter a função horária da velocidade nesse trecho do movimento. Lembrando que a velocidade inicial é nula, temos:

$v = v_0 + at \Rightarrow v = 3t$

Substituindo $t = 2$ s na função obtida, temos:

$v = 3t \Rightarrow v = 3 \cdot 2 \Rightarrow v = 6$ m/s

d) Nesse caso, a distância percorrida coincide com o deslocamento escalar, que é numericamente igual à área delimitada entre a curva e o eixo do tempo. A figura representada no gráfico é um triângulo, e sua área é dada por:

$A = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{12 \cdot 18}{2} = 108$. Logo, $\Delta s = 108$ m.

Práticas de Ciências – Investigação do movimento circular uniforme (página 53)

3. Cada grupo deve fazer a análise dos resultados que obteve e destacar qual deles chamou mais a atenção. Assim, a resposta pode variar. Algumas possíveis respostas: altos valores das velocidades escalares ou das frequências obtidas. O momento de divulgação dos resultados é importante para que os grupos comparem seus dados e suas respostas. Motive os estudantes a refletir sobre as possíveis causas de diferença entre os valores experimentais obtidos, como incertezas na leitura ou na marcação dos pontos, diferenças no impulso inicial dado à roda, entre outras.

Atividades (páginas 54 e 55)

2. a) O motorista gastou 30 L de gasolina na viagem, e, segundo o enunciado, o veículo consumiu 1 L de gasolina a cada 10 km. Assim, para calcular o tempo de viagem, temos:

$v_m = \frac{\Delta s}{t} \Rightarrow 60 = \frac{30 \cdot 10}{t} \Rightarrow t = \frac{300}{60} \Rightarrow t = 5$ h

b) Segundo o enunciado, o veículo consumiu 1 L de gasolina a cada 10 km. Então, com 50 litros, temos:

$\Delta s = 50 \cdot 10 \Rightarrow \Delta s = 500$ km

c) Se o automóvel atual consome 1 L de gasolina a cada 10 km, um carro que consuma 20% a mais de combustível consumirá 1,2 L em 10 km. Assim:

$\Delta s = \frac{50 \cdot 10}{1{,}2} \Rightarrow \Delta s \cong 417$ km

d) Resposta pessoal. Compartilhe os argumentos apresentados pelos estudantes e favoreça o debate em torno do tema proposto.

3. Considerando tratar-se de um movimento retilíneo uniforme e tomando como origem o ponto de queda do raio, temos:

$s = 0 + 340 \cdot t$

a) Substituindo na função horária, temos:

$s = 0 + 340 \cdot 3 \Rightarrow s = 1020$ m

b) Novamente, substituindo na função horária, temos:

$2040 = 0 + 340 \cdot t \Rightarrow t = 6$ s

4. a) Sabemos que 80 km/h ≅ 22,22 m/s.

A distância será:

$\Delta s = v \cdot \Delta t \cong 22{,}22 \cdot 0{,}75 \Rightarrow \Delta s \cong 16{,}67$ m

b) É preciso considerar a distância de reação e a distância de frenagem. A distância de reação já foi calculada, 16,67 m. Estimando que, em boas condições de estrada, o carro tenha uma aceleração de aproximadamente -8 m/s², podemos estimar uma distância de frenagem de cerca de 30 m. Portanto, a distância segura é de cerca de 47 metros.

c) Os valores encontrados podem variar conforme a fonte utilizada. Deve-se levar em consideração que fontes como artigos científicos costumam ser mais precisas, enquanto fontes que abrangem o assunto de modo geral apresentam valores mais simples (arredondados). Valores encontrados na internet sugerem que esse tempo é em média igual a 2 s.

d) Considerando o tempo de reação de 2 segundos, temos:

$\Delta s = v \cdot \Delta t = 22{,}22 \cdot 2 = 44{,}4$ m

e) Essa é a Lei chamada de Lei Seca, porque estabelece a tolerância zero ao consumo de bebidas alcoólicas por motoristas. Espera-se que os estudantes respondam que essa lei é importante para diminuir o número de acidentes no trânsito.

5. a) O movimento é variado (MUV), já que a velocidade da espaçonave varia de maneira uniforme.

b) A aceleração da espaçonave é igual a 160 km/h/dia.

c) Podemos calcular a velocidade com a função horária da velocidade:

$v = V_0 + a \cdot t = 0 + 160 \cdot 30 \Rightarrow v = 4800$ km/h

6. a) Podemos observar na tabela e na figura da representação artística do Sistema Solar que, quanto maior for a distância do planeta ao Sol, maior será seu período, e vice-versa. Como exemplo temos Mercúrio, planeta mais próximo do Sol, cujo período é de 0,24 ano terrestre. O próximo planeta é Vênus, cujo período é de 0,62 ano terrestre.

b) Como o período de Júpiter é 11,86 anos terrestres:

$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{11{,}86} = 0{,}084 \Rightarrow f = 0{,}084$ volta/ano

c) Para encontrar esse valor, temos de dividir o período de Netuno pelo período de Urano:

$\frac{T_{Netuno}}{T_{Urano}} = \frac{164{,}80}{84{,}01} = 1{,}96$

Esse valor indica que, enquanto Netuno completa uma volta ao redor do Sol, Urano completa aproximadamente 2 voltas.

7. a) A velocidade angular, pois todos os pontos têm seu deslocamento angular igual.

b) Como a velocidade escalar é diretamente proporcional ao raio, quanto maior for o raio, maior será a velocidade escalar. Na linha do Equador, o raio é maior do que no ponto **A** da figura. Portanto, na linha do Equador, a velocidade escalar é maior do que no ponto **A**.

c) Os pontos que estão cada vez mais próximos da linha do Equador têm maiores velocidades; dessa forma, o ganho de energia relativo à velocidade tangencial proporcionada pela Terra é maior, facilitando o lançamento de foguetes.

d) A velocidade escalar de um ponto na linha do Equador pode ser obtida substituindo-se os valores na função:

$v = \omega \cdot r = \frac{2\pi}{T} \cdot r = \frac{2\pi}{24} \cdot 6400 \cong 1675 \Rightarrow v \cong 1675$ km/h

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 56 E 57)

Estudo de caso: Física e projeto de vida (páginas 56 e 57)

- Nesta seção, desenvolvem-se a competência **CGEB6**, ao levar os estudantes a apropriar-se de conhecimentos e experiências que possibilitem a eles entender relações próprias do mundo do trabalho, na área de Ciências da Natureza e de forma mais específica na Física, e os temas contemporâneos transversais **Ciência e tecnologia** e **Trabalho**, da área Economia.
- Como atividade complementar, sugerimos a realização de entrevistas com profissionais de diferentes áreas de atuação ou a visita guiada a escola, centro de pesquisa, empresa ou indústria para conhecer o dia a dia desses profissionais.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Estudo de caso – Física e projeto de vida (páginas 56 e 57)

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes se identifiquem com alguma das profissões representadas pelos colegas e justifiquem comentando quais características dessa profissão lhes chamaram a atenção.

2. Resposta pessoal. Espera-se que pelo menos alguns estudantes se surpreendam com a variedade de possibilidades de atuação de um profissional da área da Física.

3. Resposta pessoal. Espera-se que alguns estudantes não percebam de forma imediata a importância da ciência, mas, você, professor(a), pode ressaltar que muitas mudanças no mercado de trabalho estão relacionadas com os avanços científicos.

Questões globais (páginas 58 a 61)

1. Alternativa **c**. O segundo é a única unidade de tempo entre as alternativas.

2. Alternativa **c**. Temos que: 1 micrômetro $= \frac{1}{1\,000\,000} = 10^{-6}$ m, sendo o comprimento da miniatura de 100 micrômetros $= 10^2 \cdot 10^{-6} = 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ m.

3. Alternativa **c**. Temos que o paquímetro A pode indicar variações mínimas de 0,02 mm. Usando-o para medir o diâmetro do primeiro eixo, de diâmetro nominal de 11,0 mm, são possíveis medidas de 11,02 mm; 11,04 mm; 11,06 mm, sucessivamente. Já o paquímetro B pode indicar variações mínimas de comprimento de 0,05mm. Logo, usando esse paquímetro para medir o diâmetro do segundo eixo, são possíveis as medidas de 12,50 mm; 12,55 mm; 12,60 mm, sucessivamente. Assim, a combinação possível para as duas medidas é 11,04 mm para o paquímetro A e 12,55 mm para o paquímetro B.

4. Alternativa **b**. O parâmetro EC é:

$EC = \frac{V}{t \cdot m} \Rightarrow [EC] = \frac{\text{mL}}{\text{min} \cdot \text{kg}}$.

5. Alternativa **d**. Como o movimento é uniforme e a velocidade é constante: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{5 \cdot 10^{12}}{3 \cdot 10^{8}} \simeq 1,7 \cdot 10^{4}$ s

6. Alternativa **c**. O tempo gasto é 4 dias de 24 horas, ou seja, 96 horas. Assim:
$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{864}{96} = 9$ km/h

7. Alternativa **b**. Calculando o tempo de viagem do carro e depois o do caminhão, temos:
Carro: $\Delta t_{car} = \frac{\Delta s}{v} + \Delta t_{parada} \Rightarrow \Delta t_{car} = \frac{480}{100} + 10 \cdot \frac{3}{60} = 5,3$ h
Caminhão: $\Delta t_{cam} = \frac{\Delta s}{v} \Rightarrow \Delta t_{cam} = \frac{480}{80} = 6,0$ h
Agora, vamos calcular a diferença entre os tempos do caminhão e do carro e converter para minutos: $\Delta t = 6,0 - 5,3 = 0,7$ h $\Rightarrow \Delta t = 0,7 \cdot 60 = 42$ min.

8. Soma das alternativas corretas: 01 + 04 = 05. O item 02 é falso, porque a ciência não é construída pelo acaso. O item 08 é incorreto, porque o conhecimento científico não se obtém pelo senso comum.

9. Soma das alternativas corretas: 02 + 08 = 10. O item 01 é incorreto, porque o método científico não está fundamentado na subjetividade do cientista. O item 04 é incorreto, porque o método científico não se baseia em hábitos ou tradições, mas em fatos e experiências. E o 16 está incorreto devido à afirmação de que o método científico é determinado pela mitologia e imaginação humana.

10. Alternativa **b**. 1. (V) Para as sete unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades foram escolhidas sete constantes da natureza; 2. (F) Como já visto, as constantes são sete; 4. (V) A unidade kg, atualmente, é definida a partir da constante de Planck. 8. (F) A unidade coulomb não é uma das unidades básicas do SI, mas, sim, o ampere (A).

11. Alternativa **d**. Temos os seguintes dados: $v_0 = 0$; $v = 72$ km/h $= 20$ m/s (dividimos por 3,6); a = 1m/s². Assim, $v = v_0 + at \Rightarrow 20 = 0 + 1t \Rightarrow t = 20$ s (tempo em que o carro está em movimento acelerado). Nesse tempo, o veículo percorre uma distância dada por: $\Delta s = \frac{at^2}{2} = \frac{1 \cdot 20^2}{2} = 200$ m. Depois, o veículo segue em movimento uniforme com $v = 20$ m/s até o semáforo A, mais 200 m de distância: $\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{200}{20} = 10$ s
Portanto, o semáforo A precisa abrir em: 20 s + 10 s = 30 s. O tempo de percurso entre os semáforos A até B e até C, é dado por: $\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{500}{20} = 25$ s
Assim, o semáforo B precisa abrir em 30 s + 25 s = 55 s e o semáforo C em, 55 s + 25 s = 80 s.

12. Alternativa **c**. Trecho 1: $v\,(20\text{ s}) = v_0 + a_1 \cdot t_1 \Rightarrow v\,(20\text{ s}) = 0 + 1,5 \cdot (20 - 0) \Rightarrow v\,(20\text{ s}) = 30$ m/s; Trecho 2: $v\,(60\text{ s}) = v_{20} + a_2 \cdot t_2 \Rightarrow v\,(60\text{ s}) = 30 - 0,5 \cdot (60 - 20) \Rightarrow v\,(60\text{ s}) = 10$ m/s.

13. Alternativa **a**. A curva precisa ser crescente com concavidade para baixo, porque a posição aumenta com o tempo de forma não linear, já que a taxa de variação diminui com o tempo.

14. Alternativa **d**. No trecho 1, temos um MUV, portanto, a aceleração é constante (uma reta); a velocidade, uma reta crescente; e a posição, uma parábola com concavidade para cima. Já no trecho 2, tem-se um MU, a aceleração é nula sendo uma reta sobre o eixo *t*; a velocidade é uma reta na horizontal, acima do eixo *t*; e a posição é uma reta inclinada. No trecho 3, tem-se uma composição dos movimentos MU e MUV com aceleração negativa; o gráfico da aceleração é uma reta na horizontal, abaixo do eixo *t*; a velocidade deve ser uma reta decrescente; e a posição, uma parábola com concavidade para baixo. No trecho 4, o movimento é retardado e retrógrado, portanto, a aceleração é menor que zero, mas com a velocidade aumentando com o tempo; a reta é inclinada e crescente e a posição, uma parábola com concavidade para cima.

15. Alternativa **a**. O tempo total de trabalho, em um ano, é de 1 000 h, e o tempo em fase de cruzeiro, no qual é feita a medição da dose média de radiação, é 80% de 1 000 h, logo, 800 h. Assim, (1 h)/(800 h) = (2 μSv)/D → D = 1 600 μSv. Considerando a radiação torácica, temos: d = 0,2 mSv = $= 0,2 \cdot 10^3$ μSv = 200 μv.
Logo, para o cálculo do número de radiografias: $D = n \cdot d \Rightarrow n = D/d = 1600/200 \Rightarrow n = 8$.

16. Alternativa **e**. Usando a equação de Torricelli, temos:
$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow v^2 = 30^2 + 2 \cdot (-5) \cdot 50 = 900 - 500 = 400 \Rightarrow v = \sqrt{400} = 20$ m/s = 72 km/h

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**UEL-PR**)

> As experiências e erros do cientista consistem de hipóteses. Ele as formula em palavras, e muitas vezes por escrito. Pode então tentar encontrar brechas em qualquer uma dessas hipóteses, criticando-a experimentalmente, ajudado por seus colegas cientistas, que ficarão deleitados se puderem encontrar uma brecha nela. Se a hipótese não suportar essas críticas e esses testes pelo menos tão bem quanto suas concorrentes, será eliminada.
>
> Popper, Karl. *Conhecimento objetivo*. Trad. de Milton Amado. São Paulo: Edusp & Itatiaia, 1975. p. 226.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre ciência e método científico, é **correto** afirmar:

a) O método científico implica a possibilidade constante de refutações teóricas por meio de experimentos cruciais.

b) A crítica no meio científico significa o fracasso do cientista que formulou hipóteses incorretas.

c) O conflito de hipóteses científicas deve ser resolvido por quem as formulou, sem ajuda de outros cientistas.

d) O método crítico consiste em impedir que as hipóteses científicas tenham brechas.

e) A atitude crítica é um empecilho para o progresso científico.

Alternativa **a**. No método científico a experimentação pode refutar ou ajudar a validar uma hipótese ou teoria.

2. (UFRN) O coração de uma pessoa bate, em média, 70 vezes a cada minuto. Se ela viver 80 anos, o número de vezes que o seu coração terá batido será da ordem de:

a) 10^5 **b)** 10^7 **c)** 10^9 **d)** 10^{11}

Alternativa **c**. Considerando que cada ano tem 365 dias e que cada dia tem 1 440 min, temos: $365 \cdot 1\,440$ min $\approx 5 \cdot 10^5$ min.
Esse valor multiplicado pelo número de batimentos por minuto: $5 \cdot 10^5 \cdot 70 = 3,5 \cdot 10^7$ vezes.

2 DINÂMICA

INTRODUÇÃO

O capítulo 1 desta unidade é dedicado ao estudo dos movimentos, com a introdução dos fatores que causam e/ou transformam os movimentos dos corpos. No capítulo 2, o conceito de energia é aplicado às modalidades cinética, potencial e mecânica; desenvolvem-se os fundamentos da conservação da energia, do trabalho de uma força, potência e rendimento. No capítulo 3, a quantidade de movimento é um conceito importante para entender o outro enunciado da segunda lei de Newton, as variáveis que atuam nas colisões e as consequências desses impactos. O capítulo 4 aborda o estudo da gravitação, inicia com uma rápida retomada dos primeiros modelos cosmológicos e segue com as reformulações dos modelos científicos.

Os objetivos se articulam a estes e outros contextos e abordagens e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas competências como a **CGEB1** (valorizar o conhecimento historicamente construído), **CGEB2** (exercitar a curiosidade intelectual, recorrer à abordagem própria das ciências para investigar causas, elaborar e testar hipóteses e resolver problemas), **CGEB4** (utilizar a linguagem matemática e científica para se expressar e partilhar informações, experiências e ideias), **CGEB7** (argumentar com base em dados, fatos e informações confiáveis) e **CGEB10** (agir com responsabilidade para tomar decisões com base em princípios sustentáveis) e habilidades como a **EM13CNT204, EM13CNT301** e **EM13CNT303.**

Sugestão de planejamento

Em seu planejamento, considere que alguns estudantes podem ter dificuldade com notação vetorial e conceitos mais abstratos, como energia e quantidade de movimento. Para auxiliar esses estudantes, indicamos que insira, em seu planejamento, uma retomada dos principais conceitos no início de cada aula e momentos de orientação e motivação para que os estudantes elaborem mapas conceituais e esquemas das situações físicas estudadas, como diagramas de corpo livre. Nesta unidade no capítulo 4, no tópico "Os primeiros modelos cosmológicos", indicamos programar momentos de trabalho interdisciplinar com o(a) professor(a) de História, para explorar os contextos de cosmovisões e arqueoastronomias maias, incas e indígenas brasileiras.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Compreender a força como interação entre corpos e seus efeitos sobre os movimentos. • Conceituar força de acordo com as leis de Newton e aplicar esses conceitos na resolução de situações-problema. • Compreender que a força pode causar alteração no estado de movimento de um corpo ou sua deformação. • Entender o caráter vetorial da força e da força resultante.	CGEB1 CGEB2 CGEB7 CGEB9 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT204 EM13CNT303 EM13CNT306	Educação para o trânsito
2	• Compreender os conceitos de energia cinética e potencial, reconhecendo as transformações de energia. • Compreender o conceito de trabalho e relacionar o trabalho de uma força à variação da energia cinética. • Reconhecer sistemas conservativos e não conservativos. • Quantificar transformações de energia, avaliar a potência e o rendimento.	CGEB1 CGEB2 CGEB7 CGEB10 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT106 EM13CNT301 EM13CNT303 EM13CNT306	Educação para o consumo
3	• Compreender e aplicar o conceito de quantidade de movimento e a conservação da quantidade de movimento. • Entender o conceito de impulso, associando-o à variação da quantidade de movimento. • Perceber e diferenciar colisões elásticas e inelásticas. • Reconhecer mecanismos de controle de movimentos na prevenção de acidentes.	CGEB2 CGEB4 CGEB7 CGEB8 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT301 EM13CNT303 EM13CNT306	Educação para o trânsito
4	• Perceber o desenvolvimento histórico dos modelos de Universo. • Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos dos objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo. • Perceber que a tecnologia melhora a qualidade de vida, mas também traz efeitos que podem ser negativos.	CGEB1 CGEB5 CGEB7 CGEB9 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT201 EM13CNT204 EM13CNT303	Ciência e tecnologia
Fechamento da unidade	• Propor um algoritmo para avaliar a segurança de um carro.	CGEB7 CGEB9 CGEB10 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT301 EM13CNT303 EM13CNT306	Educação para o trânsito

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 62 E 63)

- Explorando a imagem do lançamento de um foguete, pergunte aos estudantes: Como é possível realizar esse tipo de movimento? Proporcione um momento de conversa em que os estudantes possam expor suas experiências de lançar algum objeto, como em um jogo de vôlei ou futebol, e seus conhecimentos prévios sobre o tema. Questione quais são as dificuldades em lançar um objeto ao espaço. Durante essa conversa, verifique se os estudantes utilizam palavras como "força", "impulso", "energia" e "gravidade", e, à medida que esses termos forem surgindo, você pode anotá-los na lousa e comentar que suas definições serão trabalhadas ao longo dessa unidade.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Questões para refletir (página 62)

1. Resposta pessoal. Os estudantes podem citar movimentos como a locomoção no trajeto entre a casa e a escola e movimentos dos membros do corpo (como flexões e extensões de braços e pernas ou rotações dos ombros ou pescoço). Espera-se que eles percebam que um movimento é alterado quando alguma força age sobre o objeto que está em movimento.
2. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes respondam que existem forças que atuam em corpos localizados na órbita terrestre, mantendo-os em uma trajetória ao redor do planeta.
3. Resposta pessoal. O objetivo desta questão é que os estudantes reflitam sobre como o conhecimento científico, aliado ao desenvolvimento de novas tecnologias, como a espacial, impacta positivamente a qualidade de vida das pessoas. Essas inovações não só atendem às necessidades do dia a dia, mas também impulsionam avanços em áreas como a medicina. Por exemplo: os monitores hospitalares foram desenvolvidos a partir de tecnologias criadas para enviar à Terra dados sobre a saúde dos astronautas. Instituições e empresas têm investido significativamente nesse tipo de estudo, permitindo a evolução de tecnologias aplicáveis a diversas áreas da sociedade.

CAPÍTULO 1 FORÇAS E LEIS DE NEWTON (PÁGINA 64)

Causas e alterações nos movimentos (página 64)

- As questões propostas na abertura do capítulo podem ser utilizadas para levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre alguns assuntos que serão abordados no capítulo. Esses conceitos que serão trabalhados promovem o desenvolvimento da competência geral **CGEB1** ao valorizar e utilizar conhecimentos historicamente construídos relacionados ao estudo dos movimentos.

Interações e forças (página 65)

- Após o levantamento das concepções espontâneas dos estudantes na atividade do boxe *Roteiro*, cabe uma pergunta central que vai provocar uma importante reflexão: Existe de fato o que chamamos de força? Falamos em "aplicar força", "fazer força", "produzir força", mas onde a força fica armazenada e como é criada? A ideia é levar os estudantes a concluir que não há respostas a essas perguntas pela simples razão de que o fenômeno força não tem existência real, mas é um modelo construído com o intuito de elaborar uma explicação para o que de fato ocorre na natureza: as interações entre os corpos percebidas em ações comuns, como puxar, empurrar, friccionar, atrair e repelir.

Caracterização de uma força (página 66)

- Ao abordar esta seção, explique as diferenças entre grandezas escalares e grandezas vetoriais, e aproveite para comentar que a notação apresentada para o vetor força é utilizada para outras grandezas vetoriais.

A inércia e a primeira lei de Newton (páginas 67 e 68)

- Avalie a possibilidade de introduzir o conceito de inércia realizando o experimento de Galileu descrito no primeiro parágrafo. Ao abordar esse experimento, motive os estudantes a fazer previsões sobre o que ocorre ao se abandonar uma esfera do repouso em um plano inclinado. Outra sugestão de experimento para a verificação da inércia: coloque uma moeda sobre uma folha de papel em cima da mesa. Puxe o papel rapidamente na direção horizontal. A moeda praticamente não se moverá, pois, em repouso, ela tem a tendência de permanecer em repouso a menos que uma força resultante diferente de zero atue sobre ela.
- O boxe *Ação e cidadania* (p. 68) busca promover a conscientização para um trânsito seguro, desenvolvendo a habilidade **EM13CNT306** ao aplicar conhecimentos de Ciências da Natureza para avaliar riscos em atividades cotidianas, e trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação para o trânsito**, da área Cidadania e civismo. Verifique se, entre as respostas dos estudantes, foi mencionada a questão do uso de cinto de segurança por todos os passageiros do veículo, medida importante e obrigatória, uma vez que os efeitos da inércia são sentidos por todos os ocupantes em caso de colisão.

O princípio fundamental da Dinâmica e a segunda lei de Newton (páginas 69 e 70)

- A introdução à segunda lei de Newton permite complementar a compreensão do conceito de inércia. Mais do que entender a fórmula que expressa essa lei, é importante, mediante exemplos de situações diversas, perceber que a aplicação de uma força pode alterar ou produzir um movimento, ou seja, é capaz de gerar aceleração.

Força peso ($\vec{P}$) (páginas 70 e 71)

- Destaque para os estudantes a diferença entre os conceitos de massa e peso, geralmente confundidos na linguagem cotidiana, como em embalagens em que se encontram os termos "peso líquido" e "peso bruto", expressos em grama ou em quilograma. Ainda que nem sempre seja necessário o rigor da linguagem científica, é importante enfatizar para a turma que ao dizermos, por exemplo, "eu peso 60 kg", o termo "peso" não está sendo usado cientificamente, pois o peso é uma força de atração gravitacional medida em newtons; a massa (conceito de fato envolvido nessa afirmação) é medida em quilograma.
- Para trabalhar os cálculos para a obtenção da força resultante e a compreensão do conceito de força peso, realize junto com os estudantes as *Atividades resolvidas* (p. 71).

O princípio da ação e reação e a terceira lei de Newton (página 72)

- Explique aos estudantes a terceira lei com exemplos. O "andar" de uma pessoa, em que os pares de forças são a força exercida pela pessoa no solo e a força exercida pelo solo na pessoa, é um exemplo adequado, desde que seja bem explorado, pois a ideia de que o que possibilita o caminhar é a reação do solo (para a frente) sobre a força que se exerce nele (para trás) não é intuitiva.
- No boxe *Roteiro*, a atividade tem como principal objetivo fazer os estudantes refletir sobre a terceira lei de Newton, em especial sobre o par de forças ação e reação. A atividade trabalha a habilidade **EM13CNT204** ao solicitar explicações a respeito do estado de movimento dos objetos.

Força normal ($\vec{N}$) (página 73)

- Ressalte que a força peso e a força normal não formam um par ação-reação. Uma maneira de verificar essa afirmação é chamar a atenção dos estudantes para o fato de esse par de forças estar aplicado no mesmo corpo e ser formado por forças de naturezas distintas: campo (peso) e contato (normal). A força peso e a normal têm uma reação correspondente a cada uma delas. No exemplo de força peso apresentado no Livro do Estudante (interação de um vaso com a Terra), o peso está associado à interação entre o vaso e a Terra, com uma força do par ação-reação aplicada no vaso e a outra na Terra; assim, a normal está associada à interação entre o vaso e a mesa de apoio, com o par ação-reação sendo uma força (a do vaso) aplicada na mesa e a outra força (a reação da mesa) sendo aplicada sobre o vaso.

Força de tração ($\vec{T}$) ou força tensora (página 73)

- Para exemplificar a força de tração, é possível pegar um pedaço de corda e solicitar a dois estudantes que, cada um segurando uma extremidade, puxem a corda e expliquem para os outros colegas as forças que atuam nessa corda.

Força de atrito (páginas 74 e 75)

- A força de atrito é apresentada como uma força atuante na maioria dos movimentos que ocorrem no solo e no ar. Quase sempre, nos movimentos reais, a força de atrito tem um valor significativo e, em muitos casos, é essencial em movimentos corriqueiros, como caminhar.

Aplicações das leis de Newton (páginas 76 e 77)

- Nesta seção, sugerimos atividades resolvidas para aplicar as leis de Newton em situações-problema. Essas atividades podem ser realizadas pelo professor na lousa ou os estudantes podem fazê-las durante a aula com a orientação do professor.

Forças no movimento circular (páginas 81 a 83)

- A ideia, neste momento, é destacar a presença da força centrípeta (que altera a direção da velocidade do movimento) e da força tangencial (presente em alguns casos). Há diversas situações em que a força resultante é a centrípeta, como no movimento da Lua em torno da Terra, em que a resultante centrípeta será composta exclusivamente da força gravitacional. Em outros casos, a força centrípeta pode ser uma força de tração (corpo girando preso a uma corda) ou de atrito (veículo realizando uma curva plana). Ou seja, é importante que os estudantes compreendam que a identificação correta da resultante centrípeta passa primeiramente pela identificação das forças que agem no corpo, associadas às interações que ele realiza
- Aproveite o boxe *Física e Biologia* para relacionar o que foi estudado com a corrida e outros esportes de interesse dos estudantes. Pergunte, por exemplo: "Qual é a importância da intensidade da força nos movimentos realizados na corrida?". Além disso, explore a questão 2, de pesquisa e produção textual, para orientar os estudantes quanto à importância do uso de informações confiáveis e o cuidado em não elaborar um texto com generalização indevida e incoerências.

Ciência tem história – A amplitude dos estudos de Newton (página 84)

- Nesta seção, trabalham-se as competências gerais **CGEB1** (ao conhecer as contribuições significativas de Isaac Newton para a Física, os estudantes podem valorizar conhecimentos historicamente construídos) e **CGEB7** (ao subsidiar a argumentação com base em fatos e dados confiáveis). Promove-se também a habilidade **EM13CNT303** ao se exercitar a interpretação de textos de divulgação científica.

Práticas de Ciências – Coeficiente de atrito estático (página 85)

- Esta seção trabalha as competências gerais **CGEB2**, ao exercitar a curiosidade intelectual e promover a investigação e a reflexão, e **CGEB9**, ao subsidiar o trabalho em grupo, o diálogo e a cooperação. A habilidade **EM13CNT204** está presente na análise do atrito em um plano inclinado – a existência de movimento do corpo sobre o plano se deve a uma componente da força peso. A seção também desenvolve conhecimentos básicos de trigonometria na decomposição das forças em eixos perpendiculares.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Ordens de grandeza

É comum, em problemas de Mecânica, o cálculo de forças em situações diversas. Contudo, nem sempre os estudantes têm noção de ordens de grandeza das intensidades de forças para avaliar resultados. Sugerimos a atividade de reforço a seguir. Professor, as respostas, logo abaixo, são obtidas pela fórmula $P = m \cdot g$, em que m é a ordem de grandeza estimada.

1. Estime a ordem de grandeza da força peso de:

a) uma formiga; R.: $1 \cdot 10^{-5}$ *kg; ordem:* 10^{-5}*kg*

b) uma moeda; R.: $5\ g = 5 \cdot 10^{-3}$ *kg; ordem:* 10^{-2} *kg*

c) um livro; R.: $1\ kg = 1 \cdot 10^{1}$ *kg; ordem:* 10^{1} *kg*

d) um caminhão; R.: $20\ t = 2 \cdot 10^{5}$ *kg; ordem:* 10^{5} *kg*

e) uma galinha; R.: $2\ kg = 2 \cdot 10^{1}$ *kg; ordem:* 10^{1} *kg*

f) uma carteira escolar; R.: $5\ kg = 5 \cdot 10^{1}$ *kg; ordem:* 10^{2} *kg*

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Se houver possibilidade, considere propor aos estudantes a realização de atividades e jogos *on-line*, como *quizzes* ou cruzadinhas. Sugerimos o jogo de tabuleiro proposto neste artigo: Dias, C. de B.; Dias, J. O.; Gonçalves, M. S. da S. *Surpresas e perguntas*. Jataí: Instituto Federal de Goiás, 2018. Disponível em: https://www.ifg.edu.br/attachments/article/10719/Produto_educacional_Jogo_leis_%20Newton_2018(.pdf 485kb).pdf. Acesso em: 12 out. 2024. O desenvolvimento da atividade e sua realização podem servir de instrumento de avaliação de aprendizagem dos estudantes.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 79)

4. No estudo do movimento do plano inclinado, uma das principais dificuldades é a decomposição das forças. Para auxiliar os estudantes na compreensão da decomposição de vetores, sugerimos que, na realização desta atividade, a força peso da régua seja decomposta com o uso de papel milimetrado colado no caderno.

Atividades (páginas 86 e 87)

1. A resultante das forças é igual a: $F_r = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$. Utilizando a expressão fornecida, temos que a força resultante sobre o corpo é nula; assim, sua aceleração também é nula.

4. a) A força que age é a força peso. A resultante não é nula.

b) No caso de uma motocicleta em MCU, as forças que agem são: a força peso, a força normal, e o atrito entre os pneus e o chão que atua como força centrípeta. A força resultante nesse caso não é nula.

c) No caso de uma caixa sendo empurrada rampa acima com velocidade constante, as forças que agem são: a força peso, que age em duas componentes, uma no eixo *x* da rampa e uma no eixo *y*, e a força normal, agindo perpendicularmente à superfície da rampa para cima. Como a velocidade é constante, a aceleração é nula; portanto, a força resultante é nula.

5. a) A curva **A** é a de um corpo que executa um movimento retilíneo uniforme, e, portanto, a força resultante é nula. Na curva **B**, a força resultante não é nula, porque a velocidade é variável.

b) $F_r(B) = m \cdot a \Rightarrow F_r(B) = 8 \cdot \frac{50}{10} \Rightarrow F_r(B) = 40$ N

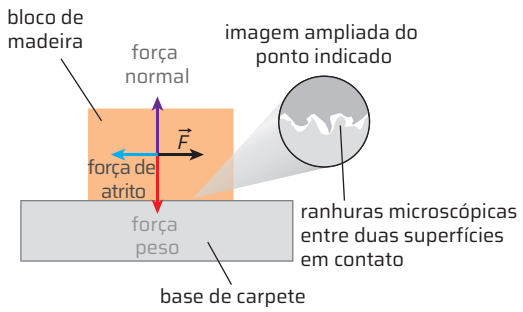
c) Um movimento como o da curva **A** é verificado sempre que algo se move com velocidade constante, como a velocidade de um elevador, que é a mesma na maior parte do movimento. Já o movimento acelerado representado pela curva **B** é facilmente identificado em um carro que acelera a partir do repouso.

6. A) Aceleração (0h-1h): pelo gráfico notamos que a posição muda de forma não uniforme, não é uma reta. Repouso (1h-1,8h): neste trecho o gráfico é uma reta na horizontal, a posição não varia com o tempo. MU(1,8h-3h): no gráfico temos uma reta inclinada, portanto, a posição varia de forma uniforme, ou seja, com velocidade constante.

b) Não é nula no primeiro trecho e é nula nos outros dois. A força resultante é nula nos trechos em que a aceleração é nula (corpo em repouso ou movimento uniforme).

c) O primeiro trecho é o que tem a maior aceleração, porque é o único trecho que tem aceleração.

7. a)



d) Pelo gráfico, a força para acelerar o corpo deve ser maior que 5,5 N; assim, para as forças de 1,0 N e 2,5 N, temos aceleração nula.

Para 6 N, temos:

$F - F_{at} = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F - F_{at}}{m} \Rightarrow a = \frac{6 - 4}{10} \Rightarrow a = 0{,}2 \therefore$

$a = 0{,}2$ m/s²

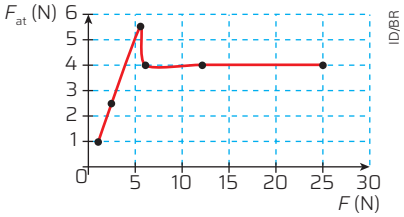
Para 12 N, temos:

$a = \frac{F - F_{at}}{m} \Rightarrow a = \frac{12 - 4}{10} \Rightarrow a = 0{,}8 \therefore a = 0{,}8$ m/s²

Para 25 N, temos:

$a = \frac{F - F_{at}}{m} \Rightarrow a = \frac{25 - 4}{10} \Rightarrow a = 2{,}1 \therefore a = 2{,}1$ m/s²

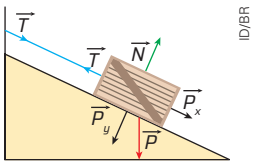
e)



8. Considerando (como dito no enunciado da atividade) que, no momento de maior altura, a força normal é praticamente nula, a força resultante centrípeta é apenas seu peso, ou seja:

$F_{cp} = P \Rightarrow \frac{m \cdot V^2}{R} = m \cdot g \Rightarrow V^2 = 4 \cdot g \Rightarrow V = \sqrt{40}$ m/s

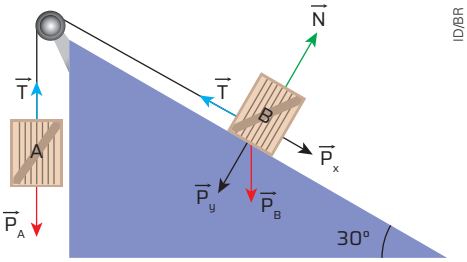
9. a)



b) A força normal é dada por: $N = P_y \Rightarrow N = P \cdot \cos \Theta \Rightarrow N =$
$= 9{,}6 \cdot 10 \cdot 0{,}87 = 83{,}52 \Rightarrow N = 83{,}52$ N

c) A força de tração é dada por: $T = P_x \Rightarrow T = P \cdot \text{sen}\ \Theta \Rightarrow$
$\Rightarrow T = 9{,}6 \cdot 10 \cdot 0{,}5 \Rightarrow T = 48$ N

10. a) Se separarmos os blocos, poderemos identificar a força que age em cada um deles:



Bloco **A**: age na força peso para baixo e na tração para cima, então $P_A - T = m_A \cdot a$.

Bloco **B**: age na componente P_x puxando o bloco para baixo e, na tração, puxando para cima, então: $T - P_x = m_B \cdot a$

$P_A - T = m_A \cdot a$

$T - P_x = m_B \cdot a$

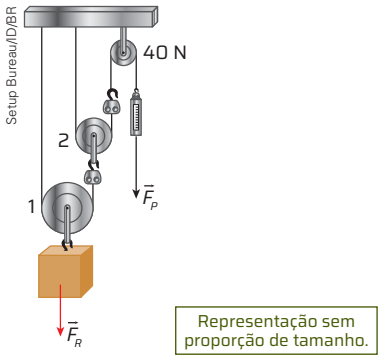
Somando as duas equações e eliminando o termo da tração, temos:

$P_A - P_x = (m_A + m_B) \cdot a \Rightarrow 200 - 150 \cdot \text{sen}\ 30° = 35 \cdot a \Rightarrow$
$\Rightarrow 35 \cdot a = 125 \Rightarrow a \cong 3{,}57$ m/s²

b) Para determinar a tração no fio, aplique o valor de aceleração encontrado em uma das duas equações:

$T - P_x = m_B \cdot a \Rightarrow T - 150 \cdot \text{sen}\ 30° = 15 \cdot 3{,}57 \Rightarrow$
$\Rightarrow T = 128{,}55$ N

11. a) e **b)** Montando um sistema com as duas equações, temos:



c) Para calcular a força aplicada, utilizamos a equação:

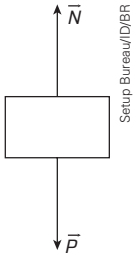
$F_p = \frac{F_R}{2^n}$, em que n é o número de polias móveis.

Como, $n = 2$, temos: $F_p = \frac{240}{4} = 60$ N

12. a) A força centrípeta pode ser obtida pela seguinte equação:

$F_{cp} = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow F_{cp} = \frac{40 \cdot 25}{15} \Rightarrow F_{cp} = 66{,}6$ N

b) Posição mais alta: quando a criança está na posição mais alta da roda-gigante, a configuração das forças é a mostrada na figura a seguir.



Como a cadeira está na posição mais alta, a resultante centrípeta está apontada para baixo, portanto:

$F_{cp} = P - N \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g - N \Rightarrow$

$\Rightarrow -N = 400 - 66{,}6 \Rightarrow N = -333{,}4$ N

Posição mais baixa: a configuração das forças é a mesma, mas, nesse caso, a resultante centrípeta é para cima, pois o corpo está na posição mais baixa da roda-gigante. Portanto:

$F_{cp} = N - P \Rightarrow N = F_{cp} + P \Rightarrow N = 66{,}6 + 400 \Rightarrow N = 466{,}6$ N

13. a) Como a velocidade é variável e determinada pela equação, para saber a aceleração, precisamos saber qual será sua velocidade após 5 s, temos: $v = 1 + t \Rightarrow v(5) = 6$ m/s

$\Rightarrow a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{6}{5} \Rightarrow a = 1{,}2$ m/s²

b) Obtemos a aceleração centrípeta do corpo pela equação:

$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_{cp} = \frac{6^2}{10} \Rightarrow a_{cp} = 3{,}6$ m/s²

CAPÍTULO 2 ENERGIA E TRABALHO (PÁGINA 88)

Usos comuns de energia e trabalho (página 88)

- A imagem reproduzida e as questões propostas na abertura do capítulo ajudam a explorar o que os estudantes entendem por energia e motivar a reflexão deles sobre as vantagens da energia proveniente do Sol. Utilize a imagem da usina de energia elétrica para promover a habilidade **EM13CNT106**, levando os estudantes a avaliar soluções para as demandas que envolvem a geração de energia elétrica.

A grandeza energia (página 89)

- Ao desenvolver esse tópico, tenha em mente as dificuldades dos estudantes em torno do conceito de energia. Certifique-se de que os estudantes não interpretem energia como algo contido nos objetos, mas compreendam que ela está associada à configuração de um sistema e às interações que essa configuração possibilita. O texto "O entendimento dos estudantes sobre energia no início do Ensino Médio", sugerido na seção *Fonte complementar* deste capítulo, traz sugestões que podem contribuir para o ensino desse conceito.
- Promova uma discussão sobre o princípio de conservação da energia, lançando, por exemplo, a seguinte pergunta: "Se a energia se conserva, por que atualmente há tanta preocupação com uma possível 'crise de energia'?". Oriente os estudantes a realizar uma pesquisa sobre isso, para que percebam como o assunto é frequente em mídias diversas. Esse trabalho de pesquisa promove a habilidade **EM13CNT101**, por propor analisar as transformações e conservação de energia e a habilidade **EM13CNT303**, pois leva os estudantes a interpretar textos de divulgação científica.

Tipos de energia (página 90)

- Com os estudantes, levante exemplos (naturais e tecnológicos) em que estejam presentes diferentes formas de energia (elétrica, química, luminosa, térmica, entre outras). Aproveite a questão do boxe *Roteiro* para conversar sobre o processo de transformação da energia no organismo humano.
- O boxe *Ciência se discute* promove a competência geral **CGEB7**. Sugerimos, explorar esse boxe com o professor de Geografia, solicitando uma abordagem da relação custo-benefício de ações mais sustentáveis e trabalhando o tema contemporâneo transversal **Educação para o consumo**, da área Meio ambiente.

Trabalho de uma força constante e trabalho de uma força variável (páginas 91 e 94)

- Assim como o termo "energia" tem conotações diversas no cotidiano, a palavra "trabalho" também tem usos no senso comum que nem sempre correspondem ao significado que a Física lhe atribui. A atividade do boxe *Roteiro* da página 92 pode ajudar a consolidar a compreensão desse conceito.
- No estudo do trabalho de uma força variável, aproveite para explorar a habilidade de leitura e interpretação de gráficos.

Energia cinética (página 94)

- Esse conceito auxilia no desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, pois trabalha a energia cinética e exercita o senso crítico dos estudantes em assuntos que envolvem movimentos e suas consequências. Nesse contexto, é importante abordar os aspectos de cidadania ligados à velocidade em automóveis e situações de trânsito reais, contribuindo para a formação integral dos estudantes, que, nessa área, muitas vezes se pautam por convicções e achismos. É importante, portanto, que, depois de levantar essas ideias iniciais, sejam apresentados dados embasados e fatos científicos para mostrar os riscos e as consequências de dirigir em altas velocidades. Essa discussão pode ser motivada pela atividade proposta no boxe *Roteiro*.

Energia potencial e forças conservativas (página 95)

- Para introduzir o conceito de energia potencial, utilize exemplos de movimentos diversos: a queda ou o lançamento de um objeto, um bate-estaca funcionando, um pêndulo ou uma mola oscilando, entre outros. Por esses exemplos, pode-se diferenciar um tipo de energia mecânica de outro (cinética e potencial). Uma ideia interessante é solicitar aos estudantes que busquem o significado desses termos em um dicionário.

Energia mecânica (página 96)

- Ao abordar o tópico "Conservação da energia mecânica", retome a discussão realizada no início do capítulo sobre o significado do princípio de conservação da energia e sua abrangência para todas as formas de energia, em fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos. Dê algum exemplo prático de uso de energia (chuveiro elétrico, movimento de um automóvel, ciclo da água na natureza, etc.) e oriente os estudantes a explorar e a apresentar fluxogramas desses sistemas ou fenômenos.

Sistemas não conservativos e forças dissipativas (página 97)

- Neste tópico é muito importante salientar que, em situações reais, raramente a energia mecânica de um sistema se conserva totalmente, pois ocorre alguma dissipação ou transformação dessa energia (em calor, som, deformação, etc.).

Potência e rendimento (páginas 98 a 100)

- O conceito de potência é fundamental para o exercício da cidadania dos estudantes, podendo ajudá-los a entender melhor, por exemplo, manuais de eletrodomésticos e aplicações diversas no dia a dia. Desenvolvem-se assim as habilidades **EM13CNT303** e **EM13CNT306.**
- O boxe *Ação e cidadania*, da página 99, promove o desenvolvimento das competências gerais **CGEB7** e **CGEB10** ao propor uma discussão sobre energia renovável.

Práticas de Ciências – Construindo uma roda-d'água (página 101)

- Esta seção promove o desenvolvimento das competências gerais **CGEB1** e **CGEB2**. Ao exemplificar o aproveitamento da energia proveniente do movimento da roda-d'água, questione os estudantes sobre outras aplicações da queda-d'água, como a geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas.

FONTE COMPLEMENTAR

- Barbosa, J. P. V.; Borges, A. T. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 182-217, ago. 2006. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6275. Acesso em: 27 set. 2024.

  O artigo relata parte de uma pesquisa inserida em um projeto mais amplo, em que é desenvolvida uma sequência didática para o ensino de energia para estudantes do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola pública. Os estudantes são orientados a explicitar e a revisar seus modelos de energia, trabalhando em grupo e realizando discussões em sala de aula.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Atividade 1: Cálculo de potência

Esta atividade visa à compreensão do conceito de potência.

Material

- 1 cronômetro
- 1 balança
- ambiente que possua uma escada

Como fazer

1. Meça sua massa em uma balança.
2. Estime a altura da escada que você escolheu em relação ao solo (ou ao pavimento em que ela começa). Caso a escola tenha vários andares, estime a altura de um andar e considere a altura da escada.
3. Calcule sua energia potencial gravitacional depois de subir a escada, considerando $g = 10\ m/s^2$.
4. Com o cronômetro, anote o intervalo de tempo que você levou para subir a escada.
5. Calcule a potência que você desenvolveu para subir a escada.
6. Procure subir a escada novamente, o mais rápido possível – mas com cuidado para não cair –, e meça o intervalo de tempo dessa nova subida.
7. Calcule a nova potência (ao subir a escada em um intervalo de tempo menor).

Para concluir

1. Você sentiu mais cansaço na primeira ou na segunda situação? (R.: *Como na segunda situação o intervalo de tempo para subir é menor, o cansaço será maior.*)
2. O cansaço está mais diretamente relacionado ao gasto de energia ou à potência? Justifique sua resposta. (R.: *A percepção de mais cansaço está diretamente relacionada com a rapidez em que nosso corpo transforma energia e, portanto, com a potência.*)

TEXTO COMPLEMENTAR

Energia do sistema

[...]

[...] [Qualquer] que seja a noção do mundo que os experimentos futuros possam nos dar, já sabemos que haverá alguma coisa que permanece constante e que poderemos chamar de energia. Isso é o mais perto possível que podemos nos aproximar de sua definição. Contudo, para que não seja interpretada como uma substância ou fluido contido nos objetos, há que se atentar que ela está associada à configuração de um sistema e às interações que essa configuração permite. Desse modo, não faz sentido falar em energia de um objeto isolado, além de não ser possível determinar de modo absoluto a energia de um sistema, somente a sua variação. Quando falamos, por exemplo, "a energia potencial gravitacional de uma pedra", cometemos um erro, sob a ótica da ciência. Devido à interação entre a pedra e [a] Terra – desprezando-se os outros corpos –, a energia está associada ao conjunto formado pelos dois elementos. [...]

[...]

Gomes, L. C. A história da evolução do conceito físico de energia como subsídio para o seu ensino e aprendizagem: parte II. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 738-768, dez. 2015. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p738. Acesso em: 27 set. 2024.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- A avaliação deve ser realizada de forma contínua ao longo de todo o capítulo. As atividades propostas nos boxes *Roteiro* ao longo do capítulo podem servir como avaliação formativa e evidenciar dificuldades dos estudantes.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (páginas 102 e 103)

4. $\tau_1 = 20 \cdot 10 \cdot \cos 0° = 200$ J
$\tau_2 = 20 \cdot 10 \cdot \cos 60° = 100$ J
$\tau_3 = 20 \cdot 10 \cdot \cos 90° = 0$ J
$\tau_4 = 20 \cdot 10 \cdot \cos 120° = -100$ J

5. $\tau_F = \frac{B \cdot h}{2} \Rightarrow \tau_F = \frac{0{,}4 \cdot 50}{2} = 10$ J

6. a) A cada 100 J são convertidos em energia elétrica 90 J; portanto, a energia convertida em energia não elétrica corresponde a 10 J.

c) Pelo princípio de conservação de energia, 20 J seriam convertidos em outra modalidade de energia.

7. b) Pelo princípio de conservação de energia, 9 J seriam convertidos em outra modalidade de energia.

8. a) A energia potencial gravitacional no ponto *A* (E_p) pode ser calculada pela equação:

$E_p = m \cdot g \cdot h = 3 \cdot 10 \cdot 4 \Rightarrow E_p = 120$ J

b) No percurso do ponto *A* para *B*, a energia mecânica se conserva. Portanto, a energia cinética no ponto *B* (E_c) é:

$E_p = E_c \Rightarrow E_c = 120$ J

9. A variação da energia cinética pode ser calculada por:

$$\Delta E_C = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2} \Rightarrow \Delta E_C = \frac{m}{2} \cdot (v_0 - v_0^2)$$

Para a variação de 20 km/h para 30 km/h, temos:

$$\Delta E_C = \frac{m}{2} \cdot (v_0 - v_0^2) \Rightarrow \Delta E_C = \frac{m}{2} \cdot (30^2 - 20^2) = \frac{m}{2} \cdot 500$$

Para a variação de 30 km/h para 40 km/h, temos:

$$\Delta E_C = \frac{m}{2} \cdot (v_0 - v_0^2) \Rightarrow \Delta E_C = \frac{m}{2} \cdot (40^2 - 30^2) = \frac{m}{2} \cdot 700$$

Portanto, a energia cinética varia mais quando o corpo vai de 30 km/h para 40 km/h.

Professor, sugerimos aproveitar esse exercício para reforçar como a energia varia com a velocidade. Isso será importante para as discussões, em capítulos posteriores, sobre a gravidade de acidentes envolvendo veículos em alta velocidade.

10. Professor, nessa atividade oriente os estudantes a estimar os valores de massa, altura e velocidade com base nos seus conhecimentos prévios e, se necessário, sugira uma pesquisa. As respostas devem variar, dependendo das estimativas, mas devem manter a ordem de grandeza a seguir.

a) Considerando que a moto tenha massa igual a 120 kg e que se mova a uma velocidade de 72 km/h (20 m/s):

$$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow E_C = \frac{120 \cdot 20^2}{2} = 2{,}4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

b) Supondo que a pessoa tenha 70 kg e que o prédio tenha 15 m de altura, a energia potencial gravitacional da pessoa é:

$E_p = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_p = 70 \cdot 10 \cdot 15 = 10\,500$ J

c) Considerando que um avião esteja a 10 mil metros de altura e que a massa seja de 300 toneladas, com uma velocidade de 900 km/h (250 m/s):

$$E_m = E_p + E_C \Rightarrow E_m = m \cdot g \cdot h + \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_m = 3 \cdot 10^5 \cdot 10 \cdot 10^4 + \frac{300 \cdot 250^2}{2} \Rightarrow E_m \cong 3 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

d) Supondo que o meteoro tenha uma velocidade igual a 7 200 km/h (2 000 m/s) e que sua massa seja de 30 toneladas, sua energia cinética será:

$$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow E_C = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2\,000^2}{2} = 6 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

11. a) O chuveiro pode ser considerado uma máquina, pois converte energia elétrica em energia térmica.

b) A potência de uma máquina está relacionada com a rapidez com que ocorre a transformação de energia. Como as diferentes estações do ano determinam necessidades distintas de energia térmica, a potência do chuveiro pode ser alterada conforme a demanda de cada estação. Assim, a maior potência (3 600 W) corresponde ao "inverno", e a menor potência (2 200 W), ao "verão".

c) Para determinar o número de lâmpadas (n_L) vamos dividir o valor da potência de funcionamento do chuveiro ligado com a chave em "inverno" (3 600 W) pela potência de funcionamento de uma lâmpada (40 W):

$n_L = \frac{3\,600}{40} \Rightarrow n_L = 90$ lâmpadas.

Esse exercício mostra que, para um período fixo de tempo, o chuveiro gasta muito mais energia que a lâmpada.

12. a) O motor do automóvel pode ser considerado uma máquina porque converte a energia química do combustível em energia mecânica e energia térmica.

b) A finalidade do motor de um automóvel é proporcionar variação da energia mecânica, considerada então a energia útil (20 J em cada 100 J de energia química). Portanto, as demais modalidades de energia estão relacionadas com a energia dissipada. Pela lei da conservação de energia, corresponde a 80 J em cada 100 J de energia química.

c) O rendimento do motor pode ser calculado por:

$\eta = \frac{E_{útil}}{E_{total}} = \frac{20}{100} = 0{,}2 \Rightarrow \eta = 20\%$

Logo, o rendimento do motor do automóvel citado é de 20%.

CAPÍTULO 3 IMPULSO E COLISÕES (PÁGINA 104)

Quantidade de movimento (páginas 104 e 105)

- Para a Física, o conceito de quantidade de movimento (ou momento linear) e sua conservação é tão fundamental quanto as leis de Newton. Mais que isso, esse conceito tem um caráter geral, uma vez que trata das alterações (e conservações) de movimentos de um sistema como um todo, enquanto as leis de Newton tratam das alterações das partes de um sistema.

Princípio da conservação da quantidade de movimento (páginas 105 e 106)

- A conservação dessa grandeza (quantidade de movimento) pode ser mais bem compreendida com a análise de situações conhecidas, como nadar, andar, lançar foguetes, atirar objetos, entre outras. É importante reforçar para os estudantes que a conservação da quantidade de movimento se aplica a um sistema, não a corpos isolados, e que o sistema, esse sim, pode ser isolado. Aproveite a atividade do *Roteiro* da p. 106 para os estudantes colocarem em prática o conceito de conservação da quantidade de movimento.

Outro enunciado da segunda lei de Newton (páginas 106 a 108)

- É essencial reforçar o caráter vetorial da quantidade de movimento. A segunda lei de Newton, quando expressa pela relação $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{Q}}{\Delta t}$, introduz o conceito de impulso e a ideia fundamental da relação entre força e tempo de interação. Essa relação é muito importante para a compreensão de situações diversas, como tecnologias do cotidiano (os materiais e as dimensões das bolas em diferentes modalidades esportivas, por exemplo) e certos meios para prevenir acidentes (como o uso de *airbags* e de materiais próprios para a fabricação de veículos).

Energia em colisões (páginas 109 e 110)

- Outra abordagem útil nesse estudo é a da previsão de movimentos em jogos como de bolinhas de gude, sinuca, etc. Pode ser interessante que, antes de formalizar os conceitos de colisão elástica e não elástica, sejam levantados exemplos diversos de colisão frontal; depois, em uma tabela traçada na lousa, esses exemplos podem ser classificados segundo alguns critérios: se, após a colisão, ambos os corpos continuam em movimento na mesma direção e no mesmo sentido; se um deles deixa de se mover e o outro permanece em movimento; se ambos deixam de se mover; entre outros. Essa discussão também pode surgir nas atividades do boxe *Roteiro* da p. 109.
- A expressão matemática do coeficiente de restituição também pode ser compreendida experimentalmente, comparando-se, por exemplo, diferentes bolas (de tênis, de futebol, de plástico, de gude, etc.), que, ao serem abandonadas de uma mesma altura, quicam no solo atingindo alturas diferentes; pode-se, ainda, discutir do que depende a deformação da lataria de um automóvel no caso de uma colisão. Nesse sentido, trabalham-se as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301**, **EM13CNT303** e **EM13CNT306**, ajudando os estudantes a desenvolver a capacidade de construir questões, elaborar hipóteses, interpretar modelos e justificar conclusões, bem como interpretar resultados.
- Em colisões elásticas, a energia mecânica se conserva. Esse princípio é importante em diversas abordagens da Física. No entanto, trata-se de um modelo idealizado (implica uma colisão que não faz barulho, por exemplo), mas que é muito útil como referencial de análise para algumas situações específicas de colisões que se aproximam desse ideal.
- É importante ressaltar que a dissipação de energia em choques não elásticos acontece sobretudo na deformação permanente e na produção de energia sonora, mas outras formas de energia dissipada podem ocorrer, como a energia térmica e a luminosa.
- Ao tratar do estudo quantitativo das colisões, caracterizar a rapidez de uma colisão não elástica pode indicar quão grave ela é. Isso contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT306**, trazendo aplicações diretas do impacto que os corpos sofrem em uma colisão.

Práticas de Ciências – Colisões intrigantes (página 111)

- Essa atividade experimental tem um caráter lúdico e pode ser realizada no pátio da escola, se possível com a participação do professor de Educação Física. Avalie se é necessária uma demonstração preliminar do experimento para a turma, solicitando em seguida, aos estudantes, que repitam o experimento até alcançar o resultado esperado, conforme descrito no Livro do Estudante.
- Esse experimento mobiliza a competência geral **CGEB2** (exercitar a curiosidade e utilizar as ciências com criticidade e criatividade para investigar causas) e as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301** e **EM13CNT306**, pois trata da conservação da energia, seus usos e suas modalidades, ajudando a desenvolver nos estudantes a capacidade de construir questões, elaborar hipóteses, interpretar modelos e justificar conclusões, bem como interpretar resultados.

Ciência, tecnologia sociedade e ambiente – Segurança nas estradas (página 112)

- A discussão sobre limites de velocidade no trânsito trata do tema contemporâneo transversal **Educação para o trânsito**, da área Cidadania e civismo. Essa discussão pode gerar muitas divergências, pois envolve opiniões pessoais; por isso, é importante levantar as ideias prévias dos estudantes e ressaltar a importância de sempre basear conclusões em análises e dados.
- A seção promove o trabalho com as competências gerais **CGEB7** (ao levar os estudantes a elaborar juízos próprios com argumentações claras a respeito de questões que envolvem ciência e tecnologia) e **CGEB8** (ao trabalhar com a preocupação com a segurança e, consequentemente, a própria saúde).

Ciência tem história – A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: mv ou mv^2? (página 113)

- Esta seção auxilia no desenvolvimento da competência geral **CGEB4** (utilizar a linguagem matemática e científica para se expressar e partilhar informações, experiências e ideias) e da habilidade **EM13CNT303**, ao trabalhar um texto de história da ciência com uma fonte confiável. Além disso, tem o papel de humanizar a ciência, bem como contextualizar a vida de pensadores e cientistas relevantes.

FONTE COMPLEMENTAR

- Bellucco, A.; Carvalho, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 31, n. 1, p. 30-59, abr. 2014. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n1p30/26466. Acesso em: 28 set. 2024.

  O texto apresenta uma proposta de Sequência de Ensino Investigativa (SEI) planejada para o desenvolvimento de situações argumentativas.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Um cálculo elucidativo

Não é intuitiva a ideia de que, ao caminharmos em determinado sentido (para a frente), a Terra (ou o solo) se move no outro sentido (para trás). Experimentos e cálculos podem mostrar por que esse movimento do solo não é perceptível. Um exercício elucidativo para esse fato consiste em calcular a velocidade da Terra em uma situação hipotética em que toda a sua população resolvesse andar ao mesmo tempo, na mesma direção e no mesmo sentido. Calcule a quantidade de movimento que a Terra ganharia nessa situação, para depois obter a velocidade. Para isso, alguns valores devem ser pesquisados ou considerados.

Utilize para a massa da Terra: $m_T \cong 6 \cdot 10^{24}$ kg; a população mundial de $7 \cdot 10^9$ habitantes; para a massa de um habitante use valor médio = 50 kg; e a velocidade estimada do andar de uma pessoa: $v_p = 1$ m/s.

Solicite aos estudantes que realizem os cálculos necessários à obtenção da velocidade que seria transferida para a Terra.

Com os valores fornecidos, pode-se calcular a quantidade de movimento de toda a população na situação imaginada: $Q_p = m_p \cdot v_p$.

Massa de toda a população: $m_p = 7 \cdot 5 \cdot 10^{10} = 3{,}5 \cdot 10^{11}$ kg.

Quantidade de movimento que a Terra ganharia:

$Q_p = 3{,}5 \cdot 10^{11} \cdot 1 = 3{,}5 \cdot 10^{11}$ kg · m/s.

Sua velocidade é dada por:

$$v_T = \frac{Q_p}{m_T} = \frac{3{,}5 \cdot 10^{11}}{6 \cdot 10^{24}} \cong 5{,}8 \cdot 10^{-14} \text{ m/s.}$$

Verifique se é oportuno contextualizar ainda mais a questão e pergunte: "Em qual situação hipotética a Terra teria sua velocidade resultante reduzida em 0,000000000000058 m/s: com as pessoas andando na mesma direção de rotação da Terra ou na direção contrária ao seu movimento de rotação?".

R.: *Com as pessoas andando na mesma direção, a velocidade da Terra seria reduzida; na direção contrária, seria aumentada.*

Avalie a adequação de uma interface com Língua Portuguesa, orientando os estudantes a realizar um texto ficcional, um poema, uma charge ou outra produção artística com o tema "O dia em que a velocidade resultante da Terra se alterou".

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Mapas mentais e mapas conceituais são estratégias viáveis para serem utilizadas em uma avaliação formativa, pois permitem que os estudantes consolidem conceitos e desenvolvam o pensamento organizacional. Os *links* a seguir oferecem mais informações sobre esses mapas.
- Mapas mentais: Fundação Instituto de Administração (FIA). Mapas mentais: benefícios, como construir, dicas e modelos. FIA Business School, São Paulo, 8 out. 2021. Disponível em: https://fia.com.br/blog/mapas-mentais/. Acesso em: 14 out. 2024.
- Mapas conceituais: Azevedo Junior, W. Mapas conceituais: instrumentos para a compreensão de textos. Biblioteca Virtual do NEAD/UFJF, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: http://www.cead.ufjf.br/wp-content/uploads/2015/05/media_biblioteca_mapas_conceituais.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 109)

2. Resposta pessoal. Os estudantes podem mencionar, por exemplo, colisões entre uma bola de borracha e uma superfície lisa como colisões elásticas; a colisão de uma bola de basquete com o chão como uma colisão parcialmente elástica; e a colisão entre carros como uma colisão inelástica.

3. 20% a mais de velocidade de 50 km/h significa que o carro na segunda situação colidirá com velocidade de 60 km/h. Isso implica um aumento de 44% na energia cinética, portanto, uma colisão envolvendo muito mais energia será mais grave.

Práticas de Ciências – Colisões intrigantes (página 111)

3. Na primeira colisão, o impulso de cada bola é provocado pela variação da quantidade de movimento das bolas ao colidir contra o solo, que, devido à sua imensa massa, não se move; mas, como as bolas não sobem até a altura original logo após a colisão, ocorre uma perda de energia mecânica, caracterizando uma colisão parcialmente elástica. Na segunda colisão, o impulso produzido na bola de tênis é amplificado devido à variação da quantidade de movimento da bola de basquete ao colidir contra o solo; assim, pelo fato de sua massa ser bem menor que a da bola de basquete, a bola de tênis salta mais alto. Na terceira colisão – entre a massa maior e a massa menor, sendo ambas elásticas –, o impulso produzido pela bola de tênis na bola de basquete é anulado pelas propriedades físicas das duas bolas.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Segurança nas estradas (página 112)

3. Sim. Exceder o limite de velocidade aumenta a possibilidade de acidentes, porque o limite é estabelecido com base em todas as características das pistas (aderência, curvas, movimento) e do tipo de veículo (massa): em velocidades superiores ao limite estabelecido, é mais difícil manter o controle do veículo, aumenta a distância de frenagem e diminui o tempo de reação necessário para evitar uma colisão. E os acidentes são mais graves porque um aumento na velocidade implica um aumento maior na energia cinética, já que a energia cinética depende do quadrado da velocidade. Como é essa energia que será dissipada contra o veículo e os ocupantes no caso de um acidente, quanto maior a energia, mais grave será o acidente. Por isso, é importante sempre respeitar os limites de velocidades em todas as situações.

Atividades (página 114)

1. Em todos os casos a seguir, a unidade de massa foi convertida em kg, e a de velocidade em m/s, quando necessário.

a) Para converter a massa em grama para quilograma, efetua-se a divisão por 1 000. Assim, 10 g = 0,01 kg. Portanto:

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 0{,}01 \cdot 25 \Rightarrow Q = 0{,}25$ kg · m/s

b) $Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 7 \cdot 20 \Rightarrow Q = 140$ kg · m/s

c) Primeiro, convertendo a massa de tonelada (t) para quilograma (kg) e a velocidade dada em km/h para m/s, temos:

5,7 t = 5 700 kg e 800 km/h = $\frac{800}{3{,}6}$ m/s = 222,2 m/s.

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 5{,}7 \cdot 10^3 \cdot 222{,}2 \Rightarrow Q \cong 1{,}27 \cdot 10^6$ Kg · m/s

d) Convertendo, 5 t = 5 000 kg, obtemos:

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 5\,000 \cdot 10 \Rightarrow Q = 5 \cdot 10^4$ kg · m/s

e) Para transformar km/h em m/s, dividimos o valor dado por 3,6. Então, 126 km/h = $\frac{126}{3{,}6}$ m/s = 35 m/s. Assim:

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 1\,450 \cdot 35 \Rightarrow Q \cong 5{,}08 \cdot 10^4$ kg · m/s

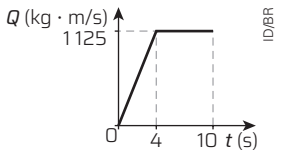
2. a) $Q_{cam} = Q_{car} \Rightarrow m_{cam} \cdot v_{cam} = m_{car} \cdot v_{car} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{car} \Rightarrow 10\,000 \cdot 50 = 1\,000 \cdot v_{car} \Rightarrow v_{car} = 500$ km/h.

3. a) De acordo com o gráfico, no instante 10 s, a velocidade do corpo é 12,5 m/s. Assim, temos:

$Q = m \cdot v \Rightarrow Q = 90 \cdot 12{,}5 \Rightarrow Q = 1\,125$ kg · m/s

b) O gráfico é análogo ao da velocidade, só que com os valores da ordenada multiplicados pelo valor da massa do corpo. Assim, esse gráfico fica da seguinte forma:



4. a) Vamos considerar que a velocidade da bola antes de atingir a trave seja positiva, de tal forma que sua velocidade final, após o choque, seja negativa. Assim:

$I = \Delta Q \Rightarrow m\,(v_f - v_i) \Rightarrow I = 0{,}450 \cdot (-5 - 5) \Rightarrow I = 4{,}5$ N · s

b) O valor da força média pode ser calculado encontrando-se a força constante, que, atuando durante o mesmo inter-

valo de tempo do contato entre a bola e o travessão (t = 0,05 s), produz um impulso da mesma intensidade que aquele ocorrido pela força do travessão sobre a bola. Assim, temos:

$I = F \cdot \Delta t \Rightarrow -4{,}5 = F \cdot 0{,}05 \Rightarrow F\,\frac{-4{,}5}{0{,}05} \Rightarrow F = -90$ N

Discuta os sinais obtidos nos itens **a** e **b** retomando, para isso, o conceito de referencial e interprete que, fisicamente, isso significa que tanto o impulso quanto a força recebidos pela bola foram contrários a seu movimento inicial, quando ela ainda tinha velocidade positiva, segundo a convenção que adotamos.

5. a) O impulso pode ser obtido pela variação da quantidade de movimento. Sabendo que a velocidade inicial do corpo era nula, temos: $\Delta Q = m \cdot v_f - m \cdot v_i \Rightarrow \Delta Q = m \cdot v_f$
Pela equação de Torricelli, obtemos $v_f = \sqrt{60}$ m/s
$I = \Delta Q = 70 \cdot \sqrt{60} \Rightarrow I = 70 \cdot \sqrt{60}$ N · s ≅ 546 N · s

b) A força dessa interação é: $I = F \cdot \Delta t \Rightarrow F = \frac{70 \cdot \sqrt{60}}{0{,}5} \Rightarrow$
$\Rightarrow F = 140 \cdot \sqrt{60}$ N = 1 092 N

6. a) O impulso é numericamente igual à área do gráfico:
$A = \frac{(B + b) \cdot h}{2} = \frac{(3 + 1{,}5) \cdot 10}{2} = 22{,}5$ N · s

b) Como $I = \Delta Q$, temos:
$I = \Delta Q \Rightarrow I = m \cdot v_f - m \cdot v_i \Rightarrow 22{,}5 = 5 \cdot v_f \Rightarrow v_f = 4{,}5$ m/s

7. a) Considerando os dois peixes um sistema, podemos assumir a situação inicial como o momento antes de um peixe engolir o outro, e a situação final após o ocorrido. Podemos orientar o eixo de referência de tal forma que o peixe maior tenha velocidade positiva, e o peixe menor, velocidade negativa, já que elas estão orientadas na mesma direção (horizontal), mas em sentidos opostos. Assim, a quantidade de movimento inicial (Q_i) é dada pela soma das quantidades de movimento inicial dos dois peixes. Considerando o sinal negativo na quantidade de movimento do peixe menor, temos: $Q_i = M \cdot V - m \cdot v$

Na situação final, os dois peixes estão com a mesma velocidade v' que queremos encontrar, assim:

$Q_f = M \cdot v' + m \cdot v' \Rightarrow Q_f = (M + m) \cdot v'$

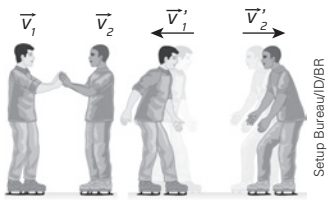
Como a resultante das forças externas que atuam no sistema é nula, pois os peixes possuem velocidade constante, a quantidade de movimento se conserva; assim, temos:

$Q_f = Q_i \Rightarrow (M + m) \cdot v' = M \cdot V - m \cdot v \Rightarrow$
$\Rightarrow (5 + 1) \cdot v' = 5 \cdot 1 + 1 \cdot (-8) \Rightarrow 6 \cdot v' = -3 \Rightarrow v' = -\frac{1}{2}$ m/s

b) Após a colisão, os dois corpos movem-se juntos, portanto: $e = \frac{v' - v'}{V + v} \Rightarrow e = \frac{0}{1 + 8} \Rightarrow e = 0$

c) Como o coeficiente de restituição é nulo, a colisão é chamada inelástica. A colisão inelástica é aquela em que ocorre a maior transformação de energia cinética possível.

8. a) Antes do empurrão, ambos estão parados um de frente para o outro e, após o empurrão, as velocidades são as mostradas na figura a seguir.



Setup Bureau/ID/BR

Representação sem proporção de tamanho.

b) Vamos considerar o sistema formado pelos patinadores **1** e **2**. A quantidade de movimento inicial (Q_i) do sistema é nula (Q_i = 0), já que ambos os patinadores se encontram inicialmente em repouso em relação ao solo. No final, eles adquirem velocidade, de modo que as quantidades de movimento Q_1 e Q_2 são: $Q_1 = m_1 \cdot v_1$ e $Q_2 = m_2 \cdot v_2$
Portanto, a quantidade de movimento total do sistema no final (Q_f) é dada pela soma das quantidades de movimento de cada patinador: $Q_f = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q_f = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$
Como a resultante das forças externas é nula, a quantidade de movimento total do sistema se conserva. Portanto:

$$Q_i = Q_f \Rightarrow 0 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = 0 \Rightarrow m_2 \cdot v_2 = -m_1 \cdot v_1 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow v_2 = -\frac{m_1 \cdot v_1}{m_2}$$

Considerando a velocidade do patinador **1** negativa (orientada para a esquerda) e substituindo na fórmula, obtemos:

$$v_2 = -\frac{70 \cdot (-0{,}4)}{60} \Rightarrow v_2 \cong 0{,}467 \text{ m/s}$$

c) Assim, eles descrevem um movimento retilíneo uniforme, movendo-se na mesma direção (horizontal), mas em sentidos opostos. Utilizando a equação da velocidade média obtemos as distâncias Δs_1 e Δs_2 que cada um dos patinadores percorre durante 4 s após o empurrão:

$v'_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t} \Rightarrow v'_1 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s_1 = 0{,}4 \cdot 4 \Rightarrow \Delta s_1 = 1{,}6$ m

$v'_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t} \Rightarrow v'_2 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s_2 \cong 0{,}467 \cdot 4 \Rightarrow \Delta s_2 \cong 1{,}868$ m

Somando os dois deslocamentos (um para cada lado), temos: $\Delta s = \Delta s_t + \Delta s_2 \Rightarrow \Delta s_t \cong 1{,}6 + 1{,}868 \Rightarrow \Delta s_t \cong 3{,}468$ m

d) Quando o patinador **1** deu o empurrão, ele aplicou uma força no patinador **2**, na direção horizontal e no sentido da esquerda para a direita, isto é, para a sua frente. Pela terceira lei de Newton, como reação, ele recebeu do patinador **2** uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido contrário, isto é, da direita para a esquerda, e, portanto, para trás dele. Assim, de acordo com a segunda lei de Newton, o patinador **1** sofreu uma aceleração para trás, e, como estava inicialmente em repouso, adquiriu velocidade que o fez se mover nesse sentido.

CAPÍTULO 4 BASES DA MECÂNICA CELESTE (PÁGINA 115)

A evolução dos modelos cosmológicos
(página 115)

- O estudo da gravitação possibilita não apenas situar a presença humana no Universo, em escalas espaciais e temporais, como compreender modelos cosmológicos e sua evolução histórica. Nesse contexto, é desenvolvida a habilidade **EM13CNT201** de Ciências da Natureza. Esses temas também são relevantes para outros aspectos do mundo contemporâneo, como as tecnologias envolvidas na exploração do espaço e nas telecomunicações, entre as quais os satélites artificiais.

Os primeiros modelos cosmológicos
(páginas 116 e 117)

- O estudo da evolução histórica dos modelos cosmológicos tem o objetivo de mostrar aos estudantes a importância desses modelos para a construção e o desenvolvimento de conhecimentos físicos relevantes, como é o da gravitação. Esse aspecto, portanto, é oportuno para o desenvolvimento da competência geral **CGEB1**, pois promove a valorização e a utilização de conhecimentos historicamente construídos.

- Esse é um dos tópicos que evidenciam que o conhecimento é permeado por concepções ou visões de mundo associadas a aspectos culturais, sociais, políticos e filosóficos. Para isso, apresentamos cosmovisões de culturas diferentes, como dos maias e dos incas, e de povos tradicionais da América Latina, como os povos indígenas do Brasil.
- Sugerimos aproveitar o boxe *Astronomia cultural ou etnoastronomia* (p. 117) para debater a importância da etnociência realizando algumas perguntas como: "Vocês conhecem outros aspectos dos conhecimentos dos povos originários?"; "De que maneira a valorização da etnociência pode contribuir para a preservação da cultura indígena?".

Modelo aristotélico (página 118)

SUGESTÃO DE AULA

- Neste tema, uma abordagem histórica se justifica pela necessidade de compreensão de diversos modelos cosmológicos que levaram ao modelo atual e também pela desmistificação da ideia de que Newton, ao observar a queda de uma maçã, teria tido uma grande "iluminação" e "inventado" a lei da gravitação. Sugerimos planejar a aula com o(a) professor(a) de História para que os estudantes reflitam sobre a construção da ciência ao longo do tempo e a influência do contexto histórico no desenvolvimento científico.
- O(A) professor(a) de História pode trazer o contexto histórico da época, explicando as crenças, a política e a sociedade em que esses modelos sobre o Universo estavam sendo pensados.
- Essa troca pode ocorrer em uma roda de conversa, e as perguntas propostas no boxe *Ciência se discute* também podem contribuir para essa discussão.

Modelo ptolomaico (página 118)

- Você pode pedir aos estudantes que façam desenhos ou um texto de como concebem o Universo. É importante ressaltar uma confusão frequente entre modelo geocêntrico e referencial geocêntrico. Portanto, ajude os estudantes a compreender a diferença entre as concepções (a aristotélica e a ptolomaica) da Terra como centro do Universo e da Terra como referencial.
- Oriente os estudantes a acessarem o objeto digital *Astronomia indígena* para conhecer mais sobre esse tema. Avalie realizar esta abordagem antes de iniciar o estudo deste tópico ou junto do boxe ***Ciência se discute***, como efeito comparativo entre visões das culturas indígenas e da cultura científica. Você também pode explorá-lo ao abordar o tópico "Os primeiros modelos cosmológicos" (p. 116-117).

Modelo copernicano (páginas 119 e 120)

- Ao tratar do modelo copernicano, ressalte a importância da obtenção de dados, da análise e da argumentação, explorando o tópico sobre Galileu. E no boxe *Roteiro* (p. 120), a proposta é fazer os estudantes retomarem a principal diferença entre o modelo de Ptolomeu e o de Copérnico.

Leis do movimento planetário (páginas 121 e 122)

- Ao introduzir as leis de Kepler, particularmente a primeira, é importante destacar que, embora Kepler tenha concluído que as órbitas planetárias são elípticas, elas têm excentricidades bem pequenas, ou seja, são próximas de órbitas circulares.
- Outro ponto importante é o fato de que o período da órbita está associado ao tamanho do percurso, ou seja, existe uma relação entre o tempo que o planeta leva para completar uma volta em torno do Sol e o tamanho e o formato de sua órbita.

Práticas de Ciências – Exploração espacial virtual (página 123)

- Esta seção propõe uma atividade de observação e exploração do espaço de uma maneira mais concreta e acessível para os estudantes, com o uso de algum *software* para acompanhar os movimentos de corpos celestes. Com base no que for explorado, os estudantes terão que propor explicações e análises dos movimentos observados. Assim, desenvolvem-se as competências gerais **CGEB5** e **CGEB9** e a habilidade **EM13CNT204**.

Lei da gravitação universal (páginas 124 e 125)

- Reafirmamos que é essencial desmistificar a concepção de que Newton chegou a essa lei em um ímpeto momentâneo, observando a queda de uma maçã. Essa lenda reforça a visão de uma Ciência que se faz apenas de descobertas e invenções realizadas por pessoas geniais e inspiradas. Não é muito natural nem intuitiva a ideia de que todos os corpos do Universo – dos grãos de poeira no ar aos planetas e estrelas – interajam da mesma maneira. A lei da gravitação mostra que os efeitos dessas forças são diferentes e dependem das massas que interagem e das distâncias entre elas.
- No Livro do Estudante, a abordagem desse tema não usa o conceito de campo gravitacional, considerado de grande abstração neste momento. Mas, se a apresentação desse conceito for considerada necessária, ele pode integrar o tema das interações gravitacionais. Nesse caso, seja pela força, seja pelo campo, a variação pelo inverso do quadrado da distância deve ser ressaltada, isto é, a interação entre massas ou a ação do campo sobre uma massa diminui em intensidade proporcional ao aumento da distância.
- Outro aspecto que se pode salientar é o fato de G ter um valor muito pequeno que mostra que a força gravitacional só tem valor significativo para massas muito grandes e/ou distâncias muito pequenas. Uma proposta interessante é fazer uma simulação com a ideia de uma constante gravitacional de valor elevado. O que aconteceria? Pode-se solicitar aos estudantes que respondam à pergunta do boxe *Roteiro* da página 124.
- Nesta seção, pode-se aproveitar para discutir com os estudantes o impacto da pós-verdade na disseminação de informações incorretas, como o terraplanismo. Proponha uma análise crítica entre os estudantes, mostrando como a ciência se baseia em fatos verificáveis e experimentação, enquanto a pós-verdade se apoia em convicções sem fundamento. Incentive os estudantes a questionarem e buscarem evidências de como a lei da gravitação contribui para confirmar a forma esférica da Terra e o movimento dos corpos celestes.

Movimento dos satélites artificiais (páginas 125 e 126)

- Para compreender como um satélite pode se manter em órbita sem cair na superfície do planeta e sem se perder no espaço, escapando pela tangente, é preciso entender que, para cada órbita de determinada altitude, existem velocidades apropriadas. Elas não são pequenas a ponto de a gravidade derrubar o satélite, mas também não são grandes o suficiente para que o satélite se liberte e escape do campo gravitacional.

Ciência tem história – Brahe, Kepler e a órbita dos planetas (página 127)

- Esta seção aborda o trabalho científico colaborativo, uma vez que Kepler se dedicou a analisar os dados catalogados por Tycho Brahe em busca de entender e descrever os movimentos dos planetas, desenvolvendo a competência geral **CGEB1** e a habilidade **EM13CNT303.**

Física e Geografia – Detritos espaciais: um desafio para a geopolítica aeroespacial (página 128)

- Esta seção propõe um trabalho interdisciplinar entre as componentes curriculares Física e Geografia. O(A) professor(a) de Geografia pode aprofundar os temas sobre geopolítica e questões econômicas, evidenciando as relações entre o desenvolvimento científico e essas temáticas. As atividades propostas permitem desenvolver as competências gerais **CGEB2** e **CGEB7** e promove a habilidade **EM13CNT303**.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Como a Lua se formou? Cientistas mapeiam presença de hidrogênio na superfície lunar (página 130)

- O texto traz uma reflexão sobre as mudanças que ocorreriam na Terra se a Lua não existisse. Embora ele parta da suposição da inexistência da Lua, o que decorre dessa suposição está embasado em teorias científicas, nos movimentos planetários e na gravitação. A seção mobiliza a competência geral **CGEB7** e a habilidade **EM13CNT303**.

FONTE COMPLEMENTAR

- Medeiros, A. Entrevista com Tycho Brahe. *Física na Escola*, [*s. l.*], v. 2, n. 2, p. 19-30, 2001. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a06.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

  Uma ficção bem-humorada de uma conversa entre Tycho Brahe e um grupo de professores sentados à beira da praia. Embasado por diversos estudos acadêmicos, o texto também pode ser utilizado como uma representação teatral para discutir aspectos históricos da Astronomia.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Visita guiada – Visitação a planetários e/ou museus de Astronomia

Se houver possibilidade, considere realizar com os estudantes uma visita guiada a espaços como planetários, observatórios ou museus de Astronomia.

Você pode encontrar opções e contatos de planetários no *site* da Associação Brasileira de Planetários (ABP), disponível em: https://planetarios.org.br/planetarios-do-brasil/. Acesso em: 14 out. 2024.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

Considere optar por estratégias diversificadas de avaliação, como a realização de seminários em grupo e a confecção de mapas conceituais, entre outras. Seminários são particularmente interessantes porque permitem que os próprios estudantes avaliem a apresentação dos colegas com o uso de rubricas preelaboradas, o que estimula o senso de responsabilidade e a empatia. Caso haja condições para a visita guiada, considere utilizar o relatório da visita como mais um recurso de avaliação.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 117)

1. O objetivo dessa questão é que os estudantes discutam sobre os corpos que podem ser observados no céu noturno, como as estrelas chamadas Três Marias, localizadas na constelação de Órion. Espera-se que os estudantes respondam que as constelações correspondem a uma área delimitada no céu e a todos os corpos celestes contidos nela. Já os asterismos podem ser definidos como um conjunto de estrelas observável no céu e facilmente reconhecível, como as Três Marias. São identificados por um nome, mas não constituem uma das 88 constelações, porém alguns povos (indígenas, por exemplo) ainda usam esses desenhos no céu para acompanhar as atividades cotidianas.

Física e Geografia – Detritos espaciais: um desafio para a geopolítica aeroespacial (página 129)

3. c) Resposta variável. Espera-se que os estudantes conversem sobre as dificuldades de os países entrarem em acordo e financiarem projetos desse tipo, que possuem custos muito altos e retornos não imediatos. Para a elaboração do texto, aproveite para orientar os estudantes para evitarem digressões e, depois de escreverem, sugira que eles releiam com atenção para avaliar se as informações discutidas no grupo estão evidentes no texto. Essa atividade trabalha a competência geral **CGEB9** e o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia.**

Atividades (página 131)

1. Hoje em dia, podemos utilizar imagens de satélite ou outros corpos em órbita da Terra para mostrar seu movimento em relação ao Sol.

4. a) Falsa. A Estação Espacial Internacional não é geoestacionária, pois ela tem um movimento relativo em relação à Terra. Ela seria geoestacionária caso se movesse sobre a linha do Equador com a mesma velocidade angular da Terra.

b) Falsa. Na verdade, é a ISS que tem uma vista mais privilegiada da Terra. Devido a seu ângulo de inclinação ser maior, ou seja, estar mais próximo do polo, uma maior parte da Terra "passa por dentro" do arco considerado.

5. a) A terceira lei de Kepler postula que a razão do quadrado dos períodos com o cubo do raio orbital é igual a 1. Assim:

$$\frac{T^2_{Luna}}{R^3_{Luna}} = \frac{T^2_{Moon}}{R^3_{Moon}} \Rightarrow \frac{4^2}{R^3} = \frac{32^2}{R^3_{Moon}} \Rightarrow \frac{16}{R^3} = \frac{1024}{R^3_{Moon}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R^3_{Moon} = \frac{1024}{16} \cdot R^3 \Rightarrow R_{Moon} = 64 \cdot R^3 \Rightarrow R_{Moon} = 4R$$

Seguimos o mesmo raciocínio para calcular o período de Selenium, que é de 108 dias.

	MASSA (KG)	RAIO ORBITAL	PERÍODO (DIA)
Luna 1	150	R	4
Moon Observer	1 238	4R	32
Selenium	390	9R	108

6. a) Para saber a força gravitacional que a Lua aplica sobre uma pessoa distante dela, podemos utilizar a equação da atração gravitacional de Newton:

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow F = \frac{6{,}67 \cdot 10^{11} \cdot 60 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6 \cdot 80}{(7{,}36 \cdot 10^{22})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 3{,}8 \cdot 10^{-39}\ \text{N}$$

b) Sabendo que o peso da pessoa na superfície da Terra seria de 800 N, temos que o peso da pessoa na Terra é 10^{37} vezes maior que a força que a Lua exerce sobre ela.

7. a) Utilizando a equação da velocidade orbital, temos:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6{,}4 \cdot 10^6}} \therefore v = 8{,}1 \cdot 10^3\ \text{m/s}$$

b) $$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{2 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6}} \therefore v = 5{,}7 \cdot 10^3\ \text{m/s}$$

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 132 A 135)

Pensando Ciências – Como saber se um carro é seguro? (páginas 132 e 133)

- Esta seção favorece o desenvolvimento das competências gerais **CGEB7**, **CGEB9** e **CGEB10**, além das habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301** e **EM13CNT303** e o trabalho com o tema contemporâneo transversal **Educação para o trânsito**, da área Cidadania e civismo.
- No *site* do Programa de Avaliação de Carros Novos para América Latina e o Caribe (Latin NCAP), disponível em: https://www.latinncap.com/po/nossos-testes (acesso em: 14 out. 2024), é possível encontrar informações sobre os tipos de teste de colisão (*crash tests*) realizados em veículos e sobre os níveis de segurança oferecidos por diferentes modelos de veículos.
- Se necessário, oriente os estudantes na pesquisa e na elaboração de outras perguntas, além das sugeridas na etapa "Decompondo o problema".
  - Alguns itens de segurança obrigatórios em um veículo são: sistema de freios, lanterna e iluminação para as sinalizações necessárias, cinto de segurança, *airbags*, encosto de cabeça antichicote, espelhos retrovisores, limpador de para-brisas, vidros com transparência adequada, buzina, pneus em bom estado (acompanhados de estepe e *kit* de ferramentas básicas), triângulo sinalizador e cadeirinha de retenção para passageiros com idade de 1 a 4 anos.
  - Os conceitos da Cinemática envolvidos na segurança dos carros são a velocidade e a aceleração. Os conceitos da Dinâmica envolvidos são: inércia, força, energia mecânica, quantidade de movimento e impulso.
  - Os tipos de colisão mais comuns entre os carros são as parcialmente elásticas, embora as inelásticas também ocorram, principalmente nos casos em que um carro atinge frontalmente a lateral do outro e ambos permanecem praticamente juntos e parados após a colisão.
  - São realizados impactos frontais e laterais do carro com determinados obstáculos deformáveis. Uma vez que o mais importante é avaliar a segurança dos passageiros e do motorista no acidente, são colocados, no interior do carro, bonecos (*dummies*) dotados de sensores para mensurar a intensidade do impacto deles com as partes internas do automóvel.
  - Na etapa "Reconhecendo padrões", aproveite para retomar as três leis de Newton, os conceitos de quantidade de movimento e impulso e relacioná-los com a situação que envolve a colisão de dois veículos. Uma simulação de colisão interessante de ser realizada com os estudantes encontra-se no *site* da PhET Interactive Simulations, da Universidade do Colorado Boulder, disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/collision-lab (acesso em: 14 out. 2024) (conteúdo em português).
- Na etapa "Abstraindo o problema", os itens de segurança diretamente relacionados à inércia são: o cinto de segurança, o *airbag* e o encosto de cabeça.
- Um possível algoritmo envolve a realização de um teste de colisão (*crash test*) que avalie os efeitos do impacto sobre os passageiros, levando em consideração a eficácia de alguns dispositivos, como o cinto de segurança, o *airbag* e o encosto de cabeça. Para isso, é preciso realizar os seguintes passos:

1. Estabelecer um local apropriado (amplo, aberto, seguro, no qual não circulem pessoas e com terreno adequado para o trânsito de carros).
2. Reunir obstáculos para realizar a colisão do carro com eles.
3. Colocar no interior do veículo bonecos com sensores distribuídos pelo corpo e capazes de medir de maneira precisa as forças de contato entre cada boneco e o carro.
4. Realizar diversos tipos de colisão.
5. Ler os dados fornecidos pelos sensores para mensurar o impacto sofrido pelos bonecos nas diversas colisões.
6. Estabelecer um critério para avaliar a eficiência do sistema de segurança dos carros com base nos valores registrados pelos sensores. Esse critério deve considerar que valores maiores correspondem a uma menor eficiência do sistema de segurança do veículo. Assim, pode-se criar uma média ponderada com pesos que considerem as regiões atingidas nas proximidades da cabeça (impactos mais graves e com maior potencial letal que em outras partes do corpo do boneco). Essa média também pode ser ponderada pelo tipo de colisão realizada, isto é, se um tipo for mais comum, como a colisão frontal, então ela terá maior importância que a colisão lateral, que é menos frequente.
7. Fazer uma avaliação final com base na conta realizada pelo critério estabelecido no item anterior.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Pensando Ciências – Como saber se um carro é seguro? (página 133)

1. Respostas variáveis. Espera-se que haja diferenças entre os algoritmos produzidos pelos grupos, seja no teste de colisão proposto, seja nos itens de segurança considerados para análise no veículo.
2. Respostas variáveis. Os algoritmos podem apresentar maneiras de calcular o impacto causado em um veículo após uma colisão determinando a quantidade de movimento ($Q = m \cdot v$) ou o impulso ($I = F \cdot \Delta t$), por exemplo. Porém, é importante salientar a complexidade matemática para realizar esses cálculos quando as forças envolvidas não são constantes, como é o caso de uma colisão. Assim, os algoritmos dos estudantes que envolverem cálculos devem esbarrar nessas limitações operacionais. Para saber como isso pode ser feito com estudantes de Ensino Médio sem incorrer em

imprecisões conceituais, você pode ler o artigo: WRASSE, A. C. *et al.* Investigando o impulso em *crash tests* utilizando videoanálise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 1501-6, jan./mar. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbef/v36n1/19.pdf. Acesso em: 14 out. 2024.

2. Respostas variáveis. As limitações operacionais para o cálculo de certas grandezas físicas em situações nas quais as forças não são constantes oferecem bastante dificuldade para estudantes do Ensino Médio. Eles também podem ter sentido dificuldade em obter descrições detalhadas sobre os tipos de teste de colisão comumente aplicados em veículos.

Questões globais (páginas 134 e 135)

1. Resposta: alternativa **a**. Ao correr sobre a superfície da água, o lagarto exerce uma "patada" que tem uma componente de força horizontal para trás e uma vertical para baixo. A superfície da água reage com uma componente de força vertical para cima, que equilibra o peso do lagarto, impedindo que ele afunde, e uma outra componente horizontal para a frente, que vai acelerar o lagarto na direção horizontal. Aqui não se aplica o princípio de Arquimedes, pois não há volume imerso do lagarto. Em relação à tensão superficial, ela não é o suficiente para evitar que o lagarto afunde – se ele ficar parado, afundará.

2. Resposta: alternativa **a**. Considerando os passos a seguir, temos:

1. Ao acelerar, a tendência da carga, transportada pelo caminhão, é de escorregar para trás, e a força de atrito se manifestar para a frente, enquanto a tensão na corda **1** será nula.

2. Logo, temos:

$T_2 + F_{at} = M \cdot a_1 \Rightarrow T_2 + \mu_e \cdot M_g = M \cdot a_1 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_2 + 0{,}2 \cdot 200 \cdot 10 = 200 \cdot 3{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_2 + 400 = 600 \Rightarrow T_2 = 200$ N

3. Ao frear, a tendência da carga transportada pelo caminhão é escorregar para a frente, e a força de atrito se manifestar para trás, enquanto a tensão na corda **2** será nula.

4. Logo, temos: $T_1 + F_{at} = M \cdot a_2 \Rightarrow T_1 + \mu_e \cdot M_g = M \cdot a_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_1 + 0{,}2 \cdot 200 \cdot 10 = 200 \cdot 5{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_1 + 400 = 1\,000 \Rightarrow T_1 = 600$ N

3. Resposta: alternativa **d**. Da conservação de energia, temos:

$E_m^f = E_m^i \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 2m \cdot g \cdot R = m \cdot v^2$

Da força resultante no ponto mais baixo e substituindo o resultado anterior, temos:

$2T - mg = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow 2T - mg = \frac{2mgR}{R} \Rightarrow 2T = 2mg + mg \Rightarrow$

$\Rightarrow T = 1{,}5 \cdot mg$

Portanto: $T_{rup} = 1{,}25 \cdot T \Rightarrow T_{rup} = 1{,}25 \cdot 1{,}5 \cdot 24 \cdot 10 = 450$ N

4. Soma das alternativas corretas: 08 + 16 = 24.

(01) Incorreta. A energia potencial gravitacional depende da massa.

(02) Incorreta. Será a mesma energia mecânica se tiver a mesma variação de altura.

(04) Incorreta. O trabalho depende da força peso. Como as massas são diferentes, o trabalho será diferente.

(08) Correta. Pela conservação de energia, temos:

$E_m^f = E_m^i \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$

(16) Correta. $0{,}75 \cdot mgH = \frac{m \cdot v^2}{2} + mgh \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}75 \cdot gH = \frac{v^2}{2} + gh \Rightarrow 0{,}75 \cdot 10 \cdot 3 = \frac{v^2}{2} + 10 \cdot 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow v = 5$ m/s

5. Resposta: alternativa **a**. Na colisão com a barreira de pneus, a variação da quantidade de movimento precisa ser maior para parar o carro e inverter o sentido de sua velocidade que na colisão com a parede em que o carro não inverte seu movimento. Como: $\Delta Q = F \cdot \Delta t$, considerando que a duração das duas colisões é praticamente a mesma, a força será maior no caso da colisão com os pneus.

Analisando a energia cinética, na situação da colisão com os pneus, o carro volta, portanto, sua velocidade final é diferente de zero. No caso da colisão com os blocos, o carro para (velocidade zero), portanto, a variação da energia cinética é maior, e assim mais energia é dissipada neste caso.

6. Resposta: alternativa **a**. Considerando o Sol com massa M, um planeta com massa m e raio de órbita R, a intensidade da força gravitacional que age no planeta é dada por:

$F = \frac{GMm}{R^2}$, em que G corresponde à constante gravitacional universal. Como a massa do buraco negro é igual à massa do Sol, a força gravitacional terá sua intensidade inalterada, e assim sua órbita continuará a mesma. É importante observar que, como o horizonte de eventos do buraco negro é de 3,0 km, isso não afeta a órbita dos planetas.

7. Resposta: alternativa **c**. Considerando os dados fornecidos pela tabela e aplicando a terceira lei de Kepler, ao comparar o planeta-anão Ceres e a Terra, temos:

$\frac{T_T^2}{R_T^3} = \frac{T_C^2}{R_C^3} \Rightarrow \frac{1}{1} = \frac{T_C^2}{(2{,}77)^3} \Rightarrow T_C^2 = (2{,}77)^3 = 21{,}3\ (\text{ano})^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow T_C \cong 4{,}61$ anos

8. **a)** Para escapar da atração da Terra, a velocidade do foguete deve ser sua velocidade orbital, considerando que a distância a ser vencida é o raio da Terra. Assim:

$v = \sqrt{\frac{2\,G \cdot M}{r}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6{,}4 \cdot 10^6}} \Rightarrow$

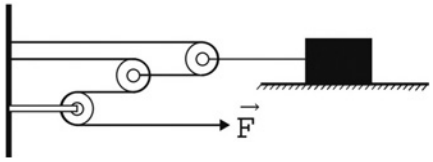
$\Rightarrow v = 11{,}2 \cdot 10^3$ m/s

b) Para que o foguete atinja uma órbita específica, basta mudar o raio na equação da velocidade orbital. Assim, temos:

$v = \sqrt{\frac{6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{5 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6}} \Rightarrow v = 3{,}5 \cdot 10^3$ m/s

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato. É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3 000 kg, que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força $\vec{F}$, paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N. Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s² e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



ENEM, 2016. Fac-símile: ID/BR

Disponível em: www.histedbr.fae.unicamp.br. Acesso em: 28 fev. 2013 (adaptado).

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

a) 3. **b)** 6. **c)** 7. **d)** 8. **e)** 10.

Alternativa **b**. Essa questão trabalha o conceito de máquinas simples (polias).

Inicialmente, deve-se encontrar a força de atrito máxima:

$F_{at} = \mu_e \cdot N = \mu_e \cdot m \cdot g = 0{,}8 \cdot 3\,000 \cdot 10 \Rightarrow F_{at} = 24\,000$ N

A força aplicada por Arquimedes teve intensidade $F = 400$ N.

A vantagem mecânica das polias móveis é: $F = \frac{F_R}{2^n}$

Nesse caso, F é a força aplicada por Arquimedes e F_{at} é a força de atrito do barco, portanto:

$400 = \frac{24\,000}{2^n} \Rightarrow 400 \cdot 2^n = 24\,000 \Rightarrow 2^n = 60$

Por aproximação, $2^6 = 64$, então o número de polias móveis é igual a 6.

2. (**Enem**) Em qualquer obra de construção civil é fundamental a utilização de equipamentos de proteção individual, tal como capacetes. Por exemplo, a queda livre de um tijolo de massa 2,5 kg de uma altura de 5 m, cujo impacto contra um capacete pode durar até 0,5 s, resulta em uma força impulsiva média maior do que o peso do tijolo. Suponha que a aceleração gravitacional seja 10 m s^{-2} e que o efeito de resistência do ar seja desprezível. A força impulsiva média gerada por esse impacto equivale ao peso de quantos tijolos iguais?

a) 2 **b)** 5 **c)** 10 **d)** 20 **e)** 50

Alternativa **a**. Essa questão trabalha os conceitos do teorema do impulso e de energia.

Inicialmente, utilizam-se os conceitos de energia para determinar a velocidade do tijolo ao atingir o capacete:

$E_{pot} = E_{cin} \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow g \cdot h = \frac{v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v^2 = 2 \cdot g \cdot h \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} \Rightarrow v = 10$ m/s

Utilizando o teorema do impulso, podemos determinar a força de impacto:

$I = \Delta Q \Rightarrow F \cdot \Delta t = m \cdot v_f - m \cdot v_i \Rightarrow F = \frac{m \cdot (v_f - v_i)}{\Delta t} =$

$= \frac{2{,}5 \cdot [0 - (-10)]}{0{,}5} = 50$ N

A força peso do tijolo é: $P = m \cdot g = 2{,}5 \cdot 10 = 25$ N

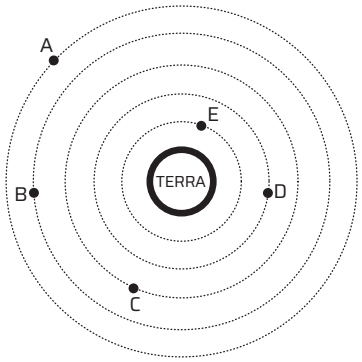
Portanto, a força de impacto é igual a 2 vezes a força peso.

3. (**Enem**) A Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, estabelece a intensidade da força de atração entre duas massas. Ela é representada pela expressão:

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$

onde m_1 e m_2 correspondem às massas dos corpos, d é a distância entre eles, G é a constante universal da gravitação, e F corresponde à força que um corpo exerce sobre o outro.

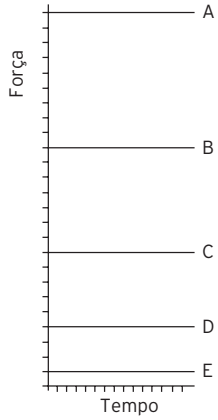
O esquema a seguir representa as trajetórias circulares de cinco satélites de mesma massa orbitando a Terra.



Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

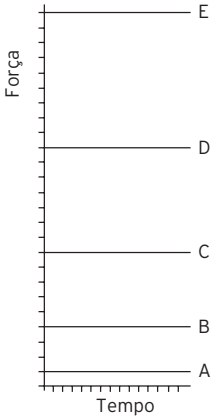
Qual gráfico expressa as intensidades das forças que a Terra exerce sobre cada satélite em função do tempo?

a)



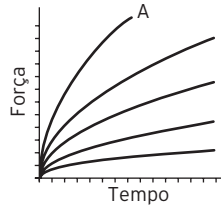
Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

b)



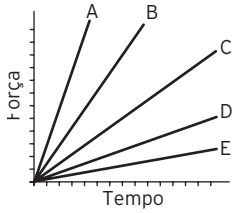
Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

c)



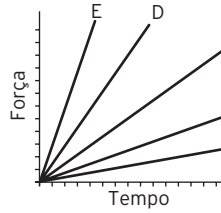
Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

d)



Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

e)



Enem, 2016. Fac-símile: ID/BR

Pela expressão fornecida pelo enunciado, vemos que a força é diretamente proporcional às massas e inversamente proporcional à distância entre os corpos. Como esses valores não se alteram na prática, a força em relação ao tempo é uma reta constante. Como a massa dos satélites é a mesma, a única grandeza que se altera de um para o outro é a distância entre o satélite e o planeta. Lembrando: quanto maior a distância entre os corpos, menor a força de atração devido à relação inversamente proporcional entre as grandezas. Assim, $F_A < F_B < F_C < F_D < F_E$, o que encontramos na alternativa **b**.

3 ESTÁTICA

INTRODUÇÃO

Esta unidade compreende dois capítulos. No capítulo 1, estudam-se o torque e as alavancas, com exemplos práticos que trazem os conceitos para mais perto da realidade dos estudantes. Também são analisadas algumas máquinas simples que facilitam as tarefas diárias, ao reduzir a força necessária ou ao direcionar sua aplicação. No capítulo 2, são estudados os fluidos, explicados de acordo com as leis de Newton, que se aplicam tanto a corpos sólidos como a líquidos e gases.

Os objetivos da unidade se articulam a este e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Por exemplo, o estudo das alavancas permite que o estudante analise a evolução histórica do conceito e das aplicações tecnológicas, em sintonia com a competência geral **CGEB1.** A identificação dos diferentes tipos de alavancas e seus funcionamentos se relaciona com as competências **CGEB2** e **CGEB4**. A atenção à utilização adequada das ferramentas e aos riscos na sua utilização promove a habilidade específica **EM13CNT306**. No entendimento da natureza dos fluidos e das grandezas necessárias para seu estudo, relacionam-se novamente as competências gerais **CGEB1** e **CGEB2**. E, ao abordar o tema importante das enchentes e sua prevenção, desenvolvem-se a competência geral **CGEB7**, a competência específica **CECNTEM3** e a habilidade **EM13CNT301**.

Sugestão de planejamento

Sugere-se que o planejamento dessa unidade seja feito considerando os variados momentos para atividades práticas, no laboratório da escola, se houver, ou na sala de aula. A seção *Física e Educação Física* oferece uma boa oportunidade de trabalho interdisciplinar ao explorar o efeito Magnus. Combine com o(a) professor(a) de Educação Física um momento para exibir o efeito na prática. Caso não seja possível, avalie apresentar vídeos que retratem esse efeito durante uma partida de futebol, para que os estudantes vejam como ele ocorre.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Entender e aplicar o conceito de torque. • Calcular intensidade e analisar a direção e o sentido de um torque em situações diversas. • Entender e aplicar o conceito de braço de alavanca. • Compreender o funcionamento dos diferentes tipos de alavancas como ferramentas de ampliação de forças. • Identificar objetos, ferramentas e sistemas do corpo humano que fazem uso de alavancas. • Determinar condições de equilíbrio em um sistema de alavancas.	CGEB1 CGEB2 CGEB3 CGEB4 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT301 EM13CNT306	
2	• Entender os fluidos e reconhecer suas características. • Compreender as grandezas físicas que estão presentes no estudo dos fluidos. • Compreender os efeitos da pressão atmosférica. • Entender os princípios da Física dos fluidos. • Compreender a flutuação dos corpos e definir as condições de flutuabilidade.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CGEB5 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT204 EM13CNT301 EM13CNT303 EM13CNT306 EM13CNT307 EM13CNT310	Saúde
Fechamento da unidade	• Investigar e criar estratégias para prevenir enchentes.	CGEB2 CGEB7 CGEB9 CECNTEM3	EM13CNT301	Educação ambiental

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 136 E 137)

- Ao iniciar a unidade, utilize as questões da abertura para despertar a curiosidade dos estudantes com relação ao tema. Além disso, as perguntas podem ser úteis para diagnosticar os conhecimentos prévios deles.
- Durante essa conversa inicial, sugerimos notar se os estudantes utilizam palavras como densidade, equilíbrio, flutuação, entre outros relacionados à Estática. À medida que eles forem surgindo, pergunte-lhes o que sabem deles, procurando valorizar seus conhecimentos prévios e a participação no diálogo.
- Caso oportuno, mostre mais imagens da instalação *Teeter-totter wall*, presente na abertura do capítulo. No *site* (em inglês) disponível em: https://www.rael-sanfratello.com/made/teetertotter-wall (acesso em: 19 out. 2024), há fotos de pessoas interagindo com ela e esquemas retratando sua estrutura.

Repasse com os estudantes as imagens e aproveite para estimular uma reflexão sobre a importância e a valorização da arte para debater temas complexos e sensíveis, como as desigualdades e as diferenças sociais, políticas, econômicas, demográficas e culturais de outros povos e países (e também do Brasil), promovendo a competência geral **CGEB3** (valorizar e fruir as diversas manifestações artísticas e culturais, das locais às mundiais).

CAPÍTULO 1 *TORQUE* (PÁGINA 138)

- O conteúdo deste capítulo estende o conceito de torque para que os estudantes proponham questões, elaborem hipóteses, interpretem modelos e resultados e realizem previsões a partir de atividades experimentais. Assim, promove particularmente o desenvolvimento das competências gerais **CGEB1** (valorizar o conhecimento sobre o mundo físico para explicar a realidade), **CGEB2** (exercitar a curiosidade e utilizar as ciências com criticidade para investigar causas) e **CGEB4** (utilizar termos e expressões da linguagem científica e diferentes formas de representação) e das habilidades **EM13CNT101** (analisar as conservações de energia para fazer previsões sobre seu comportamento em situações do dia a dia), **EM13CNT301** (elaborar hipóteses, interpretar modelos e justificar conclusões) e **EM13CNT306** (avaliar riscos em atividades cotidianas).

Relação entre equilíbrio e força em corpos extensos (página 138)

- O termo "equilíbrio" pode ser associado a situações de repouso, o equilíbrio estático, ou remeter ao equilíbrio que ocorre durante um movimento, o equilíbrio dinâmico. Se considerar adequado, faça uma tabela no quadro com quatro colunas: na primeira coluna, escreva as situações citadas pelos estudantes e nas demais leve-os a classificá-las, por exemplo: uma coluna para ausência de movimento, outra para movimento de translação e outra, ainda, para movimento de rotação). A proposta de construir coletivamente essa tabela será útil para que os estudantes cheguem a uma conclusão do que se entende por equilíbrio.

Torque (página 139)

- O conceito de torque costuma ser menos intuitivo que o conceito de força. Assim, antes de introduzir a expressão matemática do torque, é aconselhável levantar alguns exemplos de situações familiares, como em uma gangorra, no ato de abrir e fechar uma porta ou de parafusar e desparafusar, na articulação de um braço, entre outros. Saliente que em todos eles há rotação. Tais exemplos permitem reconhecer que o conceito de força não é suficiente para descrever e explicar alguns movimentos ou situações de equilíbrio.
- Exemplos como o da porta ou da gangorra são elucidativos nesse sentido: Por que a maçaneta fica do lado oposto ao das dobradiças? Por que aplicamos uma força perpendicular ao plano da porta? Por que, na gangorra, as pessoas precisam se sentar nas extremidades? O que ocorre se elas tiverem massas muito diferentes (uma criança pequena e um adulto alto, por exemplo)? Por que, ao empurrar um livro sobre uma mesa, ele pode girar ou se deslocar em linha reta? Essas questões levam a identificar as variáveis relevantes na rotação e a definir o conceito de torque: a intensidade da força (criança e adulto na gangorra) e a distância do ponto de aplicação da força em relação ao ponto/eixo fixo (maçaneta da porta, posição das pessoas na gangorra, ponto de aplicação da força sobre o livro).

Relação entre o torque e a direção da força (página 139)

- A partir da pergunta proposta no boxe *Roteiro*, discuta com a turma como o ângulo formado entre a direção da força e o braço de alavanca interfere no torque (se, por exemplo, a força aplicada à maçaneta for paralela à superfície da porta, a maçaneta não se move). Se julgar conveniente, utilize um gráfico da função seno para demonstrar a influência do ângulo entre o braço e a direção da força no torque, e aproveite para explorar o papel da Matemática nesse tema com o boxe *Física e Matemática* sobre a decomposição de forças.

Centro de massa (página 140)

- Nesta seção, se for possível, sugerimos utilizar um cabide de roupa para mostrar que nem sempre o centro de massa está no corpo. Essa demonstração pode ser feita pendurando o cabide em diferentes pontos de apoio. Encoste no quadro para marcar a reta na vertical que passa pelo ponto de apoio. Depois de fazer esse procedimento em uns três pontos, o ponto de cruzamento entre as retas indica o centro de massa do cabide.

Alavancas (página 141)

- As alavancas são máquinas simples que facilitam o trabalho humano. Avalie iniciar esse tópico propondo aos estudantes que tragam exemplos de ferramentas, utensílios domésticos ou máquinas simples que apresentem vantagens em relação ao trabalho humano. Mostre-lhes também que partes do corpo humano também são consideradas alavancas. Esse levantamento pode conter elementos muito diversos. Sugerimos que você selecione alguns exemplos que se enquadrem nas categorias estudadas e incentive a turma a discuti-los.
- Oriente os estudantes a acessarem o objeto digital *Alavancas no cotidiano*, que é um carrossel de imagens. Aproveite para articular a leitura dessas imagens com a discussão da apresentação das alavancas feita no início do tópico. Sugerimos visualizar as imagens da galeria após o levantamento prévio de exemplos em classe, validando algumas menções e corrigindo a concepção de outras.

Forças em uma alavanca (página 142)

- Enfatize que as distâncias e as forças envolvidas em cada tipo de alavanca resultam em diferentes efeitos; outro aspecto importante é o ponto de apoio, que pode alterar a intensidade necessária para realizar uma tarefa.
- Além das alavancas, outras máquinas simples são muito úteis para mudar a direção ou até mesmo diminuir a intensidade da força necessária para mover um objeto.
- Utilize exemplos de planos inclinados, como rampas, facas, cunhas, etc., para mostrar que é possível diminuir o esforço em determinadas tarefas.

Práticas de Ciências – Alavancas no dia a dia (página 143)

- As dificuldades enfrentadas na realização de algumas tarefas simples, como erguer um objeto muito pesado, cortar algo ou mesmo pôr em funcionamento certas partes do corpo, mostram que a relação entre braço de alavanca, ponto de apoio e força é muito presente em nosso dia a dia. Essa seção promove particularmente o desenvolvimento da competência geral **CGEB2** e da habilidade **EM13CNT301**, ao levar os estudantes a construir questões, fazer previsões e representar modelos explicativos de aplicações múltiplas de alavancas.

- A proximidade com a vida cotidiana dos estudantes pode ser um incentivo para que eles aprofundem os estudos com curiosidade genuína.
- Na etapa "Como fazer", as orientações aos grupos que vão trabalhar com as alavancas na construção civil mostram que a ideia de alavancas está associada a diversos objetos. Elas estão presentes em diversos instrumentos, desde ferramentas simples, que cabem na mão, até as gruas e os guindastes para transporte de material. Os grupos que vão trabalhar com as alavancas das atividades de musculação devem explorar as alavancas presentes no corpo humano e as alavancas nos aparelhos. A observação direta dos aparelhos ou a exploração dos diversos exercícios com peso permitem aos estudantes compreender os princípios físicos de maneira aplicada.
- O texto "Conceitos e aplicações da Cinesiologia", da seção *Texto complementar* deste capítulo, assinala a aplicação do conceito de torque nos estudos dos movimentos de flexão e extensão dos segmentos corporais ao redor das articulações.

FONTE COMPLEMENTAR

- Ferreira, R. C.; Santos, W. M. S.; Dias, P. M. C. Construção do conceito de "momento de uma força" a partir de experimentos relacionados ao cotidiano. *Física na Escola*, São Paulo, v. 9, n. 1, 2008. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol9/Num1/torque.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

  O artigo propõe três experimentos com materiais simples, para tratar do conceito de momento de uma força (torque): no primeiro, o conceito é abordado pela construção de um protótipo de gangorra; no segundo, pelo protótipo de uma porta; no terceiro, pela visualização de situações de equilíbrio e de rotação de uma barra sólida.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Atividade de pesquisa

Forme um grupo com alguns colegas. Escolham três modalidades esportivas olímpicas. Pesquisem em *sites* confiáveis os movimentos corporais praticados nessas modalidades e analisem os principais movimentos do ponto de vista das forças e do torque envolvidos.

TEXTO COMPLEMENTAR

Conceitos e aplicações da Cinesiologia

A Cinesiologia é uma área de estudo que tem como objetivo compreender os fundamentos do movimento humano a partir da criteriosa análise de suas estruturas anatômicas, especialmente, dos ossos e músculos esqueléticos. O termo Cinesiologia tem origem do grego (*kinein* = movimento; *logos* = = estudo) e significa literalmente "estudo do movimento".

[...]

Compreender o movimento humano na perspectiva anatômica e funcional é importante, uma vez que a história evolutiva do homem o moldou para a atividade física. Por exemplo, sabemos que a maioria das alavancas mecânicas no corpo humano é otimizada para desenvolver velocidade e não força; isto atesta que evoluímos **com** e **para** o movimento, afinal, nossos ancestrais tinham que ser velozes e assim aumentar a chance de sobrevivência em um mundo onde a regra era correr para não ser devorado por um animal feroz ou correr para tentar pegar algum animal para sua alimentação.

Outro aspecto que caracteriza a importância de estudar Cinesiologia diz respeito ao fato de que ao compreender as causas e efeitos do movimento, podemos, através do uso deste conhecimento, estabelecer os limites aceitáveis de estresse que as estruturas locomotoras do corpo humano são capazes de suportar. Isto assume especial importância na prescrição do exercício físico para as diferentes populações, tanto para a melhoria das capacidades físicas, quanto para a elucidação dos mecanismos que acarretam lesões no sistema muscular e esquelético humano.

Os benefícios da atividade física na promoção da saúde e da qualidade de vida são evidentes e amplamente conhecidos na comunidade científica, desde que a mesma considere as limitações e possibilidades de quem a pratica; por exemplo, a simples atividade de varrer uma casa pode ser prejudicial à saúde se a postura corporal adotada não for adequada para esta atividade

No mundo do esporte, a Cinesiologia também é fundamental; uma boa técnica na execução de um gesto locomotor em qualquer esporte nada mais é do que o movimento realizado com habilidade, ou seja, com economia de energia e no menor tempo possível, configurando o que chamamos de movimento com elevada eficiência.

[...]

Oliveira, A. L. de. *et al.* Cinesiologia. Ponta Grossa: Ed. da UEPG, 2011. p. 21. Disponível em: http://www.cpaqv.org/cinesiologia/livro_cinesiologia_guanis.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Considere aproveitar as atividades propostas no boxe *Roteiro* e na seção *Atividades* (p. 144) como avaliação formativa, a fim de identificar os pontos frágeis da aprendizagem dos conceitos abordados neste capítulo.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (página 144)

2. a) Para saber o sentido que a barra vai girar, devemos conhecer a intensidade de cada torque, pois ela vai girar no sentido do torque mais intenso.

A intensidade do torque de uma força $\vec{F}$ é o módulo desse torque e é calculada da seguinte maneira:

$|\vec{M}| = F \cdot b$, em que $F = |\vec{F}|$ e b é o braço do momento $\vec{M}$ realizado pela força $\vec{F}$.

Portanto, ao converter os braços b_1 e b_2 em metro, a intensidade do torque da força $\vec{F}_1$ é:

$M_1 = F_1 \cdot b_1 \Rightarrow M_1 = 10 \cdot 0{,}3 \Rightarrow M_1 = 3\ \text{N} \cdot \text{m}$

A intensidade do torque da força $\vec{F}_2$ é:

$M_2 = F_2 \cdot b_2 \Rightarrow M_2 = 6 \cdot 0{,}6 \Rightarrow M_2 = 3{,}6\ \text{N} \cdot \text{m}$

Como o torque da força $\vec{F}_2$ é mais intenso que o torque da força $\vec{F}_1$, a barra vai girar no sentido anti-horário.

b) Considerando o torque no sentido horário negativo e no sentido anti-horário positivo, temos:

$M_1 = -3\ \text{N} \cdot \text{m}$ e $M_2 = 3{,}6\ \text{N} \cdot \text{m}$

Assim, o torque resultante será a soma dos dois:

$M = M_1 + M_2 = -3 + 3{,}6\ \text{N} = 0{,}6\ \text{N} \cdot \text{m}$

c) Para que o sistema permaneça em equilíbrio, o somatório dos torques deve ser nulo.

$M_1 + M_2 = 0 \Rightarrow -M_1 = M_2$

Como o torque t_1 gera rotação no sentido horário, ele é negativo. Dessa forma, podemos eliminar o sinal de negativo da expressão.

$F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2 \Rightarrow F_1 \cdot 0{,}3 = 6 \cdot 0{,}6 \Rightarrow F_1 = 12\ \text{N}$

Portanto, para manter o sistema em equilíbrio, a força F_1 deverá ter intensidade de 12 N.

3. Para encontrar o valor da força que deve ser aplicada na chave, é preciso substituir os valores na equação do torque (lembrando-se de transformar centímetro em metro):

$M = F \cdot b \Rightarrow F = \frac{M}{b} = \frac{150}{0{,}15} = 1\,000$

Portanto, a força que deve ser aplicada ao parafuso é 1 000 N.

4. Se as duas pessoas sentadas na gangorra estão em equilíbrio, seus torques devem ser iguais:

$M_1 = M_2 \Rightarrow F_1 \cdot b_1 = F_2 \cdot b_2 \Rightarrow 500 \cdot 2 = 625 \cdot b_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow b_2 = 1{,}6\ \text{m}$

Logo, o rapaz à direita deverá estar a 1,6 m do ponto de apoio para que o sistema permaneça em equilíbrio.

5. Para a condição de equilíbrio da alavanca, temos de igualar os torques – do corpo com peso de 60 N em *A* e da força que deve ser aplicada em *B*:

$M_A + M_B = 0 \Rightarrow P_A \cdot b_A = F_B \cdot b_B$

Na equação, P_A é o peso de 60 N; b_A é o braço de *A*; F_B é a força do ponto *B*; e b_B é o braço da força em *B*. Substituindo os valores na equação, podemos encontrar a força F_B:

$60 \cdot 0{,}7 = F_B \cdot 5 \Rightarrow F_B = 8{,}4\ \text{N}$

Portanto, a força que deve ser aplicada ao apoio *B* para que o sistema permaneça em equilíbrio tem intensidade 8,4 N.

6. Para calcular o menor valor da força que a pessoa deverá fazer na alavanca, devemos aplicar a condição de equilíbrio.

$M_P = M_F \Rightarrow P_P \cdot b_P = F \cdot b_F$

Como a pedra tem massa de 120 kg, devemos calcular seu peso:

$P_P = m \cdot g = 120 \cdot 10 = 1\,200\ \text{N}$

Substituindo os valores da figura e do peso da pedra na equação de condição de equilíbrio da alavanca, poderemos encontrar a força:

$1\,200 \cdot 0{,}5 = F \cdot 2 \Rightarrow F = 300\ \text{N}$

Portanto, a menor força que a pessoa deve aplicar na alavanca para mover a pedra tem intensidade de 300 N. Esse exercício pode mostrar a função de uma alavanca quando se deseja mover corpos muito pesados. A pessoa deve aplicar uma força quatro vezes menor que o peso da pedra para movê-la com a alavanca.

CAPÍTULO 2 ESTUDO DOS FLUIDOS (PÁGINA 145)

O que são fluidos (página 145)

- Sugere-se que a introdução desse capítulo seja feita de maneira que os estudantes compartilhem suas visões sobre o assunto. Proponha questões ou atividades diversas para que eles expressem o que entendem por "fluido", quais propriedades os caracterizam, quais são as diferenças entre fluidos e sólidos, etc. A palavra "fluir" é usada coloquialmente com sentidos diversos e poderá ser explorada neste momento.

Grandezas básicas no estudo dos fluidos (páginas 146 a 150)

- Proponha aos estudantes que expressem o que entendem por densidade e pressão. É frequente a confusão entre os conceitos de densidade e peso, com ideias como a de que o chumbo é mais pesado que o algodão. Destaque que a densidade (ou massa específica) é uma característica do material, enquanto massa e volume são características do objeto. O conceito de pressão é muitas vezes entendido como força, em decorrência do uso dessa palavra no cotidiano. Assim, é importante fornecer e pedir aos estudantes que deem exemplos desses conceitos em contextos diversos. Aproveite as atividades propostas nos boxes *Roteiro* (p. 146 e 148), para avaliar o entendimento dos estudantes sobre esses conceitos e, se for necessário, explore outros exemplos.
- Neste tópico são trabalhadas as unidades de medida de volume e de pressão. No primeiro caso, os estudantes têm familiaridade com o litro e alguns de seus submúltiplos utilizados em receitas, rótulos e recipientes graduados. No caso da pressão, as unidades são menos conhecidas. O importante é que os estudantes percebam que as unidades de medida são variadas por motivos históricos ou culturais.
- Os exemplos da influência das variações de pressão sobre o corpo humano também são ricos e podem ser motivo de pesquisas e estudos envolvendo muitas aplicações, e pode ser retomado após o estudo dos princípios básicos.
- No boxe *Ação e cidadania* (p. 150), explore a importância dos conhecimentos físicos em aplicações do cotidiano como na calibragem de pneus. Comente que, além da segurança, o hábito de manter os pneus com a calibragem adequada pode representar economia de combustível. Essa atividade trabalha a **CGEB5**, ao propor que os estudantes elaborem textos para disseminar informações sobre a importância da calibragem de pneus dos meios de transporte coletivos, exercendo seu protagonismo na vida coletiva.

Práticas de Ciências – Experimento sobre densidade (página 151)

- Essa atividade prática tem como objetivo mostrar a importância da comparação entre a densidade do corpo com a densidade do líquido para conclusões de flutuabilidade. Essa atividade está relacionada com as habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT307**.
- Os procedimentos dessa prática também possibilitam exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão e a análise crítica, para investigar causas, reforçando assim a competência geral **CGEB2**.

Princípios básicos no estudo dos fluidos (páginas 152 a 159)

- No boxe *Ciência se discute*, sobre os estudos de Blaise Pascal (p. 155), sugerimos destacar que muitos utensílios, como as prensas hidráulicas, foram desenvolvidos a partir de discussões no meio científico. Pode-se até aproveitar para trabalhar a criatividade dos estudantes, perguntando:

"O que vocês imaginam que poderá ser desenvolvido futuramente com as pesquisas e discussões que existem na ciência atualmente?". Esse boxe explora a competência geral **CGEB1**, destacando a valorização do conhecimento historicamente construído.

- O princípio de Arquimedes também é explicado pelas leis de Newton, nas situações de equilíbrio de objetos em fluidos, em que o empuxo é resultado da variação de pressão em função da altura ou profundidade do objeto no fluido. Proponha a atividade do boxe *Roteiro* (p. 157) para avaliar o entendimento dos estudantes sobre o empuxo e o peso aparente, e, verificando a necessidade, cite outros exemplos do cotidiano, como erguer uma pessoa na piscina.
- No tópico "Flutuação" (p. 158), retome as conclusões da seção *Prática de ciências* (p. 151) para exemplificar as condições de flutuabilidade dos materiais ao serem inseridos em um meio fluido. E, em seguida, proponha a atividade do boxe *Roteiro* (p. 159), lembrando aos estudantes que os gases também são fluidos e que essas condições de flutuabilidade também podem ser aplicadas aos gases.

SUGESTÃO DE AULA

- No estudo dos vasos comunicantes, apresenta-se o exemplo de distribuição de água em uma instalação hidráulica. Esse exemplo é muito importante e deve ser explorado para que sejam bem compreendidos os elementos que constituem essa instalação, suas funções e relações. Contudo, deve-se chamar a atenção ao aspecto dinâmico envolvido nos sistemas de distribuição de água para a cidade e residências. É interessante trabalhar essa dinâmica sugerindo uma pesquisa de como a água é levada dos reservatórios às casas, explorando-se, assim, a habilidade **EM13CNT310** e proporcionando uma investigação sobre a infraestrutura do serviço básico de saneamento. Para isso, sugerimos planejar uma aula em parceria com o(a) professor(a) de Geografia, para colaborar na discussão sobre a infraestrutura da cidade.
- Pode-se abordar outras situações envolvendo fluxos e vazões de água, como na vazão de um rio. No primeiro caso, é interessante trabalhar com avaliações do consumo de água residencial e, no segundo, pode-se estimar o potencial de vazão de um rio, de uma represa ou de uma queda-d'água, para obtenção de energia elétrica. Há muitos outros exemplos e aplicações de vasos comunicantes que concretizam e dão contexto a esse princípio, como o nivelamento de paredes ou as medidas de pressão sanguínea.
- Essa aula pode ser finalizada com os estudantes escrevendo um texto sobre as características de saneamento de sua cidade e destacando os pontos que precisam melhorar.

Alguns fenômenos que envolvem fluidos líquidos (página 160)

- Esse tópico aborda a tensão superficial (força de coesão) e a capilaridade (força de adesão). Após a explicação dessa seção, proponha a atividade do boxe *Roteiro* desta página para avaliar a compreensão dos estudantes desses conceitos e trabalhar a habilidade de argumentação.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Embolia gasosa (página 161)

- A seção explora os impactos da variação de pressão do ar nos pulmões do ser humano, trabalhando, assim, as habilidades **EM13CNT303**, ao interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, e **EM13CNT306**, ao avaliar os riscos à saúde em atividades cotidianas, neste caso, a saúde de profissionais como os mergulhadores, e o tema contemporâneo transversal **Saúde**.
- O trabalho com a leitura, interpretação e discussão de textos permite o desenvolvimento da leitura inferencial.

Física e Educação Física – A Física do futebol: efeito Magnus (páginas 162 e 163)

- Esta seção propõe um trabalho interdisciplinar entre Física e Educação Física, que pode dar exemplos de jogadas em que geralmente aparece esse tipo de efeito, mostrar a técnica que os jogadores utilizam para treinar os lances e exemplificar outros esportes em que é possível observar o efeito Magnus. Assim, o planejamento em conjunto dos professores de Física e Educação Física pode propiciar o melhor aproveitamento dessa seção.
- As atividades propostas permitem desenvolver a competência geral **CGEB4**, ao utilizar diferentes linguagens – verbal e corporal – para partilhar informações e experiências. Promovem-se também a habilidade **EM13CNT204**, ao elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, e a habilidade **EM13CNT303**, ao interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza.

Ciência tem história – A invenção do avião (página 164)

- Nessa seção, são apresentados os marcos da invenção do avião. Trata-se de uma oportunidade para discutir o caráter histórico e cultural da ciência, exemplificando algumas características da construção dos conhecimentos científicos. Nesse momento, desenvolve-se a competência geral **CGEB1**, ao valorizar e utilizar conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico a fim de explicar a realidade.

ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Peso e massa de uma coluna de ar

Peça aos estudantes que calculem o peso e a massa de uma coluna de ar de 1 m^2 de seção aplicada sobre uma área de 1 m^2 em uma superfície ao nível do mar. Em seguida, que interpretem esse resultado e expliquem por que os seres vivos não são "esmagados" pela força exercida por essa massa de ar.

As alavancas de onde você mora

Oriente os estudantes a trazerem fotos das alavancas que existem no local onde eles moram e/ou de suas redondezas, inclusive próximo da escola. Se possível, proponha essa atividade complementar quando estiver trabalhando o objeto digital *Alavancas no cotidiano*.

FONTE COMPLEMENTAR

- Lima, J. de; Cionek, M. P.; Poletto, J. V. P. Um aparato experimental para o estudo da força de empuxo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 45, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/f5j9jwXcxHmZGGTbGPHcYyy/?lang=pt#. Acesso em: 11 set. 2024.

  Nesse artigo, você encontra uma proposta de atividade experimental para trabalhar o conceito de empuxo.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- As atividades propostas no final do capítulo podem ser utilizadas para avaliar os conhecimentos dos estudantes. Analise em quais atividades eles apresentaram maiores dificuldades e promova ações que busquem o fortalecimento e a melhoria do aprendizado.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Para começar (página 145)

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem a força de tração das cordas, da força peso e da força de empuxo.

2. Resposta pessoal. O ar modifica a densidade do submarino; se o submarino fica menos denso, ele tende a flutuar.

Atividades (página 165)

1. Cada material vai flutuar em um líquido que tiver uma densidade maior que a sua.

a) A massa de ferro maciça só flutuará no mercúrio.

b) Calculando sua densidade, temos que $d = \frac{80}{100} = 0{,}8\ g/cm^3$.

Então ele pode flutuar em todos os líquidos, exceto na gasolina.

c) O bloco de gelo pode flutuar na água do mar, na glicerina e no mercúrio.

d) O chumbinho de pesca pode flutuar apenas no mercúrio.

e) A barra de alumínio maciça pode flutuar apenas no mercúrio.

5. A força F_2 é dada por:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{800}{60} = \frac{F_2}{20} \Rightarrow F_2 = 266{,}6 \cong 267\ N$$

7.a) O principal fenômeno que envolve o voo do zepelim é a flutuação pela variação da pressão.

b) Zepelim foi um dirigível rígido inventado pelo conde Ferdinand van Zeppelin, nos Países Baixos. De formato alongado característico, foi muito utilizado para travessias transatlânticas com passageiros na década de 1930.

c) Sim, principalmente para filmagens aéreas de atividades esportivas.

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 166 A 169)

Pensando Ciências: Como prevenir uma enchente? (páginas 166 e 167)

- Essa seção favorece o desenvolvimento das competências gerais **CGEB2** (exercitar a curiosidade e utilizar as ciências com criticidade e criatividade para investigar causas), **CGEB7** (argumentar com base em fatos e decisões comuns que respeitem e promovam a consciência socioambiental, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta) e **CGEB9**, ao trabalhar com a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, e também a habilidade **EM13CNT301** e o trabalho com o tema contemporâneo transversal **Educação ambiental**, da área Meio ambiente.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Questões globais (páginas 168 e 169)

1. Alternativa **b**.

Para que a escada esteja em equilíbrio na direção *x* (horizontal) a força normal (N_H) perpendicular à parede precisa ter a mesma intensidade da força de atrito, portanto:

$$N_H = F_{at} = \mu N = 0{,}5 \cdot m \cdot g$$

Considerando que o eixo de rotação é o ponto em que a escada encosta no chão, o equilíbrio rotacional será dado quando a soma dos torques nesse ponto for nula, assim, podemos escrever:

$$P \cdot \frac{L}{2}\cos\theta - N_H \cdot L \cdot \text{sen}\,\theta = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{mgL}{2}\cos\theta - 0{,}5 \cdot m \cdot g \cdot L \cdot \text{sen}\,\theta = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cos\theta = \text{sen}\,\theta \Rightarrow \theta = 45°$$

2. Alternativa **e**.

No ponto C, para que o torque seja nulo, temos:

$$m \cdot g \cdot d_1 = F \cdot d_2 \Rightarrow 2 \cdot 10 \cdot 3 = 15 \cdot d_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 60 = 15 \cdot d_2 \Rightarrow d_2 = 4\ m$$

3. a) Na figura 1, para que o ponto A esteja em equilíbrio rotacional, a soma dos torques nesse ponto deve ser nula, chamando de T_B a tensão no fio preso no ponto B, temos:

$$T_1 \cdot 6 = 300 \cdot 4 \Rightarrow T_1 = 200\ N$$

b) Na situação da figura 2, é preciso decompor a tensão no fio preso no ponto C (T_C) e a força aplicada no ponto A nas direções *x* e *y*.

Inicialmente, calculando a soma dos torques no ponto A, temos:

$$T_{Cy} \cdot 6 = 300 \cdot 4 \Rightarrow T_{Cy} = 200\ N$$

Pela figura, podemos determinar T_{Cx}:

$$\text{tg}\ 30° = \frac{T_{Cy}}{T_{Cx}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Rightarrow T_{Cx} = 200\sqrt{3}\ N$$

Para não haver movimento translacional, a força resultante em cada direção deve ser nula, assim:

$$F_{Rx} = 0 \Rightarrow N_x - T_{Cx} = 0 \Rightarrow N_x = T_{Cx} = 200\sqrt{3}\ N$$

$$F_{Ry} = 0 \Rightarrow N_y + T_{Cy} - 300 = 0 \Rightarrow N_y = -T_{Cy} + 300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_y = -200 + 300 = 100\ N$$

Calculando a intensidade da força normal (*N*), temos:

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} \Rightarrow N = \sqrt{(200\sqrt{3})^2 + 100^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = \sqrt{120\,000 + 10\,000} = 100\sqrt{13}\ N$$

4. Alternativa **c**.

O mergulhador foi submetido a um aumento de pressão devido à pressão da coluna líquida. Esse aumento é dado por:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow 10^3 \cdot 10 \cdot 50 \Rightarrow \Delta p = 500 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta p = 500\ kPa$$

Pelo gráfico, a variação de pressão de 500 kPa indica um tempo de 60 minutos.

6. Aplicando o princípio de Pascal, temos:

$$\frac{F_A}{A_{CM}} = \frac{F_H}{A_{CR}} \Rightarrow \frac{200}{2} = \frac{F_H}{12} \Rightarrow 100 = \frac{F_H}{12}$$

$$\Rightarrow F_H = 1\,200\ N$$

8. Alternativa **c**.

O bloco está em repouso, portanto, o seu peso é de mesma intensidade que a soma dos empuxos do óleo e da água.

$E_{água} + E_{óleo} = m \cdot g \Rightarrow d_{água}V_{água}g + d_{óleo}V_{óleo}g = d_{bloco}Vg \Rightarrow$

$\Rightarrow d_{água}V_{água} + d_{óleo}V_{óleo} = d_{bloco} \Rightarrow$

$\Rightarrow (1\,000) \cdot \frac{4}{5}V + d_{óleo}\frac{1}{5}V = 900 \cdot V \Rightarrow \frac{d_{óleo}}{5} = 900 - 800 \Rightarrow$

$\Rightarrow d_{óleo} = 500\ kg/m^3$

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**UEPG-PR**) A Estática é o ramo da Mecânica que investiga as propriedades de equilíbrio dos corpos que se encontram sob a ação de forças externas.

Nesse âmbito, assinale o que for correto.

01) Momento de uma força, também chamado de torque, é a grandeza que mede a capacidade de giro do corpo em torno de um ponto P, quando submetido à ação de uma força.

02) A tesoura utilizada para corte de grama é um exemplo de máquina inter-resistente.

04) A grandeza física chamada de torque é classificada como vetorial.

08) Um binário é constituído por duas forças paralelas e iguais a 100 N e um braço de 20 cm. Portanto, o momento do binário vale 200 N · m.

01 + 04 = 05

(02) Incorreta, porque a tesoura é um exemplo de máquina interfixa.

(08) Incorreta, porque para calcular o momento é necessário conhecer as posições das forças em relação ao braço.

2. (**UFPR**) Uma plataforma plana horizontal tem uma área *A*. Sobre ela, é colocado um objeto de massa *m* constante, que fica estático no local, sujeito apenas à força gravitacional e à força exercida pela plataforma. As forças envolvidas no problema são todas orientadas perpendicularmente à plataforma. O objeto exerce uma pressão de valor $P = 2{,}0 \cdot 10^4$ Pa sobre a plataforma, e a massa do objeto vale $m = 600$ g.

Considerando as informações apresentadas, assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor da área *A* da plataforma.

Dado: $g = 10\ m/s^2$.

a) $A = 3{,}0 \cdot 10^{-4}\ m^2$

b) $A = 6{,}0 \cdot 10^{-4}\ m^2$

c) $A = 3{,}0 \cdot 10^{-5}\ m^2$

d) $A = 6{,}0 \cdot 10^{-5}\ m^2$

e) $A = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ m^2$

Alternativa **a**.

$P = \frac{mg}{A} \Rightarrow$

$\Rightarrow A = \frac{mg}{P} = \frac{600 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{2 \cdot 10^4} = 300 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4} \Rightarrow$

$\Rightarrow A = 3 \cdot 10^{-4}\ m^2$

3. (**Enem**) Dois amigos se encontram em um posto de gasolina para calibrar os pneus de suas bicicletas. Uma das bicicletas é de corrida (bicicleta A) e a outra, de passeio (bicicleta B). Os pneus de ambas as bicicletas têm as mesmas características, exceto que a largura dos pneus de A é menor que a largura dos pneus de B. Ao calibrarem os pneus das bicicletas A e B, respectivamente com pressões de calibração p_A e p_B, os amigos observam que o pneu da bicicleta A deforma, sob mesmos esforços, muito menos que o pneu da bicicleta B.Pode-se considerar que as massas de ar comprimido no pneu da bicicleta A, m_A, e no pneu da bicicleta B, m_B, são diretamente proporcionais aos seus volumes.

Comparando as pressões e massas de ar comprimido nos pneus das bicicletas, temos:

a) $p_A < p_B$ e $m_A < m_B$

b) $p_A > p_B$ e $m_A < m_B$

c) $p_A > p_B$ e $m_A = m_B$

d) $p_A < p_B$ e $m_A = m_B$

e) $p_A > p_B$ e $m_A > m_B$

Alternativa **b**.

O pneu da bicicleta A sofre os mesmos esforços, mas deforma menos que o pneu da bicicleta B, por isso, temos que: $p_A > p_B$

E, como os pneus das duas bicicletas são semelhantes, porém o pneu da bicicleta A é menos largo que o da bicicleta B e, como as massas são diretamente proporcionais aos volumes, devemos ter que:

$V_A < V_B \Rightarrow m_A < m_B$

4 FÍSICA TÉRMICA

INTRODUÇÃO

Esta unidade compreende três capítulos. No capítulo 1, são apresentados os conceitos de energia interna, temperatura e calor e as principais escalas termométricas com exemplos de situações concretas em que esses conceitos estão envolvidos. O capítulo 2 apresenta princípios ligados ao conceito de calor, como variação de temperatura, capacidade térmica, calor específico, equilíbrio térmico, calor latente e mudanças de estado, com abordagens contextualizadas, levando o entendimento da Física para a realidade dos estudantes. No capítulo 3, os principais temas são a primeira e segunda leis da Termodinâmica, o ciclo de Carnot, entropia, máquinas térmicas e combustíveis.

Ao longo da unidade, são disponibilizados recursos que promovem o protagonismo dos estudantes, como a seção *Práticas de Ciências*, que desenvolve a curiosidade intelectual e incentiva a investigação e a análise crítica. A seção *Ciência tem história* conduz à reflexão sobre o papel do contexto histórico e sobre o dinamismo do fazer científico. Ao final da unidade, a seção *Estudo de caso* sobre aquecimento global leva os estudantes a refletir sobre a importância das divergências no meio científico.

Os objetivos da unidade se articulam a este e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas as competências gerais da Educação Básica, como as **CGEB1**, **CGEB2**, **CGEB4 e CGEB7**. Também são desenvolvidas as competências específicas e habilidades das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, por exemplo, as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301** e **EM13CNT307**.

Sugestão de planejamento

No planejamento dessa unidade, sugere-se reservar um tempo para ajudar os estudantes em eventuais dificuldades com a linguagem matemática, como expressões e a leitura de gráficos. O capítulo 3 aborda questões que envolvem aspectos históricos, como a Revolução Industrial, oferecendo oportunidade de organizar atividades interdisciplinares com o componente curricular História. Na seção *Pensando Ciências* (p. 214-215), sobre aquecimento global, indicamos planejar momentos junto com o(a) professor(a) de Biologia para auxiliar os estudantes no entendimento dos impactos relacionados ao aquecimento global.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Diferenciar os conceitos de temperatura e calor. • Identificar os processos de transferência de calor. • Associar energia térmica, calor e temperatura. • Caracterizar as escalas de temperatura mais utilizadas e aplicar as equações de conversão entre elas. • Compreender e refletir sobre o processo histórico na elaboração de escalas termométricas. • Utilizar simuladores digitais de comportamento de gases.	CGEB2 CGEB4 CGEB5 CECNTEM1 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT205 EM13CNT301 EM13CNT306	
2	• Diferenciar capacidade térmica de calor específico. • Reconhecer a caloria como unidade de medida de energia. • Compreender o conceito de equilíbrio térmico. • Diferenciar os estados físicos da matéria. • Entender que em diferentes substâncias são necessárias diferentes quantidades de energia para promover uma mudança de estado físico e calcular esses valores.	CGEB2 CGBE10 CECNTEM1 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT102 EM13CNT203 EM13CNT205 EM13CNT301 EM13CNT302 EM13CNT307	Saúde Educação ambiental
3	• Compreender as leis da Termodinâmica e suas aplicações e observar a interação do sistema termodinâmico com o meio externo. • Verificar fatores que influenciam o comportamento do sistema termodinâmico em relação ao seu tipo de classificação. • Compreender o modelo teórico do ciclo de Carnot. • Compreender o funcionamento de máquinas térmicas e os combustíveis utilizados nelas.	CGEB1 CGEB2 CGEB7 CGEB8 CGEB9 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT104 EM13CNT301 EM13CNT303 EM13CNT307	Educação para o consumo
Fechamento da unidade	• Pesquisar e selecionar informações confiáveis sobre causas e consequências das mudanças climáticas, incluindo desdobramentos sociais e ambientais.	CGEB7 CGEB10 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT101 EM13CNT301 EM13CNT309	Educação ambiental

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 170 E 171)

- Aproveite esse momento inicial para perguntar aos estudantes sobre o que sabem acerca de termometria e Termodinâmica. Analise se eles entendem a importância da revolução que foi o desenvolvimento e o aprimoramento das máquinas térmicas e de como elas estão presentes em nosso cotidiano.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Questões para refletir (página 170)

1. Respostas variáveis. Temperatura é uma grandeza física associada ao estado de um corpo, usando-se uma escala termométrica como referência para distinguir as temperaturas. Quente ou frio é um conceito relacionado a uma sensação, que depende dos sentidos e do contexto. Um questionamento interessante que pode ser feito à turma é se uma blusa de moletom é mais quente que uma camiseta. No senso comum, é possível que algumas pessoas digam que sim, o que revela uma confusão dos conceitos físicos. No entanto, se as duas vestimentas estão em um mesmo ambiente, elas estão à mesma temperatura. A blusa é um isolante térmico mais eficiente do que a camiseta. Outra observação interessante relacionada à confusão entre sensação térmica e o conceito de temperatura ocorre, por exemplo, quando tocamos um pedaço de madeira e um pedaço de ferro que estão no ambiente. Temos a sensação de mais frio ao tocar o ferro do que ao tocar a madeira, apesar de as temperaturas de ambos serem as mesmas, pois estão em equilíbrio com o ambiente. Isso se explica pelo fato de o ferro ser um melhor condutor térmico que a madeira e "roubar" calor a uma taxa mais alta, provocando em nós a sensação de ser mais frio.
2. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes citem a importância do uso de filtro solar; a proteção com chapéus e a ingestão de líquidos para evitar a desidratação. Alguns dos perigos da longa exposição à luz solar são: queimaduras, problemas de visão, envelhecimento precoce e, em casos mais graves, câncer de pele.

CAPÍTULO 1 TEMPERATURA E CALOR (PÁGINA 172)

Calorimetria (página 172)

- Os principais processos de transferência de calor tratados neste capítulo são essenciais para a compreensão de muitos fenômenos naturais e aparatos tecnológicos do mundo atual, a exemplo da irradiação solar, sem a qual não haveria vida em nosso planeta. Fenômenos atmosféricos ou climáticos (formação de ventos, aquecimento da atmosfera, efeito estufa) podem ser interpretados, ainda que parcialmente, por modelos de transferência de calor, bem como o funcionamento de utensílios e processos tecnológicos que propiciam maior conforto térmico (aquecedores e aparelhos de ar-condicionado) e de objetos, materiais e cores que favorecem trocas de calor (panelas, grelhas metálicas, garrafas térmicas, refrigeradores, fornos de micro-ondas, coletores solares; cores de vestimentas; isolantes térmicos).
- Nesse sentido, são trabalhadas as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT205**, **EM13CNT301** e **EM13CNT306**, dando-se início à temática do uso de energia interna, temperaturas e trocas de calor, em que os estudantes devem construir questões, elaborar hipóteses, interpretar modelos e justificar conclusões, bem como interpretar resultados, além de trabalhar com dados de probabilidade.

Temperatura (página 173)

- A interpretação dos conceitos e dos fenômenos relacionados às propriedades térmicas é aprofundada segundo o modelo microscópico da matéria (modelo cinético molecular), que também precisa ser retomado em momentos diversos do capítulo. Para que o aprendizado não seja mecânico e fundamentado apenas em definições, é recomendável que, antes e depois das conceituações dos modelos explicativos, sejam apresentados vários exemplos do cotidiano, solicitando-se aos estudantes que os interpretem e expliquem com base nesses modelos conceituais recém-adquiridos.

Calor (páginas 173 a 175)

- Antes de tratar de cada um dos processos de transferência de calor (p. 174) isoladamente, é recomendável uma discussão sobre exemplos diversos de como o calor pode ser transferido (transmitido ou trocado), para depois agrupá-los e classificá-los segundo semelhanças ou diferenças. A própria noção da transferência de calor não é trivial e pode fazer parte dessa discussão.
- Quando for abordado o tema da transferência de calor por condução, sugere-se que sejam retomados os exemplos identificados previamente, para que se possam identificar características comuns e variáveis relevantes e reconhecer materiais que conduzem o calor com maior ou menor rapidez (maus e bons condutores, respectivamente). Para ampliar essa discussão sugerimos solicitar aos estudantes que realizem a atividade do boxe *Roteiro* (p. 174). Essa atividade vai ajudar a aprofundar o entendimento do que significa um objeto ser um bom ou mau condutor de calor.
- Nesse tópico, destaca-se o trabalho com as habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT306**, pois trata-se das transformações de energia em calor, sua transferência, bem como da análise de materiais condutores, ou não, alinhada com seus diversos usos.
- No tópico *Energia interna* (p. 175), é desenvolvida a habilidade **EM13CNT205**, pois a energia interna está relacionada a uma grandeza de caráter probabilístico. É importante ressaltar que, embora a energia interna tenha relação com a temperatura, trata-se de grandezas diferentes. Essa diferença pode ser retomada no estudo das mudanças de fase, em que ocorre alteração na energia interna do sistema, mas não em sua temperatura.

Medidas de temperatura (páginas 176 e 177)

- Quanto às conversões de escalas, também é preciso deixar claro que se trata de efetuar uma relação de proporção entre intervalos de temperatura tomadas em cada escala, a começar pelos valores dados de referência. Nesse sentido, alguns exercícios sugeridos propõem que os estudantes criem uma escala própria, fundamentada em determinados critérios, e comparem-na com escalas conhecidas. Porém, é preciso não dedicar tempo excessivo a esse tópico e à repetição de exercícios, em detrimento da discussão de conceitos e tópicos da Física térmica mais significativos para a formação básica.

- O boxe *Ampliação* (p. 177) permite desenvolver a competência geral **CGEB4**, ao fornecer subsídios para utilizar as linguagens científica e matemática.

Práticas de Ciências – Estimando o zero absoluto (página 178)

- Nessa seção, são desenvolvidas a competência geral **CGEB2** e a habilidade **EM13CNT101**.
- Nessa atividade, sugerimos o uso de *software* para a construção de gráficos. Incentive, sempre que possível, o uso desse tipo de recurso. Isso permitirá que os estudantes compreendam e utilizem as tecnologias digitais de informação e comunicação para acessar informações e resolver problemas, desenvolvendo a competência geral **CGEB5**.

Ciência tem história – As primeiras medições de calor (página 179)

- A seção aborda como um conceito científico é construído mediante a contribuição de diversos pesquisadores no decorrer de muito tempo, nesse caso, por mais de dois mil anos. O exemplo das tentativas de medir o calor também evidencia como as demandas da sociedade impulsionam o avanço do estudo de determinados fenômenos. Esse é um bom exemplo para discutir com os estudantes, além dos aspectos históricos, a relação entre o conhecimento científico, o desenvolvimento tecnológico e as mudanças sociais.

FONTE COMPLEMENTAR

- Silva, O. H. M. da; Laburú, C. E.; Nardi, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, p. 383-396, dez. 2008. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n3p383/8458. Acesso em: 18 out. 2024.

  Esse trabalho aborda o conceito de calor e as ambiguidades que o envolvem, auxiliando o professor a compreender a origem de certas dúvidas e interpretações alternativas.

TEXTO COMPLEMENTAR

É possível alcançar o zero absoluto na natureza?

Não. Temperatura é o grau de agitação das partículas que compõem alguma coisa. E o zero absoluto, que equivale a 273 °C negativos, é um estado hipotético em que as partículas estão paradas. Possuem zero energia cinética.

Não há como alcançar esse estado por alguns motivos. O primeiro é o Princípio da Incerteza, de Werner Heisenberg, que diz ser impossível medir ao mesmo tempo a posição e a velocidade de uma partícula subatômica. Em partículas paradas, daria para fazer isso, o que desrespeitaria o princípio – que é uma das bases da física quântica.

Outro motivo é que o zero absoluto viola a Terceira Lei da Termodinâmica. Para explicá-la, pense numa geladeira: o motor dela trabalha para manter a temperatura baixa lá dentro. Tal trabalho consiste em extrair energia cinética das partículas da comida, para mantê-las pouco agitadas.

Para reduzir a agitação a zero, a geladeira precisaria "queimar" calorias infinitas (a caloria é uma unidade de medida de trabalho, como o Joule). E nem juntando todos os McDonald's do Universo conhecido dá para obter calorias infinitas.

"Quando a temperatura de um sistema tende a zero absoluto, a sua entropia também tende a zero. A entropia é uma medida do grau de desordem do sistema e também, uma medida da energia indisponível para realizar trabalho", explica o físico Claudio Furukawa, da USP, para os físicos que quiserem uma resposta mais detalhada.

"Assim, conforme o sistema se aproxima do zero absoluto, fica mais difícil extrair energia dele. O trabalho necessário para retirar energia extra do sistema tende ao infinito na proximidade do zero absoluto."

Vaiano, Bruno. É possível alcançar o zero absoluto na natureza? *Superinteressante*, 6 ago. 2020. Disponível em: https://super.abril.com.br/blog/oraculo/e-possivel-alcancar-o-zero-absoluto-na-natureza/. Acesso em: 12 set. 2024.
(Crédito: Bruno Vaiano / Abril Comunicações S.A.)

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Escala de temperatura de fenômenos naturais

Peça aos estudantes para fazerem uma pesquisa sobre a temperatura de ambientes, objetos ou processos diversos, como o derretimento do ferro ou a fusão do gás carbônico, e organizá-los em uma tabela ou em uma "linha de temperatura", desde o zero absoluto (−273 °C) até milhões de graus Celsius.

R.: *Resposta variável. No caso de construção da linha de temperatura, mostre aos estudantes a impossibilidade de fazer a linha em escala e, por isso, será necessário inserir faixas de valores ou construir linhas separadas por faixas.*

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- A avaliação pode ser feita acompanhando a participação dos estudantes nas atividades e discussões e o ganho conceitual que eles mostrarem ao descrever e interpretar fenômenos ou propor questões referentes aos conceitos estudados. Observe, por exemplo, se eles passam a substituir termos como quente e frio por temperatura maior ou menor, e se, em suas falas, fica evidente a relação de energia térmica com a energia interna dos materiais.
- Sugerimos que as atividades apresentadas ao longo deste capítulo e na seção *Atividades* sejam usadas para subsidiar a avaliação dos estudantes, identificando pontos frágeis do aprendizado.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Para começar (página 172)

1. Resposta pessoal. Os conceitos de temperatura e calor são muito confundidos, então, é natural esperar respostas imprecisas ou incorretas dos estudantes sobre esses conceitos. O calor é energia térmica que é trocada entre dois ou mais corpos com temperaturas diferentes. Já a temperatura é uma medida que se relaciona ao grau de agitação ou, mais precisamente, à energia cinética média das moléculas.

2. Resposta pessoal. É provável que as respostas se concentrem nos termômetros. Como há várias grandezas que variam com a temperatura, como o comprimento de uma régua metálica, por exemplo, podemos ter uma ideia quantitativa da variação da temperatura de acordo com o comprimento da régua.

3. Resposta pessoal. As respostas podem ser variáveis, mas é importante observar se a turma se refere à energia das moléculas que constituem o corpo e, por isso, tem relação estreita com a temperatura. Essa energia inclui a energia cinética e a potencial, relativas às ligações químicas.

Roteiro (página 176)

3. Como a escala Fahrenheit tem 180 divisões entre dois pontos fixos (solidificação e ebulição da água) e a escala Celsius apresenta 100 divisões entre esses dois pontos fixos, temos:

$\Delta T_F = 1{,}8 \cdot \Delta T_C \Rightarrow \Delta T_F = 1{,}8 \cdot 5 \Rightarrow \Delta T_F = 9\ °F$

A escala kelvin, assim como a escala Celsius, é uma escala centigrada, ou seja, ambas apresentam 100 divisões entre os dois pontos fixos; portanto, uma amplitude de 5 °C equivale a uma amplitude de 5 K.

Práticas de Ciências – Estimando o zero absoluto (página 178)

Como fazer

2.

Pesadas (50 unid.)	
T (°C)	pressão (atm)
−100	3,4
−75	3,9
−50	4,3
−25	4,8
0	5,3
25	5,8
50	6,3
75	6,8
100	7,3

Leves (100 unid.)	
T (°C)	pressão (atm)
−100	6,7
−75	7,7
−50	8,7
−25	9,6
0	10,6
25	11,6
50	12,6
75	13,5
100	14,5

Os valores da tabela são muito precisos, mas com poucos algarismos significativos, por se tratar de uma simulação. É importante conversar com os estudantes que, em situações de medições reais, ocorrem erros devido à escala dos aparelhos, entre outros fatores. Isso implica que, em situações reais, os valores poderiam ser bem diferentes.

6. Mesmo que os estudantes usem os mesmos valores, é possível que eles obtenham equações diferentes. Isso se deve às retas de tendência e também às aproximações e aos valores usados para determinar a equação. No Livro do Estudante, mostramos um gráfico e o valor das equações feito por um *software*.

Para concluir

1. O valor previsto é −273 °C, que é denominado zero absoluto, pois, ao atingir esse valor de temperatura, os átomos e as moléculas do material cessam seu movimento, ou seja, ficam em repouso e, portanto, com energia cinética nula. Com a finalidade de estabelecer essa temperatura como referência, criou-se, então, a escala kelvin (K), que tem seu ponto nulo (sua origem) nessa temperatura. Assim, essa escala de temperatura fornece uma medida direta da energia cinética média das moléculas de um corpo. Na prática, sabemos que não é possível atingir esse valor, pois violaria o princípio de incerteza de Heisenberg, como prevê a teoria quântica da Física moderna.

2. Possíveis valores diferentes se devem ao fato de os estudantes terem feito muitas aproximações no processo de estimar o zero absoluto com base nas projeções gráficas.

3. Incentive os estudantes a debater o tema para formular uma resposta. Pode-se considerar a transferência de energia como um obstáculo, assim como as baixas e altas energias envolvidas. Vale também observar que os processos de aquecimento por combustão dependem, em geral, de tecnologia menos sofisticada do que aquela utilizada para a refrigeração das substâncias.

Ciência tem história – As primeiras medições de calor (página 179)

2. No século XIX, Benjamin Thompson, ao inspecionar uma fábrica de canhões, observou que o metal esquentava devido ao atrito com a broca mesmo quando continuamente resfriado com água. Isso sugeria que o calórico poderia ser criado ilimitadamente, o que consistia uma contradição na teoria, visto que tal fato viola o princípio de Lavoisier, que garante a conservação do calórico em qualquer processo térmico.

Atividades (página 180)

2. Basta aplicar a equação de conversão de Celsius para Fahrenheit e observar a seguinte lógica: se chamarmos a temperatura medida na escala Celsius de x, temos que a temperatura medida na escala Fahrenheit será de: $T_F = 2{,}6x$

Assim, aplicando na equação, temos:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{2{,}6 \cdot x - 32}{9} \Rightarrow 9x = 5 \cdot (2{,}6x - 32) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9x = 13 \cdot x - 160 \Rightarrow 4 \cdot x = 160 \Rightarrow x = 40\ °C$$

3. A graduação do termômetro depende muito do uso. O primeiro termômetro é usado para medir a temperatura corporal de uma pessoa e, por isso, sua amplitude térmica deve ficar no intervalo encontrado nos seres humanos. Esse termômetro também deve ter precisão de casas decimais. O segundo, é usado em laboratório, onde podem ser medidas temperaturas em amplitudes diferentes. Portanto, as faixas de temperatura que os termômetros operam são estabelecidas em função da aplicação para a qual eles foram desenvolvidos.

4. A temperatura é uma grandeza escalar que caracteriza o equilíbrio térmico das interações entre sistemas termodinâmicos. Assim, dois corpos estão em equilíbrio térmico se, e somente se, têm a mesma temperatura. Além dessa propriedade, a noção de temperatura se relaciona ao grau de agitação da matéria, ou seja, tem relação com a energia cinética média dessas partículas. Já calor é a transferência de energia de um corpo para outro, provocada pela diferença de temperatura entre eles.

6. Não. Embora a temperatura tenha relação direta com a energia cinética das moléculas, elas são grandezas distintas. Justifique a diferença fazendo uma análise dimensional da temperatura e da energia. Para isso, uma possibilidade é utilizar a relação entre energia interna e temperatura para gases ideais monoatômicos $\left(U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot k \cdot T\right)$, evidenciando, assim, a diferença entre essas grandezas.

8. a) Essa expressão pode ser construída percebendo que a relação entre a profundidade e a temperatura é linear, pois a elevação de temperatura é constante para uma dada variação de profundidade. Vamos considerar, então, que a temperatura (T_0) na superfície terrestre seja de 25 °C. Desse modo, a temperatura a 30 m de profundidade aumentará 1 °C, isto é, será 26 °C. Além disso, considere uma profundidade arbitrária h que corresponde a uma temperatura T. Podemos, com isso, proceder da mesma maneira que fazemos para converter a temperatura de uma escala para outra, percebendo que a diferença é que, agora, a profundidade fará o papel da outra escala. Considerando que, na superfície da Terra, a profundidade receba o valor zero ($P_0 = 0$).

Temos, assim:

$$\frac{T - 25}{26 - 25} = \frac{h - 0}{30 - 0} \Rightarrow T - 25 = \frac{h}{30} \Rightarrow h = 30 \cdot \left(T - 25\right).$$

Portanto, para encontrar a profundidade de um ponto no interior da Terra a partir do conhecimento de sua temperatura, basta usar a expressão $h = 30 \cdot (T - 25)$, em que, de acordo com nossa construção, T é a temperatura desse ponto, na escala Celsius, e h é a profundidade dele, em metro.

b) Substituindo a temperatura de 1 500 °C, na escala construída no item **a**, temos:

$h = 30 \cdot (T - 25) \Rightarrow h = 30 \cdot (150 - 25) \Rightarrow h = 44\,250$ m

9. Para serem construídas, ambas as escalas utilizam como referência pontos com significados relevantes para nós, como a associação entre os pontos de fusão e ebulição da água aos valores de 0 °C e 100 °C, respectivamente, no caso da escala Celsius. Entretanto, esse critério de escolha dos pontos de referência não leva em consideração a propriedade mais geral da matéria que caracteriza a temperatura: a energia cinética média das moléculas que compõe um corpo. E isso foi justamente o que motivou a criação da escala kelvin: associar o zero da escala à menor temperatura que um corpo pode atingir (desconsiderando as imposições quânticas), ou seja, o zero absoluto, que representa a ausência de movimento das partículas. Dessa forma, diferentemente da escala kelvin, os valores de zero dessas escalas não correspondem ao zero absoluto (ausência de movimento). Como consequência disso, elas não são isentas dos parâmetros específicos utilizados em suas construções, de modo que apresentam apenas informações incompletas a respeito do estado em que se encontra a energia cinética média das partículas, razão pela qual não são chamadas de absolutas, mas, sim, relativas. Observação: existem várias escalas absolutas. Uma delas é denominada Rankine e suas divisões são feitas com base na escala Fahrenheit, enquanto a Kelvin é feita na escala Celsius (centígrada).

10. a) Vamos assumir que a temperatura em determinada hora em uma cidade do litoral seja $T_0 = 25$ °C.

Então, os pontos de altitude 0 m e 11 000 m correspondem, respectivamente, aos pontos de temperatura 25 °C e −55 °C. Consideremos, agora, um ponto arbitrário da atmosfera de altitude H e temperatura T. Como a relação entre temperatura e altitude é linear, pela proporcionalidade dos segmentos, temos:

$$\frac{T - T_0}{-55 - T_0} = \frac{H - 0}{11\,000 - 0} \Rightarrow T - T_0 = \frac{-(55 + T_0) \cdot H}{11\,000} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{-(55 + T_0) \cdot H}{11\,000} + T_0$$

Substituindo $T_0 = 25$°C, obtemos:

$$T = \frac{-(55 + 25) \cdot H}{11\,000} + 25 \Rightarrow T = \frac{-80 \cdot H}{11\,000} + 25 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{-2 \cdot H}{275} + 25.$$

b) Vamos aplicar o mesmo procedimento para encontrar a relação de conversão entre pressão e altitude. Sabemos que, no nível do mar, a altitude é de 0 m e a pressão é 1 atm. Além disso, no ponto de altitude 11 000 m, a pressão é $\frac{1}{4}$ da pressão atmosférica, ou seja, 0,25 atm. Novamente, como a relação é linear, podemos tomar um ponto arbitrário de altitude H e pressão P para construir a equação de segmentos proporcionais. Assim, temos:

$$\frac{H - 0}{11\,000 - 0} = \frac{P - 1}{0{,}25 - 1} \Rightarrow P - 1 = \frac{-0{,}75 \cdot H}{11\,000} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P = \frac{-3 \cdot H}{4 \cdot 11\,000} + 1 \Rightarrow P = \frac{-3 \cdot H}{44\,000} + 1$$

De posse das equações obtidas nos itens **a** e **b**, podemos calcular a temperatura e a pressão sabendo a altitude do local. O monte Everest, por exemplo, tem altitude: $A_{Everest} = 8\,848$ m. Substituindo na expressão da temperatura, temos:

$$T_{Everest} = \frac{-2 \cdot 8\,848}{275} + 25 \Rightarrow T_{Everest} \cong -39\ °C$$

E a pressão fica:

$$P_{Everest} = \frac{-3 \cdot 8\,848}{44\,000} + 1 \Rightarrow P_{Everest} \cong 0{,}4\ \text{atm}$$

A temperatura e a pressão de outros locais podem ser calculadas, mas, é importante explicar aos estudantes que esse é um modelo extremamente simples e impreciso, pois não leva em consideração diversos fatores da complexa teoria da meteorologia.

CAPÍTULO 2 CONSEQUÊNCIAS DO CALOR (PÁGINA 181)

- Este capítulo auxilia os estudantes a desenvolverem as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT205** e **EM13CNT307**, pois são trabalhadas as transformações de energia, as propriedades dos materiais e os fenômenos de caráter probabilísticos relacionados à energia interna. Além disso, ao abordar as propriedades específicas de cada material, os estudantes podem perceber como é possível usar uma grandeza como calor específico para explorar os usos de materiais na indústria e no dia a dia.

O calor e a variação de temperatura
(página 181)

- Os conceitos fundamentais desse tópico são capacidade térmica, calor específico, equação fundamental da calorimetria e equilíbrio térmico. Capacidade térmica e calor específico são as grandezas relevantes na relação entre quantidade de energia térmica e variação de temperatura.

Capacidade térmica (página 182)

- Enfatize o significado físico da capacidade térmica como grandeza, complementando seu sentido com a conceituação de calor específico. Para isso, sugerimos introduzir esses dois conceitos em uma única aula, ainda que outra(s) seja(m) necessária(s) para completar seu estudo.

Calor específico (páginas 182 a 186)

- O boxe *Ação e cidadania* (p. 185), sobre o transporte de órgãos para transplante, desenvolve a competência geral **CGEB10**, ao trazer a reflexão sobre a importância de ações solidárias como a doação de órgãos, além de trabalhar o tema contemporâneo transversal **Saúde**.
- Chame atenção dos estudantes para o significado da unidade caloria em relação à grandeza energia, inclusive porque, para outras formas de energia, são utilizadas unidades diferentes (como joule e watt-hora). A confusão desses conceitos pode reforçar uma fragmentação frequente no conhecimento sobre energia, que consiste em entendê-la como se energia mecânica, térmica ou elétrica, por exemplo, fossem "entidades" ou conceitos distintos. Além disso, o termo "caloria" é com razão associado à energia dos alimentos, contribuindo para esse tipo de confusão. Assim, reforce a ideia de que caloria mede energia; no caso de alimentos, trata-se da energia associada ao alimento, liberada no processo metabólico.
- O objeto digital *Ilhas urbanas de calor* (p. 186) apresenta informações sobre este fenômeno, colaborando para o entendimento de como o calor específico pode ser importante para realizarmos escolhas que visam evitar a formação de ilhas urbanas de calor. Se possível, convide o(a) professor(a) de Biologia e promova um momento de discussão sobre o assunto com os estudantes.

Calor latente (página 187)

- Na introdução do conceito de calor latente, é importante reforçar o fato de que, nas mudanças de estado, a substância recebe ou cede calor sem ter sua temperatura alterada. Essa observação contribui para a distinção entre os conceitos de temperatura e calor, que vem sendo conduzida desde o início da unidade. Além disso, reforçar o conceito de calor latente como característica da substância que está mudando de estado mostra a importância dessa propriedade para comparar e reconhecer o uso de certas substâncias ou materiais para determinadas finalidades. Solicite aos estudantes que realizem a atividade proposta no boxe *Roteiro* (p. 187) para reforçar esse entendimento.

Equilíbrio térmico e mudanças de estado (páginas 188 e 189)

- É interessante retomar com os estudantes o aspecto químico da mudança de estado, relacionando o grau de agitação das moléculas com o estado de agregação delas. Discuta com eles de modo a estabelecer relações entre o que acontece nos níveis macroscópico e microscópico de um sistema quando este recebe ou perde energia.
- O estudo das curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância possibilita, mediante linguagem gráfica, uma sistematização dos conceitos de propriedades térmicas envolvidos nas mudanças de estado. Assim, evite introduzi-los como novidade conceitual: reforce que se trata apenas de sistematizar e representar graficamente o que foi estudado no capítulo. Isso é importante para promover o reconhecimento do uso, das vantagens, limitações e relações entre diferentes linguagens.
- O boxe *Ciência se discute* (p. 189), sobre o efeito Mpemba, trabalha a competência geral **CGEB2**, ao exercitar a curiosidade intelectual e destacar a importância da crítica e da investigação. Nesse momento, também é interessante comentar com os estudantes sobre o ponto triplo da água.

SUGESTÃO DE AULA

- Ao abordar esse tópico, sugerimos planejar uma aula em parceria com o(a) professor(a) de Biologia para uma discussão sobre termorregulação nos organismos vivos: como animais endotérmicos e ectodérmicos controlam sua temperatura.
- No desenvolvimento dessa aula, podem ser analisados exemplos de animais que se adaptam em diferentes ambientes, como a regulação térmica de animais no deserto e em regiões polares; e também as relações dos mecanismos biológicos de sobrevivência com os princípios de calorimetria, como o calor específico e o equilíbrio térmico.
- Para finalizar a aula, sugerimos destacar as vantagens evolutivas da regulação térmica nos organismos relacionando-a com os processos de transferência de calor e as condições dos hábitats.

Física e Geografia – Derretimento da geleira Thwaites e os eventos climáticos (páginas 190 e 191)

- A seção propõe um trabalho interdisciplinar entre Física e Geografia. O(A) professor(a) do componente curricular de Geografia pode participar do planejamento desta atividade contribuindo com as discussões sobre densidade populacional, mudanças climáticas e efeitos socioeconômicos que resultam de eventos climáticos extremos.
- As atividades propostas nesta seção permitem desenvolver a competência geral **CGEB2**, ao recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a análise crítica. Promovem-se também as habilidades **EM13CNT102**, considerando o uso de tecnologias digitais que auxiliam no cálculo de estimativas; **EM13CNT203**, ao prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, e seus impactos nos seres vivos; e **EM13CNT302**, ao elaborar texto com tema científico de relevância ambiental. Além disso, trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação ambiental**, da área Meio ambiente.

Dilatação e contração térmica (páginas 192 e 193)

- Ao apresentar exemplos e classificar os tipos de dilatação em linear, superficial e volumétrica, chame a atenção dos estudantes para um erro conceitual comum: o de associar a dilatação linear a corpos unidimensionais, a dilatação superficial a corpos bidimensionais e a dilatação volumétrica a corpos tridimensionais. Todos os objetos são tridimensionais, o espaço é tridimensional (na concepção clássica de Universo), entretanto, dependendo das proporções do objeto ou da situação física analisada, a dilatação pode ser relevante só em uma ou em duas dimensões. Desta forma, esses tipos de dilatação são simplificações úteis para evitar cálculos desnecessários.

Práticas de Ciências – Medindo as curvas de fusão e de solidificação do gelo (página 194)

- Na seção, os estudantes vão observar empiricamente o fenômeno do equilíbrio térmico quando há mudança de estado

físico, mobilizando a competência geral **CGEB2**. Assim, trabalham também a habilidade **EM13CNT301**, ao empregar instrumentos de medida para representar graficamente o que ocorre com a temperatura durante a fusão e a solidificação do gelo. Se possível, explique-lhes a anomalia da curva da água.

FONTES COMPLEMENTARES

- Gomes, L. C. A ascensão e queda da teoria do calórico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 29, n. 3, p. 1030-1073, dez. 2012. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n3p1030/23609. Acesso em: 19 out. 2024.

  O artigo faz uma análise histórica do surgimento da teoria do calórico, de seu poder explicativo e de seu declínio.

- Rocha, F. S. da; Guadagnini, P. H.; Lucchese, M. M. Projeto de um calorímetro de relaxação para ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, p. 278-297, abr. 2017. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p278/33987. Acesso em: 19 out. 2024.

  O texto sugere um projeto de um calorímetro de relaxação para medidas de calor específico em temperatura ambiente direcionado ao ensino de Física experimental.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

O conhecimento científico em situações do dia a dia

Leia com os estudantes o seguinte trecho do artigo "Saberes etnomatemáticos, etnofísicos e etnoquímicos envolvidos no processo de produção da cerâmica caeteuara de Bragança (PA): uma análise interdisciplinar a partir dos etnossaberes". Depois, discuta as questões propostas a seguir

Tradição, etnomatemática, etnofísica e etnoquímica: tudo na mesma panela de barro

Por se tratar de uma pesquisa em andamento, os resultados aqui apresentados são de caráter parcial, mas já é possível fazermos algumas considerações. E para estabelecer essa relação entre tradição, a matemática, a física e a química, foram selecionadas algumas narrativas construídas durante os diálogos estabelecidos na pesquisa de campo realizada em 2017, no ambiente da oficina de cerâmica da comunidade, com o ceramista "Furtado", seguindo os [...] critérios:

As narrativas se iniciam descrevendo o ofício da construção da cerâmica caeteuara e um pouco da sua história, em seguida apresentam a forma pela qual o ceramista se relaciona com os fenômenos naturais e com as substâncias envolvidas no processo de construção da cerâmica, o ceramista ainda explica como as argilas (matéria-prima inicial) são tratadas para posteriormente serem transformadas em peças com diferentes finalidades e conclui explicando como determina os formatos de suas peças.

A narrativa exposta por "Furtado" é iniciada pela descrição de seu ofício:

[...] minha mãe já trabalha e arrumou um pessoal aí, cerca de 16 pessoas, aí eu ainda não tava lá, só que dessas 16 pessoas, nós tinha dificuldade nessa queima, porque a gente não dominava o fogo do forno, queimava as panelas só na fogueira, aí era muito pai de família e não teve como manter esses caras, aí foi desmontando todo o grupo e acabou ficando só eu. Aí eu consegui ajustar esse tempo de queima, essa secagem, que era nossa dificuldade, então é isso, conseguimo chegar a quase 100%, né. Porque antigamente nós perdia na secagem e na queima e era só prejuízo (FURTADO, entrevista realizada em agosto de 2017).

Em seguida, menciona alguns processos relacionados à queima da peça:

[...] para a queima eu deixo o forno esquentar do final da tarde, a noite toda e queimo no outro dia, porque aí, ele fica quente por completo e ar quente passa por todas as peças. O tempo no forno é de acordo com a peça, olho a grossura dela e já tenho uma noção de quanto tempo ela vai ficar lá, porque o fogo vem de baixo pra cima e, aí o fogo começa a entrar em contato com as peças, vai esquentando o material que está mais perto do fogo, aí depois vai passando a quentura pras outras peças que estão em cima, até o ponto que as peças ficam na mesma temperatura e toda água da argila é evaporada (FURTADO, entrevista realizada em agosto de 2017).

Observando a explicação do ceramista sobre o processo de queima[,] é perceptível que "Furtado" expõe saberes que podem ser facilmente relacionados aos conhecimentos científicos pertencentes à Física: noções de tempo, temperatura, equilíbrio térmico e troca de calor são apenas alguns exemplos dos saberes etnofísicos que Furtado detém.

[...]

Rosario, S. A. S. do; Cardoso, S. R. P.; Saraiva, L. J. C. Saberes etnomatemáticos, etnofísicos e etnoquímicos envolvidos no processo de produção da cerâmica caeteuara de Bragança (PA): uma análise interdisciplinar a partir dos etnossaberes. *Revista Atlante*. Cuadernos de Educación y Desarrollo, Málaga, set. 2018. Disponível em: https://www.eumed.net/rev/atlante/2018/09/saberes-etnomatematicos.html. Acesso em: 19 out. 2024.

a) Como os conceitos científicos estudados se aplicam na situação apresentada no texto?

R.: *A convecção pode explicar como o forno fica "quente por completo e ar quente passa por todas as peças". A condução do calor explica a transferência de calor do ar no interior do forno para o material que compõe as peças. O calor específico e a capacidade térmica podem ser usados para explicar o tempo de "cozimento" de cada peça.*

b) Qual é a importância dos saberes etnofísicos demonstrados pelo ceramista do texto?

R.: *Esses conhecimentos construídos de forma empírica mostram que, mesmo sem o conhecimento científico formal, é possível construir saberes que permitem o desenvolvimento de técnicas e tecnologia, reaproximando a ciência das práticas usuais do cotidiano.*

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Além das atividades do capítulo, pode-se realizar a atividade complementar sugerida anteriormente como mais um instrumento de verificação da aprendizagem dos estudantes.
- Considere utilizar a seção *Práticas de Ciências* como forma de avaliação, pois é uma estratégia oportuna para avaliar tanto os aspectos conceituais trabalhados ao longo do capítulo, quanto as competências e habilidades, como a elaboração de explicação de fenômenos naturais, a capacidade de inferência e interpretação de dados, bem como o desenvolvimento de elementos da linguagem científica.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (páginas 185, 186 e 189)

2. A situação descrita é possível porque, uma vez que o calor específico da água é maior que o do plástico, a quantidade

mínima de calor suficiente para aquecer a água até certa temperatura é maior do que a mínima suficiente para aquecer o plástico até essa mesma temperatura. Assim, quando há água dentro do copo, o calor do fogo que atinge o copo é em boa parte transmitido para o aquecimento da água, de tal forma que, comparando com a situação do copo vazio, o conjunto água e copo demora mais para atingir a temperatura de combustão do plástico.

4. Isso ocorre devido ao calor específico do corpo *B* ser significativamente maior que o do corpo *A*. Assim, apesar de o corpo *A* ter uma massa maior que a de *B*, o calor específico de *B* é maior o suficiente que o de *A* para compensar essa maior massa de *A*, fazendo com que uma mesma quantidade de calor produza uma maior variação de temperatura do corpo *A* do que a do corpo *B*. Do ponto de vista matemático, essa compensação se dá no limite em que o produto da massa de *B* pelo calor específico de *B* é maior do que o produto da massa de *A* pelo calor específico de *A*.

Proponha à turma que prove essa afirmação matematicamente. Para tanto, os estudantes devem supor que uma mesma quantidade de calor (Q) seja fornecida aos corpos *A* (de massa m_A e calor específico c_A) e *B* (de massa m_B e calor específico c_B), produzindo, respectivamente, as variações de temperatura (ΔT_A) e (ΔT_B).

Sabemos que: $m_A > m_B$ (**I**) e $\Delta T_A > \Delta T_B$ (**II**).

Da equação do calor aplicada aos corpos *A* e *B*, eles devem obter:

$Q = m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A = m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B$ (**III**)

Agora, notando que as massas e as variações de temperaturas são todas quantidades positivas (forneceu-se calor aos corpos), podem-se dividir as desigualdades (**I**) e (**II**), respectivamente, por m_B e ΔT_B, obtendo:

$\frac{m_A}{m_B} > 1$ (IV) e $\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B} > 1$ (**V**)

Dividindo ambos os lados da equação (**III**) por $m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_B$, obtém-se:

$\frac{m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A}{m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_B} = \frac{m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B}{m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_B} \Rightarrow \frac{m_B \cdot c_B}{m_A \cdot c_A} = \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B}$ (**VI**)

Comparando (**V**) com (**VI**), temos:

$\frac{m_B \cdot c_B}{m_A \cdot c_A} = \frac{\Delta T_A}{\Delta T_B} > 1 \Rightarrow \frac{m_B \cdot c_B}{m_A \cdot c_A} > 1 \Rightarrow m_B \cdot c_B > m_A \cdot c_A$ (**VII**)

Assim, os estudantes podem concluir que se a variação de temperatura de *A* é maior do que a de *B*, então o produto da massa de *B* pelo calor específico de *B* é maior que o produto da massa de *A* pelo calor específico de *A*.

A esse produto dá-se o nome de capacidade térmica de um corpo, que consiste na razão entre a quantidade de calor fornecida a um corpo e a correspondente variação de temperatura que ele sofre.

Por fim, devem observar que $c_B > c_A$. Para verificar isso, basta notar que, de (**VII**), obtém-se:

$\frac{c_B}{c_A} > \frac{m_A}{m_B}$

Combinando a desigualdade acima com (**IV**), conclui-se que $\frac{c_B}{c_A} > \frac{m_A}{m_B} > 1 \Rightarrow \frac{c_B}{c_A} > 1 \Rightarrow c_B > c_A$.

6. Com base nos dados e na equação para temperatura de equilíbrio temos:

$m_{água} = 300$ g; $c_{água} = 1$ cal/g°C; $m_{gelo} = 50$ g; $L_{fusão} = 80$ cal/g

$T_0 = 30$ °C

$Q_1 = m_{gelo} \cdot L_{fusão}$

$Q_2 = m_{água} \cdot c_{água} \cdot \Delta T_{água}$

$Q_3 = m_{gelo} \cdot c_{água} \cdot \Delta T_{"gelo"}$

$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$

$m_{gelo} \cdot L_{fusão} + m_{água} \cdot c_{água} \cdot \Delta T_{água} + m_{gelo} \cdot c_{água} \cdot \Delta T_{"gelo"} = 0$

$50 \cdot 80 + 300 \cdot 1 \cdot (T_F - 30) + 50 \cdot 1 \cdot (T_F - 0) = 0$

$4000 + 300 T_F - 9000 + 50 T_F = 0$

$350 T_F = 5000$

$T_F \cong 14,3$ °C

Práticas de Ciências – Medindo as curvas de fusão e de solidificação do gelo (página 194)

1. Nos dois processos a temperatura se mantém constante. Na mudança de fase, a liberação e absorção de calor ocorrem sem implicar a variação de temperatura.

Atividades (página 195)

1. a) A variação do comprimento da barra pode ser calculada pela equação:

$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$

$\Delta \ell = 2 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (40 - 15) = 1,15 \cdot 10^{-3}$ m

Logo, $\Delta \ell = 1,15 \cdot 10^{-3}$ m $= 1,15$ mm.

b) Conhecendo a variação do comprimento e o comprimento inicial da barra, o comprimento final pode ser obtido de acordo com a equação:

$\ell = \Delta \ell + \ell_0 = 2 + 1,15 \cdot 10^{-3} = 2,00115$ m

Logo, $\ell = 2,00115$ m.

2. a) A área A_0 de um azulejo em um dia de inverno corresponde à área de um quadrado de 15 cm de lado. Portanto:

$A_0 = \ell \cdot \ell = 15$ cm $\cdot$ 15 cm

$A_0 = 225$ cm²

b) A dilatação do azulejo do é dada por:

$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot DT = 225 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 25$

$\Delta A = 2,25 \cdot 10^{-2}$ cm²

c) A área A_f do azulejo em um dia de verão é a soma de sua área inicial A_0 em um dia de inverno com a variação ΔA causada pela dilatação, calculada no item anterior. Assim:

$A_f = A_0 + \Delta A = 225$ cm² $+ 0,0225$ cm²

$A_f = 225,0225$ cm²

3. A variação do volume da obturação é dada por:

$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T = 1 \cdot 27 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta V = 54 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \Delta V = 5,4 \cdot 10^{-4}$ mm³

4. a) Dados do problema: $\begin{cases} m = 200 \text{ g} \\ Q = 1000 \text{ cal} \\ \Delta T = 20 \text{ °C} \end{cases}$

A capacidade pode ser obtida pela razão da quantidade de calor fornecida ao corpo pela variação de temperatura que ele sofre. Assim, temos:

$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow C = \frac{1000}{20} \Rightarrow C = 50$ cal/°C.

b) Isolando o calor específico na equação fundamental da calorimetria e substituindo nela os dados do problema, obtemos:

$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \Rightarrow c = \frac{1000}{200 \cdot 20} \Rightarrow c = 0,25$ cal/g $\cdot$ °C.

c) Basta aplicar a equação do calor, considerando que a temperatura variou de 20 °C para 350 °C:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q = 200 \cdot 0,25 \cdot (350\text{-}20) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 200 \cdot 0,25 \cdot 330 \Rightarrow Q = 16500$ cal.

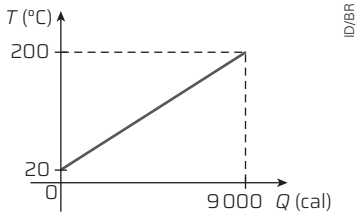
d) Vamos utilizar a equação fundamental da calorimetria para encontrar e colocar a temperatura em função do calor fornecido a um corpo, supondo que esse corpo tenha massa m, calor específico c e se encontre, inicialmente à temperatura t_0: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \left(t - t_0\right) \Rightarrow$
$\Rightarrow \frac{Q}{m \cdot c} = t - t_0 \Rightarrow t = \frac{1}{m \cdot c} \cdot Q + t_0$

Com isso, percebemos que a função que relaciona temperatura e quantidade de calor é linear. Logo, o gráfico é uma reta. Para determinar essa reta, precisamos de apenas dois pontos. Vamos escolher os pontos da situação final e inicial. No início, o corpo se encontra à temperatura $t_i = 20$ °C e a quantidade de calor fornecida é nula, ou seja, temos o ponto inicial $P_i = (0, 20)$. Na situação final, sabemos que a temperatura é $t_f = 200$ °C. Assim, a quantidade de calor fornecida até atingir essa situação foi:

$Q_f = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q_f = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_f = 200 \cdot 0{,}25 \cdot (200 - 20) \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_f = 200 \cdot 0{,}25 \cdot 180 \Rightarrow Q_f = 9\,000\ cal$

Desse modo, o ponto final é $P_f = (9\,000, 200)$

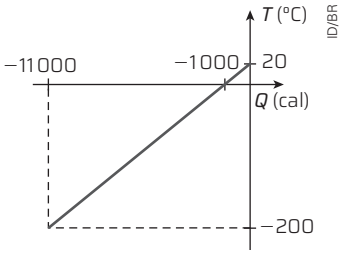
Portanto, com os pontos P_i e P_f construímos a reta abaixo que representa o gráfico $T \times Q$ para o intervalo de temperatura pedido:



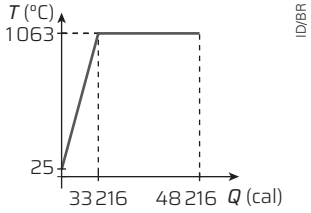
e) Já sabemos que o gráfico $T \times Q$ é uma reta, de forma que precisamos de apenas dois pontos para determiná-lo. O ponto inicial é o mesmo da situação passada e é dado por $P_i = (0, 20)$. Para encontrar o ponto final, precisamos saber a quantidade de calor perdida pelo corpo para atingir a temperatura $t_f = -200$ °C. Aplicando a equação fundamental da calorimetria, obtemos:

$Q_f = m \cdot c \cdot \Delta T \Rightarrow Q_f = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_f = 200 \cdot 0{,}25 \cdot (-200 - 20) \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_f = 200 \cdot 0{,}25 \cdot (-220) \Rightarrow Q_f = -11\,000\ cal$

Logo, o ponto final é dado por $P_f = (-11\,000, -200)$.



Observe que o calor tem sinal negativo, o que significa que o calor foi cedido. Colocando os pontos final e inicial no gráfico (fora de escala) e traçando a reta, construímos o gráfico $T \times Q$:



Associe essa relação $T \times Q$ com a equação reduzida da reta (função afim), identificando o coeficiente angular com o inverso da capacidade térmica e o coeficiente linear com a temperatura inicial, como pode ser notado na equação (I) do item **d**).

6. Admitindo que o calorímetro está em equilíbrio térmico com a água, temos:

$Q_{metal} + Q_{água} + Q_{calorímetro} = 0 \Rightarrow$
$\Rightarrow m_1 \cdot c_{metal} \cdot \Delta T_1 + m_2 \cdot c_{água} \cdot \Delta T_2 + C_{calorímetro} \cdot \Delta T_3 = 0 \Rightarrow$
$\Rightarrow 100 \cdot c_{metal} \cdot (25 - 100) + 100 \cdot 1 \cdot (25 - 20) +$
$+ 200 \cdot (25 - 20) = 0$
$-7\,500 \cdot c_{metal} + 500 + 1\,000 = 0 \Rightarrow c_{metal} = \frac{1\,500}{7\,500} \Rightarrow$
$\Rightarrow c_{metal} = 0{,}2$ cal/(g · °C).

É importante deixar claro para os estudantes que, quando dois ou mais corpos interagem de modo a constituir um sistema termicamente isolado do meio externo, a soma dos calores trocados é nula. Enfatize, ainda, que, na determinação do calor associado a cada corpo, feita mediante a aplicação da equação fundamental da calorimetria, é fundamental (para evitar erros de sinal) que essa variação de temperatura seja sempre estabelecida pela subtração da temperatura final pela inicial de cada corpo. Lembre-os, também, que, se a situação final for de equilíbrio térmico, então, a temperatura final será a mesma para todos os corpos envolvidos na troca de calor. É muito comum, nesse tipo de equação, ocorrer erros de sinal que levam a resultados incorretos, de forma que, adotar um método bem definido como referência para resolver os problemas, auxilia bastante os estudantes na realização correta dos cálculos.

7. Uma sugestão é aplicar a equação fundamental da calorimetria e consultar a tabela com o calor específico da substância.

a) Resposta variável, mas sabemos que a quantidade de calor trocada pela água que foi colocada no congelador será maior que a quantidade de calor trocada pela água que foi colocada no refrigerador.

b) Resposta variável, mas, como o calor cedido pela água no congelador é maior que o calor cedido pela água no refrigerador, essa razão será maior que 1.

c) Se forem utilizados equipamentos diferentes, pode acontecer de eles terem sido programados para operar em temperaturas diferentes ou mesmo operar com potências distintas ou, ainda, apresentar diferentes capacidades de isolamento térmico. Também é importante que os recipientes utilizados para comportar a água sejam iguais e que eles fiquem dispostos de maneira similar no interior do refrigerador e do congelador, pois a área de contato entre os recipientes e as paredes internas do equipamento bem como o ar que lá se encontra podem influenciar na velocidade das trocas de calor.

d) Resposta variável. Para refrigerar a água (ou qualquer outro corpo) no congelador ou refrigerador, é necessária energia elétrica. Quanto menor a temperatura que se deseja atingir, maior é a quantidade de energia elétrica demandada. Portanto, se um produto for colocado no congelador, ele produzirá um consumo de energia elétrica significativamente maior do que se for colocado no refrigerador.

A atividade solicita aos estudantes que analisem um sistema térmico e seu funcionamento para fazer previsões que visem à sustentabilidade, contribuindo, assim, para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

8. Pelo fato de o sistema ser termicamente isolado, temos que a soma da quantidade de calor cedida pela porção de água que se encontra inicialmente à temperatura $T_1 = 100$ °C com

a quantidade de calor recebida pela porção de água que se encontra inicialmente à temperatura T_2 = 25 °C é nula. Além disso, como o equilíbrio térmico é atingido, as temperaturas finais (T_f) das duas porções de água são iguais. Assim:

$Q_1 + Q_2 = 0$

$m_1 \cdot c \cdot (T_f - T_1) + m_2 \cdot c \cdot (T_f - T_2) = 0$

$4\,000 \cdot 1 \cdot (T_f - 100) + 20\,000 \cdot 1 \cdot (T_f - 25) = 0$

$24\,000 \cdot T_f - 900\,000 = 0 \Rightarrow T_f = 37{,}5$ °C.

9. Sabemos que a massa total de água será 10 000 g, portanto, teremos:

$m_1 + m_2 = 10\,000 \Rightarrow m_1 = 10\,000 - m_2$

Vamos chamar a água fria de 1 e a água fervente de 2, então, considerando o sistema isolado, teremos:

$Q_1 + Q_2 = 0$

$m_1 \cdot c \cdot \Delta T_1 + m_2 \cdot c \cdot \Delta T_2 = 0$

$(10\,000 - m_2) \cdot 1 \cdot (80 - 20) + m_2 \cdot 1 \cdot (80 - 100) = 0$

$(10\,000 - m_2) \cdot 1 \cdot 60 + m_2 \cdot 1 \cdot (-20) = 0$

$600\,000 - 60 \cdot m_2 - 20 \cdot m_2 = 0$

$600\,000 = 80 \cdot m_2$

$m_2 = 7\,500$ g de água fervente

Portanto, teremos de misturar 7,5 litros de água fervente com 2,5 litros de água fria.

Do ponto de vista matemático, vale observar que esse exercício foi possível resolver porque temos um sistema de duas equações lineares e duas incógnitas, em que as incógnitas são as massas das duas porções de água e as equações são: 1) a conservação da massa e 2) a equação fundamental da calorimetria.

10. Vamos dividir a solução em duas partes, considerando, primeiramente, a relação dos calores específicos sensíveis dos dois líquidos de massas idênticas, que são colocados em um calorímetro ideal às temperaturas de 80 °C e 20 °C. É informado que o conjunto atinge o equilíbrio térmico a 50 °C. Assim, temos:

$m \cdot c_1 \cdot (50 - 80) + m \cdot c_2 \cdot (50 - 20) = 0$

$30 \cdot m \cdot (c_2 - c_1) = 0$

Como $m \neq 0$, temos: $c_2 = c_1$

Em seguida, é acrescentado um terceiro líquido de massa igual à do primeiro a uma temperatura de 40 °C e de calor específico igual à metade do calor específico sensível dos primeiros. A nova temperatura de equilíbrio térmico será:

$$m \cdot c \cdot (T - 50) + m \cdot c \cdot (T - 50) + \frac{m \cdot c \cdot (T - 40)}{2} = 0$$

$$m \cdot c \cdot \left((T - 50) + (T - 50) + \frac{(T - 40)}{2}\right) = 0$$

Sabemos que $mc \neq 0$, portanto:

$$(T - 50) + (T - 50) + \frac{(T - 40)}{2} = 0$$

$$2T - 100 + \frac{(T - 40)}{2} = 0$$

$4T - 200 + T - 40 = 0$

$5T = 240$

$T = 48$ °C

A nova temperatura de equilíbrio térmico do sistema será, portanto, 48 °C.

A segunda parte do problema também poderia ser resolvida considerando que temos a mistura de um líquido de massa m, calor específico sensível c e temperatura inicial de 50 °C com um líquido de massa $\frac{m}{2}$, temperatura inicial 40 °C e calor específico sensível $\frac{c}{2}$.

CAPÍTULO 3 LEIS DA TERMODINÂMICA (PÁGINA 196)

Um pouco sobre a Termodinâmica (página 196)

- As leis da Termodinâmica e o estudo das máquinas térmicas finalizam e sistematizam o conhecimento dos conceitos, propriedades e processos térmicos. Os conceitos tratados nesse capítulo permitem compreender e interpretar o uso e as limitações do calor e da energia para benefício social.

A Termodinâmica e a Revolução Industrial (página 197)

- A contextualização histórica da Termodinâmica no início do capítulo favorece a compreensão da ciência como processo humano de conhecimento do mundo. Assim, pode-se estabelecer uma ponte com as aulas de História, trocando ideias com o(a) professor(a) desse componente curricular para realizar alguns estudos comuns ou complementares. Peça aos estudantes que pesquisem esse momento histórico situando a importância da Termodinâmica e identificando aspectos econômicos, políticos e sociais, bem como os científicos e tecnológicos que justificaram o desenvolvimento desse campo da ciência e, particularmente, das máquinas térmicas.
- O objeto digital *O surgimento do motor a vapor* explora esta máquina térmica e o seu princípio básico de funcionamento, trabalhando a competência geral **CGEB1**.
- É importante enfatizar que as relações fundamentais da Termodinâmica envolvem as transformações de energia térmica que possibilitam a realização de trabalho. Nesse sentido, uma sugestão é retomar estudos anteriores sobre transformações de energia, enfatizando fenômenos, processos e tecnologias que envolvem a energia térmica (por exemplo, o calor usado para obter outras formas de energia — como a que movimenta a válvula da panela de pressão — e outras formas de energia usadas para obter calor — como a energia elétrica para ligar o secador de cabelo). Com isso, o foco de interesse da Termodinâmica é associado à transformação de calor em trabalho. Seguindo essa abordagem, trabalha-se a habilidade **EM13CNT101** com a análise da transformação de energia em trabalho.
- A reflexão proposta no boxe *Ação e cidadania* favorece o desenvolvimento das competências gerais **CGEB1** (valorizar e utilizar dos conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo social e cultural para explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva), **CGEB8** (cuidar de sua saúde física e emocional, compreendendo-se na diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros) e **CGEB9** (exercitar a empatia, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, culturas, sem preconceitos de qualquer natureza).

A primeira lei da Termodinâmica (páginas 198 a 200)

- É importante enfatizar que essa lei é uma particularização do princípio de conservação da energia. Para tornar a aprendizagem mais consistente, você pode apresentar à turma exemplos de situações, como a apresentada no boxe *Roteiro* (p. 198), de encher o pneu de uma bicicleta, em que o aumento da energia interna de um sistema pode ocorrer mediante

a aplicação de forças em corpos que se deslocam, portanto, a troca de energia por realização de trabalho ou por transferência de calor de um corpo mais quente.

- É recomendável iniciar o estudo das transformações cíclicas com exemplos de ciclos diversos (não necessariamente relacionados a transformações gasosas), para, em seguida, focar os casos de transformações cíclicas em máquinas térmicas. Ao abordar essas máquinas, deve-se dar atenção para as indicações de "sentido horário" e "sentido anti-horário", com o sentido horário associado às máquinas térmicas e o sentido anti-horário, às máquinas frigoríficas: trata-se de uma convenção que representa o sentido do ciclo no diagrama $p \times V$. O importante é compreender o significado físico desses ciclos e perceber quando parte da energia interna é convertida em trabalho. Esses casos devem ser retomados, no estudo das máquinas térmicas. Se julgar conveniente, vá diretamente para esse estudo, antes de apresentar aos estudantes a segunda lei da Termodinâmica.

A segunda lei da Termodinâmica

(páginas 201 e 202)

- Uma dificuldade comum no ensino e aprendizado da segunda lei da Termodinâmica são suas múltiplas formulações e o fato de haver dois enunciados. Quando o significado físico dessa lei é compreendido, tais enunciados podem ser mais facilmente relacionados. Depois de explicar a segunda lei, sugerimos solicitar aos estudantes que respondam às perguntas do boxe *Roteiro* (p. 201) para que reflitam sobre a primera e a segunda lei da Termodinâmica aplicando-as em uma situação-problema.
- O boxe *Física e Químic*a sobre dissolução de substâncias exemplifica como as trocas de calor estão relacionadas com as reações químicas.
- O conceito de rendimento da máquina deve ser introduzido de maneira a não constituir uma mera fórmula a ser memorizada. Ou seja, como a função da máquina é converter calor em energia mecânica, seu rendimento está relacionado à quantidade da energia total fornecida sob forma de calor que é aproveitada (utilizada) para a realização do trabalho mecânico. Desse modo, a segunda lei também pode ser compreendida pela impossibilidade de uma máquina ter rendimento igual a 1 (100% de aproveitamento). Nesse momento do estudo, é oportuno motivar uma discussão sobre a crise mundial de energia, assunto constante em mídias diversas.

Ciclo de Carnot (página 203)

- A irreversibilidade das transformações térmicas é uma ocorrência natural, descrita pela segunda lei da Termodinâmica. É um conceito, geralmente, de difícil compreensão. Assim, pode ser tratado de modo qualitativo (associado a discussões feitas no estudo da segunda lei da Termodinâmica) e por meio de exemplos e analogias. Esclareça os estudantes que a irreversibilidade é uma consequência da segunda lei da Termodinâmica, e não outra lei ou teoria. A maior dificuldade para os estudantes, talvez, seja compreender o caráter de generalização da irreversibilidade, com aplicação para qualquer evento ou fenômeno, diferentemente das transformações gasosas. Por isso, nesse momento, é recomendável levá-los a discutir exemplos, a ler, interpretar e debater textos que contribuam para esse esclarecimento.

Entropia (página 204)

- O conceito de entropia para explicar a degradação da energia, o aumento da desordem no Universo e sua "morte térmica" requer abstrações não muito simples de serem compreendidas neste nível de ensino. Mas, considerando que muitos estudantes não terão outro contato formal com a Termodinâmica, deve-se aproveitar o momento para introduzir o tema. Embora não seja um assunto do cotidiano, essas ideias estão presentes em muitos filmes ou textos de divulgação científica. Sugere-se, portanto, recorrer a esses materiais para introduzir o conteúdo. Analogias e exemplos a respeito do tempo, como passar um filme de trás para a frente, são recursos que contribuem para um aprendizado mais efetivo. A compreensão da expressão matemática da entropia pode ser trabalhada na atividade proposta no boxe *Roteiro* (p. 204). Solicite aos estudantes que realizem essa atividade e, depois, converse com eles sobre as respostas.

Práticas de Ciências – Entropia (página 205)

- Com esse experimento, a habilidade **EM13CNT301** é trabalhada ao se explorar o conceito de entropia. Discuta com a turma o caráter de modelo que o experimento apresenta. Incentive os estudantes a levantar hipóteses, embasando seus argumentos e conclusões nos conceitos estudados até o momento, trabalhando, assim, a competência geral **CGEB2**.

Máquinas térmicas (páginas 206 a 209)

- Nesse tópico, discutem-se os principais tipos de máquina térmica, com a sistematização dos conteúdos de Termodinâmica estudados na unidade. Caso não haja tempo para apresentar cada máquina (turbina a vapor, motor a combustível e máquinas refrigeradoras), escolha uma delas e discuta mais detalhadamente seu funcionamento e deixe as demais para alguma atividade. Sugerimos, nesse caso, o motor a combustão, por estar mais próximo do cotidiano dos estudantes e relacionado à poluição ambiental e ao clima. Uma alternativa é organizar a turma em três grupos, um para cada máquina, e orientá-los a fazer pesquisas e a apresentar os resultados em um seminário. Ou ainda, mesmo concentrando-se nos motores a combustão interna, cada grupo pode apresentar os diferentes tipos de motor: dois tempos, quatro tempos, a gasolina ou a *diesel*, por exemplo. Esse tópico trabalha com a competência geral **CGEB1** (valorizar e utilizar do conhecimento historicamente construído e explicar a realidade).

Combustíveis (páginas 209 a 211)

- Esse tópico auxilia no desenvolvimento das habilidades **EM13CNT101** e **EM13CNT307**, pois trabalha conteúdos ligados a alterações de energia e propriedades dos materiais e seus usos.
- O tópico também possibilita explorar pontos em comum entre Física e Química, isto é, como a configuração molecular de diferentes substâncias, que, ao reagir com o oxigênio, acaba por liberar diferentes quantidades de energia, a qual pode ser aproveitada no acionamento de máquinas térmicas, como os motores dos automóveis. Abre-se aqui também uma possibilidade interessante de trabalho com os professores de Biologia e Química sobre compostos orgânicos e reações orgânicas, como a esterificação, que possibilita a obtenção do biodiesel, e seus impactos ambientais positivos.
- Ao discutir com os estudantes a composição dos combustíveis, pode-se incentivá-los a avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade dos diferentes combustíveis, bem como o nível de exposição a eles, a fim de que eles se posicionem criticamente e proponham soluções individuais e/ou coletivas para seus usos responsáveis, desenvolvendo, assim a habilidade **EM13CNT104**.

- Ao discutir com os estudantes a composição dos combustíveis, pode-se incentivá-los a avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade dos diferentes combustíveis, bem como o nível de exposição a eles, a fim de que eles se posicionem criticamente e proponham soluções individuais e/ou coletivas para seus usos responsáveis, desenvolvendo, assim a habilidade **EM13CNT104**.
- O boxe *Ciência se discute* (p. 210) desenvolve a competência geral **CGEB7** e trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação para o consumo**, da área Meio ambiente.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Carro elétrico: sua história é tão velha quanto o próprio automóvel (página 212)

- Para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**, é interessante, além de trabalhar com os estudantes a interpretação do texto apresentado, chamar a atenção deles para a apresentação das informações no texto, a consistência dos argumentos, o local de publicação, se há citação às fontes originais, entre outros aspectos. Dessa forma, é possível auxiliá-los a construir estratégias de seleção e de fontes confiáveis de informação.

FONTE COMPLEMENTAR

- Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref). *Leituras de Física:* Física térmica para ler, fazer e pensar. São Paulo: Instituto de Física da USP, 2000. Disponível em: http://www.if.usp.br/gref/termo/termo2.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

  O material do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física apresenta, com ilustrações divertidas, os temas principais da Física.

ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Produção de texto e tabela

Proponha aos estudantes realizarem as atividades a seguir.

1. Escreva um texto sobre importância da Termodinâmica para a economia (em especial para o setor industrial) de um país.

R.: *Resposta variável. Espera-se que os estudantes abordem a importância da Termodinâmica no desenvolvimento dos motores e no processo de industrialização e desenvolvimento de meios de transporte. Oriente os estudantes para evitarem digressões e, após escreverem o texto, revisarem o texto para garantir que mantiverem o tema proposto.*

2. Faça uma relação de fenômenos, processos, equipamentos e situações em que ocorrem transformações de energia envolvendo energia térmica. Depois, classifique a relação em uma tabela com duas colunas: casos em que a energia térmica é transformado em outra forma de energia; casos em que outra forma de energia é transformada em térmica.

R.: *Resposta variável. Exemplo de processo em que o energia térmica é transformada em outras energias: máquinas térmicas, que transformam energia térmica em energia de movimento. Exemplo de processo em que outras formas de energia são transformadas em calor: chuveiro elétrico, em que a energia elétrica é transformada em energia térmica.*

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Sugerimos que todas as participações dos estudantes sejam consideradas em sua avaliação. É importante compartilhar com eles sua percepção dos ganhos conceituais e das lacunas que ainda podem ser melhoradas.
- Se considerar necessário adotar mais instrumentos para aferir a aprendizagem dos estudantes, além das atividades presentes neste capítulo, você pode usar as atividades sugeridas anteriormente em *Atividades complementares*.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Ação e cidadania – Crianças e trabalho (página 197)

2. Se julgar interessante, oriente os estudantes a buscar mais informações em fontes confiáveis, como a página da Unicef , disponível em: https://www.unicef.org/brazil, ou da Rede Peteca - Chega de trabalho infantil, disponível em: https://www.chegadetrabalhoinfantil.org.br (acessos em: 19 out. 2024).

Roteiro (página 198)

1. a) Podemos considerar que essa transformação é adiabática, ou seja, sem troca de calor. De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, quando o gás recebe trabalho (trabalho negativo), a energia interna do gás no pneu aumenta.

b) Se a energia interna do gás aumenta, a temperatura do pneu também aumenta.

c) Nesse caso, ainda considerando desprezíveis as trocas de calor com o meio externo (transformação adiabática), temos que o gás realiza trabalho (trabalho positivo), e, como consequência da primeira lei, a energia interna do gás diminui, reduzindo, assim, sua temperatura.

Roteiro (página 204)

3. a) Verdadeira. Se o sistema receber calor, o calor será positivo e, portanto, a variação de entropia também será positiva, aumentando a desordem do sistema.

b) Verdadeira. Do ponto de vista macroscópico, a entropia pode ser compreendida como algo que aumenta em um processo irreversível e se mantém constante em um processo reversível.

c) Verdadeira. Mesmo no caso de perda de calor, a entropia do sistema aumenta, pois o meio recebe o calor Q a uma temperatura menor, de maneira que o aumento de sua entropia é maior que a diminuição da entropia do material que cedeu energia.

Práticas de Ciências – Entropia (página 205)

1 e **2.** Atividade de organização e exposição dos dados obtidos. Avalie a participação e a articulação dos estudantes em grupo e observe como eles organizam a representação do experimento.

3. Espera-se que os estudantes respondam que os resultados foram espontâneos, já que os feijões se rearranjaram em uma configuração independentemente do controle de quem balançou a caixa.

4. Os resultados são probabilisticamente irreversíveis, pois os feijões não voltam espontaneamente à sua posição inicial, por mais vezes que se torne a movimentar a caixa. Mesmo no primeiro caso, quando a caixa é mexida vagarosamente, a reversibilidade é impossível. Mas, nessa primeira situação, se o movimento realizado com a caixa for muito lento, os feijões podem não sair do lugar, o que não configura mudança para que se caracterize a reversibilidade. A probabilidade de reversão seria maior no primeiro caso, porque se utilizou pouca energia para mover a caixa, de modo que o sistema se encontra mais próximo do estado inicial.

5. A maior quantidade de trabalho foi aplicada no segundo caso, já que se utilizou maior quantidade de energia mecânica para mover a caixa.
6. Considerando que a entropia indica o grau de desordem de um sistema, ao movimentar a caixa aumenta-se a medida de desordem do sistema caixa-feijões, ou seja, sua entropia. No caso, a desordem do sistema é medida pelo grau de mistura dos feijões.
7. Sim, pois quanto maior a aplicação de trabalho, mais rapidamente o sistema é mexido, e, assim, maior será a desordem, e, portanto, maior será a entropia do sistema. Portanto, a entropia é maior no segundo procedimento.

Roteiro (página 207)

4. b) Na caldeira, gera-se o vapor, que passa pela tubulação e, depois de passar pela válvula de entrada, preenche o cilindro, fazendo mover o pistão. Este, por estar acoplado à roda, faz que ela gire. Após a expansão do volume interno do cilindro, devido ao deslocamento do pistão, o vapor sai pela válvula de saída. O vapor é resfriado ao passar pelo condensador, liquefazendo-se e retornando à caldeira.

   c) O calor é convertido em energia interna na caldeira, no momento de aquecimento do líquido, até que atinja a temperatura de vaporização.

Ciência se discute – Combustíveis fósseis (página 210)

1. Segundo o texto, a busca por condições de vida mais confortáveis ou por modos de produção mais eficientes levou à utilização de fontes de diversos tipos de combustível, como o carvão natural, que foi amplamente utilizado durante a Revolução Industrial. Já no século XX, com o advento dos automóveis, o uso de combustíveis fósseis ganhou destaque.
2. Espera-se que os estudantes associem o uso do transporte coletivo à diminuição da queima de combustíveis fósseis, uma vez que os meios de transporte particulares (carros e motos) serão menos utilizados. Caso eles não citem o uso racional de energia elétrica como meio de diminuição de queima de combustíveis fósseis, lembre-os de que, ainda que a principal matriz energética do Brasil seja a hidrelétrica, em períodos de estiagens longas, há o acionamento de termoelétricas, que utilizam combustíveis fósseis, para evitar a falta de energia elétrica nas residências.

Atividades (página 213)

1. **b)** Observação: para os itens **b**, **c** e **d**, não há uma única resposta, pois o enunciado não fornece nenhuma informação a respeito da transformação além do fato de que há uma expansão de volume. Como não sabemos se a expansão é adiabática, isotérmica, isobárica ou de qualquer outro tipo, o problema fica indeterminado, uma vez que, quando há expansão do volume, os comportamentos da energia interna e, consequentemente da temperatura, podem ser completamente diferentes, dependendo do tipo de transformação que é sofrida pelo gás. Vamos, então, considerar que a transformação seja adiabática. Assim, nesse processo não houve troca de calor entre o meio e o sistema ($Q = 0$). Assim, temos:

   $\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = 0 - W \Rightarrow \Delta U = -W$

   Ou seja, a variação de energia interna converteu-se integralmente em trabalho realizado pelo gás.

   c) Como houve realização de trabalho pelo gás (expansão do volume), esse trabalho é positivo $W > 0$. Portanto, temos que $-W < 0$ e, assim, decorre diretamente da primeira lei da Termodinâmica que a variação da energia interna é menor que zero $\Delta U = -W < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$, ou seja, a energia interna diminuiu.

   d) Como a energia interna do gás diminuiu, houve diminuição da temperatura. Dessa forma, o grau de agitação das partículas também diminuiu.

   É claro que se a expansão for isotérmica, as variações da energia interna e da temperatura serão nulas, de maneira que, substituindo $\Delta U = 0$ na primeira lei da Termodinâmica, concluímos que o calor recebido pelo gás se transforma integralmente em trabalho.

   Agora, se a expansão for isobárica, temos $P_1 = P_2$ e $V_2 > V_1$. Como os volumes são quantidades positivas, dividindo ambos os lados dessa desigualdade por V_1, temos que: $\frac{V_2}{V_1} > 1$ (**I**)

   Como o número de mols se conserva em todo o processo, a lei dos gases gerais aplicada às situações 1 e 2 nos permite concluir a seguinte relação:

   $$n \cdot R = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (\textbf{II})$$

   Comparando (**II**) com (**I**), temos que:

   $$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} > 1 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} > 1$$

   Como as temperaturas, nessa desigualdade, são absolutas, elas são quantidades positivas. Logo: $T_2 > T_1$

   Com isso, na expansão isobárica, a temperatura final é maior que a inicial e, assim, a variação de energia interna é positiva, isto é, há um aumento da energia interna.

   Analisando a primeira lei da Termodinâmica, temos que:

   $\Delta U = Q - W \Rightarrow Q = \Delta U + W$

   Sabemos que ΔU e W são quantidades positivas, concluímos que parte do calor recebido pelo gás provocou a variação da sua energia interna, e a outra realizou trabalho.

2. **a)** A temperatura do gás no estado *A* pode ser calculada pela equação da lei geral dos gases:

   $p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 500 \cdot 830 = 1 \cdot 8{,}3 \cdot T \Rightarrow T = 50\,000$ K.

   b) O módulo do trabalho é numericamente igual à área do gráfico. $|W| = 1\,170 \cdot 2\,000 \Rightarrow |W| = 2\,340\,000$ J.

3. **a)** O módulo do trabalho é numericamente igual à área interna ao gráfico.

   $$|W| = \frac{9 \cdot 80}{2} \Rightarrow |W| = 360 \text{ J}$$

   b) Em um ciclo, a variação da energia interna é nula, pois o sistema volta ao mesmo estado inicial, isto é, apresenta igual temperatura, pressão, volume e energia interna. Dessa forma, pela primeira lei da Termodinâmica, a quantidade de calor total (Q) trocada com o meio é igual ao trabalho realizado ($Q = W$). Mas esse calor total Q é a diferença entre o calor recebido da fonte quente (Q_1) pelo calor perdido para a fonte fria (Q_2). Assim, pelo princípio de conservação de energia, se a máquina recebe $Q_1 = 600$ J de calor da fonte quente, e realiza um trabalho de 360 J, o restante desse calor absorvido representa a quantidade de calor perdida para a fonte fria. Portanto:

   $W = Q_1 - Q_2 \Rightarrow 360 = 600 - Q_2 \Rightarrow Q_2 = 240$ J.

   c) O rendimento pode ser calculado pela equação:

   $$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{360}{600} = 0{,}6$$

4. **a)** A quantidade de calor cedida é nula, pois a transformação é adiabática.

b) Como o gás sofre compressão, o trabalho é realizado sobre ele, de tal forma que esse trabalho recebe o sinal negativo. Aplicando os valores na equação da primeira lei da Termodinâmica:

$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = 0 - (-800) \Rightarrow \Delta U = 800$

$\Delta U = 800$ J

c) Durante a compressão adiabática ($Q = 0$), o volume do gás diminui (compressão) e a temperatura aumenta, pois, como o trabalho é negativo ($W < 0 \Rightarrow -W > 0$), da primeira lei da Termodinâmica, obtemos que a variação da energia interna é positiva ($\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = -W > 0$).

Vamos analisar o que ocorre com a pressão. Considere que o volume, a pressão e a temperatura das situações inicial e final são, respectivamente, P_i, V_i, T_i, P_f, V_f e T_f. Se as temperaturas são absolutas, então todas essas quantidades são positivas e, com isso, temos que:

$V_f < V_i \Rightarrow V_f \cdot T_i < V_i \cdot T_i$ (I)

$T_i < T_f \Rightarrow V_i \cdot T_i < V_i \cdot T_f$ (II)

Comparando (I) com (II), concluímos que:

$V_f \cdot T_i < V_i \cdot T_i < V_i \cdot T_f \Rightarrow V_f \cdot T_i < V_i \cdot T_f \Rightarrow \frac{V_i \cdot T_f}{V_f \cdot T_i} > 1$ (**III**)

Além disso, como o número de mols se conserva em todo o processo, a lei dos gases gerais aplicada às situações inicial e final nos permite concluir o seguinte resultado:

$n \cdot R = \frac{P_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{P_f \cdot V_f}{T_f} \Rightarrow \frac{P_f}{P_i} = \frac{V_i \cdot T_f}{V_f \cdot T_i}$ (**IV**)

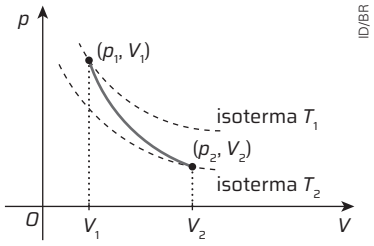
Comparando, agora, (**III**) com (**IV**), obtemos:

$\frac{P_f}{P_i} = \frac{V_i \cdot T_f}{V_f \cdot T_i} > 1 \Rightarrow \frac{P_f}{P_i} > 1 \Rightarrow P_f > P_i$

Portanto, a pressão final é maior que a pressão inicial, ou seja, a pressão aumenta durante o processo.

5. a) Do estado 1 para o estado 2 ocorre uma compressão adiabática. Nesse processo não há troca de calor, mas as temperaturas ao longo da curva adiabática variam.

b) Na expansão adiabática, o gráfico de pressão *versus* volume mostra uma curva chamada adiabática, com a pressão diminuindo à medida que o volume aumenta. Na compressão adiabática (transformação reversa da anterior), a pressão aumenta à medida que o volume diminui.



6. c) O princípio da irreversibilidade está relacionado ao fato de que um sistema não retorna espontaneamente a seu estado inicial. Isso ocorre devido à grande movimentação das partículas e seus possíveis estados de agregação. A organização das partículas nos diferentes estados de energia, se relaciona ao nível de ordem do sistema e, portanto, ao conceito de entropia. Assim, quanto maior o número de estados possíveis de serem acessados pelas partículas, maior a desordem ou entropia do sistema.

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 214 A 217)

Estudo de caso – Aquecimento global
(páginas 214 e 215)

- Essa seção promove as competências **CGEB7**, ao propor que argumentem com base em dados, para formular ideias e pontos de vista que respeitem e promovam o cuidado com o planeta; e **CGEB10**, ao levá-los a agir pessoal e coletivamente com autonomia e responsabilidade, tomando decisões com base em princípios sustentáveis, e as habilidades **EM13CNT101**, **EM13CNT301** e **EM13CNT309**, ao levar os estudantes a analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis. Além disso, trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação ambiental**.
- Caso ache oportuno, aproveite o momento para realizar uma atividade de análise de *fake news* relacionadas ao aquecimento global. Essa atividade pode ser realizada com o(a) professor(a) de Língua Portuguesa e explorar diversos aspectos relacionados a fragilidades dos argumentos da notícia, como informações não confiáveis, generalizações indevidas, incoerências internas, carências de dados, entre outras.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Estudo de caso – Aquecimento global
(páginas 214 e 215)

Assessor 1

- Questão 1: Espera-se que os estudantes apresentem dados e gráficos sobre a correlação entre o aumento da temperatura global da atmosfera e dos oceanos nos últimos dois séculos e a elevação da emissão de gases de efeito estufa, e que associem isso às ações humanas, como o aumento do uso de combustíveis fósseis, do desmatamento, das queimadas, das atividades agropecuárias, entre outras.
- Questão 2: A tendência é um aumento em frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como furacões, ciclones, tornados, etc., e também de períodos de calor e de frio muito rigorosos, assim como de alta e de baixa pluviosidades além do normal para cada localidade.
- Questão 3: Espera-se que os estudantes abordem o derretimento de geleiras, o aumento do nível dos oceanos, a acidificação dos oceanos, o aumento do número de incêndios florestais devido a secas, o aumento de desastres naturais (como desabamentos de encostas, inundações, secas, etc.), uma série de desequilíbrios nos ecossistemas marinhos e terrestres com a extinção de inúmeras espécies de seres vivos.

Assessor 2

- Questão 1: Espera-se que os estudantes apresentem dados referentes às inúmeras mudanças climáticas pelas quais a Terra passou na sua história geológica, incluindo glaciações e interglaciares, associando-os a causas naturais, como variações na atividade solar e na atividade vulcânica da Terra, impacto de meteoros, distribuição geográfica de continentes e oceanos, entre outros. Para tempos mais recentes, eles podem citar, por exemplo, o aquecimento que ocorreu na Idade Média (séculos XII e XIII) e o resfriamento entre os séculos XV e XIX chamado de Pequena Idade do Gelo. Segundo essa hipótese, a interferência humana no clima global é insignificante comparando com a variações naturais.

- Questão 2: Segundo essa hipótese, estamos vivendo um período interglacial que está terminando, e estaríamos mais próximos de uma nova era glacial do que de um aquecimento global. Então, a previsão é que haja um resfriamento global gradativo. Essa corrente, por vezes, nega o aquecimento global ou o atribui a mudanças climáticas naturais.
- Questão 3: Esse pensamento não é bem aceito no meio científico, uma vez que as mudanças climáticas estão ocorrendo em um intervalo de tempo extremamente pequeno.

Assessor 3

- Questão 1: Os estudantes podem discutir o aumento de mortes e acidentes por desastres naturais; o aumento de doenças, epidemias e pandemias; grandes migrações humanas; diminuição da oferta de alimentos (devido ao aumento de pragas e das alterações nos regimes de chuva e temperatura); aumento da fome; conflitos e violência (pelo controle de recursos); aprofundamento da desigualdade social.
- Questão 2: Alguns exemplos: promoção de estudos e tecnologias que viabilizem a adoção de novas fontes energéticas e novos processos de produção; implementação de agricultura sustentável em larga escala (agroecologia, por exemplo) combinada com restauração florestal e reflorestamento; mudança na dieta alimentar (menor consumo de carne, por exemplo) e redução do desperdício de alimentos; adoção de novos modelos socioeconômicos que incluem melhor distribuição de renda visando à igualdade social.

Assessor 4

- Questão 1: Aumento de gastos públicos e privados com a reparação de cidades, rodovias, moradias, etc. por causa de desastres naturais; aumento de gastos públicos na área da saúde para o tratamento de doenças; aumento do custo dos alimentos; prejuízos econômicos para os setores da agropecuária e da pesca; aumento da pobreza e da desigualdade econômica.
- Questão 2: Alguns exemplos:

  Taxação da emissão de gases de efeito estufa dentro do país.
  Taxação da emissão de gases de efeito estufa por país e distribuição dessa arrecadação para países mais vulneráveis: países mais ricos tendem a emitir maior quantidade de gases de efeito estufa, mas também têm mais condições de enfrentar os efeitos nocivos das mudanças climáticas.
  Taxação sobre grandes fortunas e adoção de novos modelos socioeconômicos que incluam melhor distribuição de renda visando à diminuição da desigualdade econômica.
  Aumento de investimentos econômicos em inovações sustentáveis em diversos setores.

Questões globais (páginas 216 e 217)

1. Alternativa **b**. A energia que a terra recebe por ano é:

$E = 1{,}6 \cdot 10^{22}\ J$

Para derreter 1 *kg* de gelo a 0 °C é preciso de $3{,}2 \cdot 10^5$ J

Como a relação entre o calor fornecido e a massa de gelo derretida é linear, podemos montar a seguinte regra de 3 e encontrar a massa *M* de gelo que será derretida:

1 kg —— $3{,}2 \cdot 10^5$ J

M —— $1{,}6 \cdot 10^{22}$ J

$3{,}2 \cdot 10^5 \cdot M = 1 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{22} \Rightarrow M = \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{22}}{3{,}2 \cdot 10^5} \Rightarrow$

$\Rightarrow M = 0{,}5 \cdot 10^{17} \Rightarrow M = 50 \cdot 10^{15}$ kg $\Rightarrow M = 50 \cdot 10^{12}$ t

A massa de gelo derretida é de 50 trilhões de toneladas.

2. Pela equação fundamental da calorimetria, sabendo que o calor específico da água é $c = 1{,}0$ cal/g °C, tem-se:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 500 \cdot 1 \cdot (36{,}7 - 15) \Rightarrow Q = 10850$ cal.

3. Alternativa **d**. Em ambos os casos, as ondas eletromagnéticas transportam o calor por radiação, aquecendo a superfície.

4. Alternativa **d**.

I. Correta. Em um ciclo termodinâmico, a variação da energia interna é nula, pois a temperatura final é igual à inicial.

II. Correta. Em um processo adiabático, não há troca de calor entre o sistema e o ambiente.

III. Incorreta. Em um processo isocórico, o volume permanece inalterado.

IV. Correta. Em uma expansão livre, o gás se expande sem realizar trabalho contra uma pressão externa e sem trocar calor com o ambiente, resultando em calor e trabalho nulos.

V. Incorreta. Em um processo isotérmico, a pressão varia inversamente com o volume.

5. Alternativa **e**. Para obter uma economia de energia sem afetar a capacidade de geração da usina, é preciso converter uma porcentagem maior do calor fornecido às caldeiras em energia elétrica. Assim: a alternativa **a** está errada porque se o combustível for reduzido, o calor fornecido para a produção de vapor também será reduzido, afetando a geração da usina. A alternativa **b** está errada, pois se o nível de água do lago for diminuído, a quantidade de água que chega à caldeira para ser aquecida também poderá diminuir, reduzindo a pressão de vapor e afetando a geração da usina. A alternativa **c** está errada porque se a bomba tem seu tamanho reduzido, sua potência também é reduzida e diminui a pressão do vapor o que afeta a geração da usina. A alternativa **d** está incorreta porque a condução eficiente de vapor faz diferença para o rendimento da usina quando esse vapor é dirigido à turbina, aumentando a sua velocidade de rotação, e não quando ele é conduzido e dispensado ao meio ambiente. A ação sugerida na alternativa **e** é a única que melhoraria o rendimento da usina, pois parte do calor que é dissipado seria reaproveitado ao mover outro gerador, que, por sua vez, produziria mais eletricidade e tendo uma economia.

6. Alternativa **a**.

a) Correta. Não existe uma máquina térmica que transforme 100% do calor em trabalho, havendo sempre uma perda para o meio externo. Essa é a condição postulada pela segunda lei da Termodinâmica.

b) Incorreta. As transformações presentes no ciclo de Carnot são: duas isotérmicas e duas adiabáticas.

c) Incorreta. No ciclo de Carnot, existem duas transformações reversíveis e duas irreversíveis.

d) Incorreta. Para o ciclo de Carnot com duas transformações reversíveis, há o rendimento máximo, ou seja, o rendimento não é nulo.

e) Incorreta. Para transferências de calor de meios mais frios para meios mais quentes, a máquina térmica deve consumir energia externa a seu ciclo. Essa é uma exigência garantida pela segunda lei da Termodinâmica.

7. Alternativa **d**.

I. Verdadeira. Na geladeira, boa parte do calor é conduzida por correntes de convecção. Assim, o ar frio, proveniente das partes superiores da geladeira, por ser mais denso, desce de modo a resfriar as partes inferiores. Por isso, é importante haver passagens para a circulação de ar.

II. Falsa. O gelo que é formado nas paredes do congelador

funciona como um material isolante, dificultando as trocas de calor com o ar aquecido pelos alimentos. Haja vista o sistema dos iglus, cujo interior das paredes de gelo mantém-se com temperatura superior à do ambiente externo, impedindo a perda de calor para o ambiente externo.

III. Verdadeira. O resfriamento gerado no interior da geladeira e do congelador é obtido devido à transmissão de calor para o meio externo. Se houver obstáculos que dificultem essa rejeição de calor, maior será a energia elétrica exigida pelo aparelho para atingir a temperatura programada.

8. Alternativa **a**. Primeira: compressão adiabática: AB; Segunda: aquecimento isovolumétrico: BC; Terceira: expansão adiabática: CD; Quarta: resfriamento isovolumétrico: DA

9. Alternativa **e**. O rendimento de uma máquina térmica de Carnot é dado por: $\eta = \frac{T_q - T_f}{T_q}$

Substituindo os valores, calcula-se a temperatura da fonte fria: $0{,}4 = \frac{500\text{ K} - T_f}{500\text{ K}} \Rightarrow 200\text{ K} = 500\text{ K} - T_f \Rightarrow$

$\Rightarrow T_f = 500\text{ K} - 200\text{ K} = 300\text{ K}$

O trabalho por ciclo é calculado a partir da potência: $P = \frac{\tau}{t}$

Dessa forma:

$$\frac{\tau}{\text{ciclo}} = 4{,}2\text{ kW} \cdot \frac{1\text{ s}}{10\text{ ciclos}} = 4\,200\,\frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot \frac{1\text{ s}}{10\text{ ciclos}} = 420\,\frac{\text{J}}{\text{ciclo}}$$

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é 1 cal g^{-1} °C^{-1}, e sua temperatura inicial era de 20 °C.

Quantidade por porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras totais	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

a) 25
b) 27
c) 45
d) 50
e) 70

Alternativa **c**. Essa questão trabalha o conceito de calor sensível. Utilizando os dados do enunciado, temos:

$Q = 2{,}5 \cdot \frac{70\,000}{10} = 17\,500$ cal

A energia aproveitada é 50% desse valor:

$Q' = 0{,}5 \cdot 17\,500 = 8\,750$ cal

Aplicando esse valor na equação do calor sensível, temos:

$Q' = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{Q'}{m \cdot c} = \frac{8\,750}{350 \cdot 1} = 25$ °C

Como a temperatura inicial era de 20 °C, a temperatura final é de: $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i \Rightarrow \theta_f = \Delta\theta + \theta_i = 25 + 20 \Rightarrow \theta_f = 45$ °C

2. (**Enem**) O objetivo de recipientes isolantes térmicos é minimizar as trocas de calor com o ambiente externo. Essa troca de calor é proporcional à condutividade térmica *k* e à área interna das faces do recipiente, bem como à diferença de temperatura entre o ambiente externo e o interior do recipiente, além de ser inversamente proporcional à espessura das faces.

A fim de avaliar a qualidade de dois recipientes *A* (40 cm × × 40 cm × 40 cm) e *B* (60 cm × 40 cm × 40 cm), de faces de mesma espessura, uma estudante compara suas condutividades térmicas k_A e k_B. Para isso suspende, dentro de cada recipiente, blocos idênticos de gelo a 0 °C, de modo que suas superfícies estejam em contato apenas com o ar. Após um intervalo de tempo, ela abre os recipientes enquanto ambos ainda contêm um pouco de gelo e verifica que a massa de gelo que se fundiu no recipiente *B* foi o dobro da que se fundiu no recipiente *A*.

A razão $\frac{k_A}{k_B}$ é mais próxima de

a) 0,50.
b) 0,67.
c) 0,75.
d) 1,33.
e) 2,00.

Alternativa **b**. Essa questão trabalha os conceitos de mudança de estado e transmissão de calor.

Inicialmente, calculamos as áreas internas dos recipientes *A* e *B*:

$A_A = 6 \cdot (40)^2 = 9\,600$ cm²

$A_B = 2 \cdot (60 \cdot 40 + 40 \cdot 40 + 60 \cdot 40) = 12\,800$ cm²

O enunciado fornece a equação do fluxo de calor:

$\phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{e}$ **(I)**

O fluxo de calor pode ser escrito como:

$\phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot L}{\Delta t}$ **(II)**

Igualando **I** e **II**, temos: $\frac{k \cdot A \cdot \Delta}{e} = \frac{m \cdot L}{\Delta t} \Rightarrow k = \frac{m \cdot L \cdot e}{A \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t}$

Como $m_B = 2 \cdot m_A$, podemos determinar a razão entre as grandezas dos recipientes *A* e *B*:

$$\frac{k_A}{k_B} = \frac{\frac{m_A \cdot \cancel{L} \cdot \cancel{e}}{A_A \cdot \cancel{\Delta\theta} \cdot \cancel{\Delta t}}}{\frac{m_B \cdot \cancel{L} \cdot \cancel{e}}{A_B \cdot \cancel{\Delta\theta} \cdot \cancel{\Delta t}}} = \frac{\frac{m}{9\,600}}{\frac{2m}{12\,800}} = 0{,}67$$

3. (**Uerj**) Em um laboratório, um corpo com massa de 30 g, inicialmente em sua temperatura de fusão, é aquecido durante 140 s por uma fonte térmica de potência constante igual a 15 cal/s. Com o aquecimento, o corpo passa completamente do estado sólido para o estado líquido, mantendo sua temperatura constante. Admitindo que toda a energia liberada pela fonte térmica seja integralmente absorvida pelo corpo, calcule, em cal/g, o seu calor latente de fusão.

Essa questão trabalha os conceitos de calor latente e mudanças de estado. Utilizando a expressão para potência, podemos encontrar a energia:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = P \cdot \Delta t$$

Substituindo essa relação na energia do calor latente, tem-se:

$$Q = L \cdot m \Rightarrow L = \frac{Q}{m} = \frac{P \cdot \Delta t}{m} = \frac{15 \cdot 140}{30} \Rightarrow L = 70\text{ cal/g}.$$

1 PORTAL DE CIÊNCIAS: TORNANDO O CONHECIMENTO CIENTÍFICO ACESSÍVEL À COMUNIDADE

INTRODUÇÃO

Por mais que as ciências tenham se desenvolvido nos últimos séculos, muitas pessoas ainda não as consideram algo confiável. Isso talvez se deva ao fato de que essas pessoas não entendem os termos utilizados em textos científicos e/ou veem como mera opinião as conclusões obtidas por estudos baseados em rigor metodológico e/ou, ainda, encaram a ciência como algo dissociado da realidade em que vivem.

Daí a importância deste projeto em facilitar a compreensão de situações que impactam a vida das pessoas e são alicerçadas em alguma explicação científica considerada de difícil entendimento por parte da população, além de disponibilizar informações científicas para além da comunidade escolar.

Os objetivos do projeto se articulam a este e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Neste projeto, são promovidas competências como a **CGEB2**, **CGEB4** e **CGEB5**, além das habilidades **EM13CNT302** e **EM13CNT303** de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Sugestão de planejamento

Este projeto foi pensado para ser realizado ao longo de um semestre, em oito aulas específicas organizadas para sua execução. Sugerimos separar três aulas para a etapa de preparação, três aulas para o desenvolvimento do projeto e duas aulas para a etapa de conclusão.

No entanto, no decorrer do desenvolvimento do projeto e das demais atividades previstas no semestre, você pode reorganizar a quantidade de aulas conforme as necessidades de cada turma. Essas adaptações podem ser necessárias para que a execução do projeto se encaixe na realidade de sua sala de aula. O projeto explora elementos do mundo digital, o qual se faz cada vez mais presente na vida dos estudantes. Por ser um elemento da cultura juvenil, os estudantes devem se sentir estimulados a realizá-lo. Considere as diferentes realidades dos estudantes e da escola neste planejamento.

Avalie a possibilidade de desenvolver o projeto em parceria com os professores de Língua Portuguesa e de Educação Digital. Há variados momentos em que essa abordagem interdisciplinar se mostra interessante, especialmente durante o Desenvolvimento, etapa em que os estudantes precisam pesquisar temas, elaborar e revisar textos para o portal (etapa 1) e desenvolver o portal, levando em conta sua estrutura, navegação, hospedagem e divulgação (etapa 2).

MAPA DO PROJETO

ETAPA	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
Preparação	• Realizar entrevistas para identificar temas científicos considerados de difícil compreensão por pessoas da comunidade em que os estudantes vivem.	CGEB2 CECNTEM3	EM13CNT303	Ciência e tecnologia
Desenvolvimento	• Elaborar estratégias para facilitar a compreensão de temas científicos e elaborar conteúdos que abordem esses temas.	CGEB2 CGEB4 CGEB5 CECNTEM3	EM13CNT302 EM13CNT303	
Conclusão	• Publicar conteúdos que abordem temas científicos em um portal de divulgação científica na internet.	CGEB4 CGEB5 CECNTEM3	EM13CNT302	

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

PREPARAÇÃO (PÁGINAS 218 E 219)

- Ajude os estudantes na seleção de fontes confiáveis para a pesquisa de matérias de divulgação científica. Se julgar pertinente, busque, em um jornal de grande circulação ou em um portal de notícias, alguma notícia relacionada a um fato científico. Se possível, verifique se essa mesma notícia foi publicada em alguma revista de divulgação científica (como a revista *Pesquisa Fapesp*, por exemplo). Localize também o artigo científico que serviu de fonte para ambas as matérias e disponibilize os textos (as notícias e o artigo científico) para os estudantes. A leitura deles servirá para mostrar que a linguagem de cada texto se adéqua ao respectivo público-alvo.
- Ao realizar as atividades da etapa *Analisando um texto*, os estudantes trabalham a competência específica **CECNTEM3** e a habilidade **EM13CNT303**, de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Use esse momento para avaliar o nível de domínio do vocabulário e de conceitos científicos dos estudantes.
- Os questionamentos presentes na etapa *Realizando uma pesquisa* buscam aproximar os estudantes do tema do projeto, ao verificar a percepção que eles têm acerca da ciência e da divulgação científica, auxiliando-os na preparação para as demais etapas.

- Na etapa *Planejando os próximos passos*, está prevista a elaboração de um cronograma, ferramenta importante para auxiliar na execução do produto (publicação do portal). Procure determinar datas-limite para a execução das etapas e deixe os estudantes livres para definir outros detalhes, como as datas de realização das atividades de cada etapa. Se necessário, ajude-os no detalhamento.
- A etapa inicial do projeto favorece o desenvolvimento da competência geral **CGEB2**, pois dá oportunidade aos estudantes de exercitar a curiosidade intelectual, investigar, refletir e analisar criticamente as informações, além de usar a imaginação e a criatividade para criar soluções para a divulgação do conhecimento científico.

DESENVOLVIMENTO (PÁGINAS 220 E 221)

- Além da competência geral **CGEB2**, as etapas de desenvolvimento e conclusão do projeto mobilizam os estudantes para a ação. Assim, são desenvolvidas as competências gerais **CGEB4**, ao incentivar os estudantes a utilizar diferentes linguagens, partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e a produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo, e **CGEB5**, levando-os a compreender e a utilizar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética para se comunicar, acessar e disseminar informações, exercendo, assim, protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.
- Nesta etapa, também serão trabalhadas a competência específica **CECNTEM3** e as habilidades **EM13CNT302** e **EM13CNT303** de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.
- Durante a seleção dos temas que serão abordados no portal, oriente os estudantes a ter um olhar crítico sobre os temas, e a levar sempre em consideração o público-alvo, pois determinado assunto que possa ser interessante para o grupo talvez não o seja para a audiência do portal.
- Durante a elaboração dos textos que vão compor o portal, caso note que os estudantes estejam com dificuldade para escrevê-los em uma linguagem apropriada ao público-alvo, oriente-os a procurar ajuda do(a) professor(a) de Língua Portuguesa. Reforce também a importância de haver validação por um especialista do tema em questão, antes de ser publicado.
- Para a hospedagem do portal na internet, os estudantes podem se orientar com o responsável pelo laboratório de informática da escola, caso houver. Algumas plataformas *on-line* oferecem a possibilidade de elaborar o *site* sem precisar publicá-lo imediatamente na internet. Nesse caso, a publicação pode ser feita após os estudantes considerarem o portal finalizado.
- Antes do lançamento do portal, incentive os estudantes a mostrar os textos produzidos a alguns dos entrevistados, para que avaliem se estão claros e compreensíveis. Assim, pode ser possível identificar trechos dos textos que necessitem de ajustes. Destaque também a importância de os estudantes ouvirem as opiniões e as observações como críticas construtivas para a melhoria do produto deste projeto.
- Uma alternativa é usar os textos produzidos como "embriões" para roteiros de produção de áudio ou de vídeo, caso oportuno e viável, de acordo com o cronograma estabelecido.
- Além da validação das informações, essa etapa representa uma oportunidade de aproximação dos estudantes com o meio científico. Contudo, avalie a pertinência de sua execução, de acordo com o andamento do projeto.

CONCLUSÃO (PÁGINA 221)

- Nesta etapa, serão trabalhadas a habilidade **EM13CNT302** com a divulgação e o lançamento do portal para um público variado, uma vez que esses eventos serão abertos à comunidade, além da habilidade **EM13CNT303** e das competências gerais **CGEB4** e **CGEB5**.
- Ressalte que essa etapa é o ponto alto do projeto, quando tudo o que foi planejado, produzido e testado será publicado no portal. Neste momento, eles vão apresentar à comunidade o produto desenvolvido, buscando divulgar conceitos e textos científicos a um público leigo, em linguagem acessível, contribuindo com informação de qualidade.
- Verifique previamente, com a direção da escola, a possibilidade de disponibilizar dispositivos com acesso à internet para que os participantes do evento acessem o portal. Caso isso seja possível, é importante testá-los antes do dia do evento, para verificar se estão funcionando e se o acesso ao portal e a navegação ocorrem sem problemas.
- Durante o evento, oriente os estudantes a mostrarem-se dispostos a debater, a discutir e a responder às dúvidas dos participantes a respeito dos temas do portal. Destaque a importância da comunicação empática e não agressiva.
- O pós-evento é um momento de análise sobre o que deu certo e o que pode ser melhorado. Procure criar um bom ambiente para a troca de opiniões, enfatizando não só a relevância do produto final para a comunidade, mas, também, a participação e o desempenho dos estudantes no evento.

FONTES COMPLEMENTARES

- Andrade, R. de O. Resistência à ciência. Revista *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 284, p. 17-21, out. 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/resistencia-a-ciencia/. Acesso em: 20 set. 2024.

  O texto discute a crise de confiança na ciência, destacando como notícias falsas impulsionam essa percepção na sociedade.

- D'ancona, M. *Pós-verdade*: a nova guerra contra os fatos em tempos de *fake news*. Barueri: Faro Editorial, 2018.

  A obra explora o conceito de pós-verdade, mostrando como os apelos à emoção e a crenças e ideologias têm mais influência em moldar a opinião pública que os fatos objetivos. Entre outros temas, aborda o negacionismo científico.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Preparação (páginas 218 e 219)

Analisando um texto

1. a **3.:** Respostas variáveis, de acordo com a pesquisa de notícias e temas pelos estudantes.

Realizando uma pesquisa

Respostas variáveis. Aproveite para avaliar a visão que os estudantes têm sobre a ciência e a divulgação científica. Oriente a apresentação de modo a reforçar a importância da ciência e o papel da divulgação científica na comunicação da produção científica e no combate às *fake news*.

5 LUZ, SOM E ONDAS

INTRODUÇÃO

Esta unidade compreende três capítulos. No capítulo 1, estudam-se os princípios da óptica geométrica e os fenômenos de reflexão e refração da luz. No capítulo 2, estuda-se a introdução à ondulatória e, no capítulo 3, o foco são os fenômenos ondulatórios que fornecem bases importantes para a compreensão de conceitos de acústica, ótica física, entre outros. A unidade estimula o estudante para o fazer científico ao propor um experimento para determinar a distância focal de uma lente e ao investigar a propagação de ondas na água. A curiosidade científica também é promovida no contexto da inclusão e da acessibilidade, na seção *Pensando Ciências*. Os objetivos da unidade se articulam a este e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas competências como a **CGEB2** (exercitar a curiosidade intelectual, recorrer à abordagem própria das ciências), **CGEB4** (utilizar a linguagem científica para se expressar e partilhar informações, experiências e ideias), **CGEB7** (argumentar com base em dados, fatos e informações confiáveis) e **CGEB10** (agir com responsabilidade para tomar decisões com base em princípios sustentáveis) e habilidades como **EM13CNT207**, **EM13CNT301** e **EM13CNT307**.

Sugestão de planejamento

A seção *Ciência tem história* (p. 255) oferece oportunidade de desenvolvimento interdisciplinar com a área de Linguagens e suas tecnologias ao explorar o tema do rádio no mundo. Também é o caso da seção *Física e Biologia* (p. 244 e 245), que aborda a audição humana e questões ligadas a música e surdez. Avalie realizar uma abordagem dessas seções em parceria com com os professores destas áreas.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Compreender os princípios de propagação da luz. • Interpretar e aplicar as leis da reflexão em diferentes situações. • Caracterizar os espelhos planos, os espelhos esféricos e as imagens formadas por eles. • Compreender e aplicar as leis da refração da luz. • Realizar experimento para determinar a distância focal de uma lente.	CGEB1 CGEB2 CGEB6 CGEB7 CGEB9 CECNTEM3	EM13CNT301 EM13CNT307	
2	• Relacionar os conceitos de pulso e onda. • Caracterizar ondas em termos de forma e natureza. • Compreender as propriedades de uma onda. • Relacionar as diferentes características das ondas. • Interpretar os fenômenos característicos das ondas. • Investigar a propagação de ondas na água.	CGEB2 CGEB7 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT207 EM13CNT301	Educação em direitos humanos
3	• Compreender os fenômenos ondulatórios de refração e reflexão, difração e interferência. • Relacionar fenômenos ondulatórios a aplicações cotidianas. • Entender o efeito Doppler e o conceito de ressonância.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CECNTEM3	EM13CNT301 EM13CNT310	
Fechamento da unidade	• Refletir sobre formas de proporcionar ambientes inclusivos e acessíveis no espaço escolar.	CGEB9 CGEB10 CECNTEM3	EM13CNT310	Educação em direitos humanos

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 222 E 223)

- Ao iniciar a unidade, sugerimos usar as questões propostas na abertura para motivar os estudantes com relação ao tema e identificar os conhecimentos prévios da turma.

CAPÍTULO 1 ÓPTICA (PÁGINA 224)

Reflexão da luz (página 224)

- Comente que a reflexão da luz é um fenômeno essencial para que enxerguemos os objetos à nossa volta. Com foco na

competência geral **CGEB1**, aborde aspectos históricos associados ao conceito de reflexão, para que os estudantes percebam a evolução do pensamento científico ao longo do tempo.

Modelos para a luz (página 225)

- Nesse momento do estudo, promovendo a competência específica **CECNTEM3**, apresente aos estudantes a coexistência de dois modelos diferentes para um mesmo conceito: o da luz como onda e como partícula. Esse comportamento dual é um conceito fundamental na Física Quântica para a compreensão da matéria em nível microscópico.
- Na óptica geométrica, a luz é representada por "traçados de raios". É importante que esses traçados não sejam entendidos como algo real, mas como uma simplificação para explicar a propagação da luz e a consequente formação de imagens.
- O modelo de raios de luz também é usado para compreender os sistemas tecnológicos presentes no cotidiano, como aparelhos que permitem ver, ampliar ou melhorar a visão. Ao interpretar modelos para o entendimento de situações-problema sob a perspectiva científica, os estudantes desenvolvem a habilidade **EM13CNT301**.

Fontes de luz (página 225)

- Sugerimos a você que, antes de explicar os tipos de fontes de luz, peça aos estudantes exemplos de fontes de luz e, usando as respostas deles, separe no quadro aquelas que são fontes primárias das fontes secundárias.

Tipos de reflexão da luz (página 226)

- Os estudantes associam a reflexão a espelhos e outras superfícies regulares refletoras, mas raramente com a difusão da luz em superfícies irregulares, parcialmente responsável pela possibilidade da visão. Enfatize que a visão humana envolve sempre uma fonte luminosa ou uma fonte secundária, que reflete em diferentes direções a luz que recebe.
- As leis da reflexão são preparatórias para o estudo da construção de imagens em espelhos planos e esféricos. Deixe claro aos estudantes que essas leis são sempre válidas para qualquer reflexão da luz, em superfícies de diferentes formas, tamanhos, cores e materiais.

Espelhos (páginas 227 a 229)

- O processo de construção de imagens em espelhos planos costuma gerar dificuldade pelo fato de haver imagens virtuais. Discuta qualitativamente como a imagem é formada e como o cérebro, por meio da visão, decodifica as imagens.
- Quanto aos espelhos esféricos, incentive os estudantes a listar seus diferentes usos. Leve-os a reconhecer não apenas a diversidade de tipos de espelho (e sistemas que usam espelhos) e suas aplicações, mas também as características das imagens que formam: reais ou virtuais, direitas ou invertidas, maiores ou menores, nítidas ou distorcidas, únicas ou múltiplas, etc.

As cores dos objetos (página 230)

- O estudo das cores talvez seja um dos temas que mais atraem os estudantes e pode ter aplicações diversas. Em parceria com o(a) professor(a) de Arte, proponha uma reflexão sobre como a cor está presente em nosso cotidiano. Utilizamos a cor diariamente para escolher alimentos, vestuário, decoração, entre muitos outros exemplos.
- A "teoria das cores" é o estudo sobre como as cores são interpretadas pelo cérebro até sua aplicação e utilização em peças de comunicação visual. Em tese, a escolha da cor de um produto ou de um anúncio pode influenciar a decisão de compra pelo consumidor. Esse aspecto é pertinente, pois permite trabalhar as competências gerais **CEGB6** (apropriar-se de conhecimentos que possibilitem entender o mundo do trabalho e fazer escolhas com consciência crítica) e **CGEB7** (argumentar respeitando a consciência socioambiental e o consumo responsável).
- O objeto digital *Tecnologia assistiva* apresenta imagens de tecnologias desenvolvidas em prol de uma sociedade inclusiva para pessoas cegas ou com baixa visão. Avalie solicitar aos estudantes que pesquisem outras tecnologias assistivas e promova uma análise conjunta com eles, desenvolvendo a competência **CGEB9**.

Refração da luz (páginas 231 e 232)

- Para trabalhar o tópico "Refração da luz", retome a discussão inicial feita no tópico "Reflexão da luz" (p. 224), mostrando que, ao incidir sobre um objeto, a luz pode ter comportamentos diferentes. Dependendo da superfície, uma parte da luz incidente pode atravessá-la, fenômeno que caracteriza a refração; há casos em que ocorre um desvio em sua direção de propagação após essa travessia. Lembre os estudantes de que também pode acontecer a absorção e de que as cores dos objetos estão associadas à absorção e à reflexão da luz.
- Destaque que a refração sempre vem acompanhada da reflexão. Isso significa que, ao incidir sobre uma superfície que separa dois meios, uma parcela da luz sempre é refletida. A refração ocorre quando as ondas atravessam a superfície de separação entre dois meios ópticos com densidades diferentes, o que acarreta mudança em sua velocidade. O fenômeno é caracterizado por uma grandeza adimensional chamada índice de refração, que passa a ser como a identidade óptica desse meio. Outra variável relevante nesse processo é o ângulo de incidência da luz.

SUGESTÃO DE AULA

- O estudo da refração permite que os estudantes interpretem fenômenos diversos, como miragens e arco-íris, e como funcionam as lentes corretoras de distúrbios da visão, entre outras tecnologias que fazem uso de lentes. Por isso, sugerimos planejar uma aula com o(a) professor(a) de Biologia para trabalhar o tema da visão e das lentes corretivas.
- No desenvolvimento da aula, podem-se discutir o funcionamento da visão humana e problemas relacionados, como miopia, astigmatismo e hipermetropia, e, na sequência, os tipos de lente utilizados para corrigir cada um deles.
- Para finalizar a aula, sugerimos destacar de que modo a compreensão do conhecimento sobre a propagação da luz permite o desenvolvimento de tecnologias para melhorar a qualidade de vida do ser humano.

Práticas de Ciências – Determinação da distância focal de uma lente (página 233)

- Oriente os estudantes na pesquisa sobre lentes convergentes e divergentes. No *site* do Instituto de Física da USP, é possível consultar a publicação *Leituras de Física*: óptica para ver, fazer e pensar, do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref). O tópico 21 dessa publicação apresenta textos e atividades sobre os problemas devisão. Disponível em: https://fep.if.usp.br/profis/arquivo/gref/blocos/optica3.pdf. Acesso em: 25 out. 2024.
- Esta seção mobiliza a competência geral **CGEB2**.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Aplicações de espelhos

Oriente os estudantes a pensarem nas diversas aplicações de espelhos e a criarem métodos para as seguintes situações, sem necessariamente realizá-las na prática:

a) clarear um ambiente;

b) criar uma ilusão de óptica;

c) produzir a imagem não invertida de um texto;

d) produzir a imagem de uma pessoa em vários ângulos: de frente, de perfil, de costas e vista de cima;

e) criar uma frase que, lida por um espelho plano, tenha significado;

f) multiplicar muitas vezes um objeto.

FONTE COMPLEMENTAR

- Silveira, F. L. da; Medeiros, A. A ilusão sobre o tamanho da Lua no horizonte. *Física na Escola*, São Paulo, v. 7, n. 2, 2006. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a12.pdf. Acesso em: 16 set. 2024.

  A explicação para a ilusão sobre o tamanho da Lua no horizonte nada tem a ver com a refração da luz na atmosfera e é um problema ainda não completamente esclarecido pela psicologia da percepção. Descreve-se, nesse texto, uma parte relevante da história e da tentativa de desvendar esse mistério.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Os conteúdos propostos utilizam uma linguagem própria das Ciências da Natureza. Dessa forma, mobilizam as competências e as habilidades que envolvem a interpretação desse tipo de linguagem, de maneira que os estudantes sejam capazes de apreender os conceitos e de elaborar respostas coerentes e condizentes, com ética e responsabilidade. São a competência geral **CGEB1**, a específica **CECNTEM3** e as habilidades correspondentes **EM13CNT301** e **EM13CNT307**. Avalie se essas competências e habilidades foram, de fato, desenvolvidas durante a aplicação das atividades propostas no capítulo.

TEXTO COMPLEMENTAR

Como funciona o olho humano

Quando olhamos na direção de algum objeto, a imagem atravessa a córnea e chega à íris, que regula a quantidade de luz recebida por meio de uma abertura chamada pupila. Quanto maior a pupila, mais luz entra no olho. Passada a pupila, a imagem chega ao cristalino, e é focada sobre a retina. A lente do olho produz uma imagem invertida, e o cérebro a converte para a posição correta. Na retina, mais de cem milhões de células fotorreceptoras transformam as ondas luminosas em impulsos eletroquímicos, que são decodificados pelo cérebro.

[...]

Como funciona o olho humano. Sociedade Brasileira de Córnea e Banco de Tecidos – SBC, 22 maio 2022. Disponível em: https://www.sbc.med.br/saude-ocular/como-funciona-o-olho-humano/. Acesso em: 19 set. 2024.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Práticas de Ciências – Determinação da distância focal de uma lente (página 233)

1. Resposta pessoal. Os estudantes podem citar dificuldades no posicionamento dos equipamentos para obter imagens nítidas. Isso será feito por tentativa e erro, aproximando e afastando a lente indicada, e com o grupo chegando a um consenso sobre a imagem mais nítida após todas as tentativas. Outra dificuldade encontrada é a precisão das medidas de distância, principalmente se for utilizada uma fita métrica, que, por ser flexível, pode dificultar um pouco essas medidas.

5. Resposta pessoal. Pode-se pedir aos estudantes que opinem sobre as influências dessa consideração (ignorar a espessura das lentes) nos resultados das medidas efetuadas. Em seguida, devem fazer a pesquisa sugerida. A literatura traz várias abordagens para esse cálculo. Este artigo indicado a seguir discute algumas delas: Soga, D.; Paiva Jr., R. D.; Muramatsu, M. Comprimento focal de lentes esféricas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/Q5ZNXhR58yYvKdbWqnCZF5P/#. Acesso em: 16 set. 2024.

6. Resposta pessoal. Auxilie os estudantes a encontrar fontes confiáveis de pesquisa. Após a apresentação dos cartazes, debata com a turma sobre as limitações e dificuldades que podem ser encontradas ao aplicar cada método mostrado.

Atividades (página 234)

4. a) Seguindo a direção do raio refletido, vemos que o espelho é convexo.

5. a) Se a luz monocromática azul incidir sobre os objetos, o de cor azul permanecerá azul, o vermelho ficará preto e o branco será visto em azul. Se os objetos forem iluminados pela luz monocromática vermelha, teremos o objeto azul visto na cor preta e os outros dois em vermelho. Se trocarmos a luz vermelha pela amarela, o objeto branco será visto na cor amarela e os outros dois em preto.

b) As mudanças ocorrem porque as cores que vemos nos objetos são as cores que eles refletem. Ao serem iluminados com uma luz monocromática, somente serão vistos da mesma cor da luz os objetos de mesma cor ou brancos, pois o branco reflete todas as cores. Quando se ilumina um objeto com uma luz monocromática de cor diferente da cor do objeto, essa luz é absorvida e se vê o objeto na cor preta.

6. Para obter a cor amarela, o técnico deve misturar luzes das cores verde e vermelha; para obter a cor branca, ele deve misturar as três luzes. Assim, usando apenas holofotes das cores primárias, ele pode obter as cores verde, amarela, azul e branca presentes na bandeira brasileira.

7. a) Verdadeira.

b) Falsa. Um índice de refração maior significa que a luz se propaga mais lentamente nesse meio.

c) Verdadeira.

d) Falsa. A mudança dos ângulos de incidência e refração depende dos senos dos ângulos e não somente dos valores dos ângulos.

e) Falsa. As imagens são formadas nos espelhos pela reflexão.

8. Dados: $n_{ar} = 1{,}0$; $u_{ar} = 45°$; $n_{acrílico} = 1{,}4$

b) O ângulo de refração pode ser calculado pela lei de Snell-Descartes: $n_1 \cdot \text{sen}\ \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\ \theta_2$

Substituindo os dados, temos:

$1{,}0 \cdot \text{sen } 45° = 1{,}4 \cdot \text{sen } \theta_2$

$1{,}0 \cdot 0{,}7 = 1{,}4 \cdot \text{sen } \theta_2 \Rightarrow \frac{0{,}7}{1{,}4} = \text{sen } \theta_2 \Rightarrow 0{,}5 = \text{sen } \theta_2$

Logo: $\theta_2 = 30°$

CAPÍTULO 2 INTRODUÇÃO ÀS ONDAS (PÁGINA 235)

Pulso e onda (páginas 235 e 236)

- Toda a ênfase aqui deve ser dada à compreensão do conceito de onda. Como se trata de um conceito pouco trivial, a noção de que a propagação de uma onda é propagação de energia sem transporte de matéria e, portanto, de que não se trata do movimento de um "ponto material", pode gerar equívocos. Nesse sentido, para evitar confusões, a expressão "movimento ondulatório" deve ser evitada.

Classificação e características das ondas (páginas 236 a 239)

- É interessante destacar aqui como o uso da palavra "onda" no dia a dia pode estar relacionado, ou não, ao seu significado físico. Para dar continuidade à caracterização ou conceituação de uma onda, com base nos exemplos levantados, é possível classificá-las segundo critérios diferentes, particularmente quanto à sua natureza e forma. Aproveite a pergunta do boxe *Roteiro* (p. 237) para avaliar se os estudantes entenderam a definição de onda.
- No que se refere à natureza, peça aos estudantes que identifiquem, entre os exemplos listados, quais ondas se propagam apenas em meios materiais (ondas mecânicas) e quais podem se propagar no "vácuo" (ondas eletromagnéticas). Destaque o exemplo do trovão e do relâmpago (luz e som), mostrando-lhes que ambos são fenômenos ondulatórios, mas de naturezas distintas. Outros tipos de onda são comentados no boxe *Ciência se discute* (p. 238), mobilizando a competência geral **CGEB7** e reforçando a importância dos fatos e dados na ciência.
- As propriedades das ondas (algumas comuns aos movimentos oscilatórios) serão retomadas no estudo do som e da luz, com destaque para os conceitos de frequência e comprimento de onda. O conceito de comprimento de onda é novo aos estudantes e também sujeito a equívocos; por isso, é importante evidenciar que se trata de uma grandeza que não corresponde propriamente ao comprimento da corda.
- Ao caracterizar a velocidade de uma onda, chame a atenção dos estudantes para os seguintes aspectos: depende do meio (é constante em um meio isotrópico); refere-se à velocidade de propagação das perturbações no meio (e não ao movimento dos pontos do meio); é uma grandeza escalar (diferentemente da velocidade de uma partícula ou objeto).

Práticas de Ciências – Fazendo onda (página 240)

- A atividade experimental proposta trabalha a competência geral **CGEB2**, ao motivar os estudantes a utilizar a abordagem própria das ciências para elaborar e testar hipóteses, e a habilidade **EM13CNT301**, ao proporcionar medições e interpretações de resultados experimentais.
- Durante o experimento, a cortiça oscilará na mesma frequência da onda se as ondas refletidas na parede do recipiente estiverem em fase com as ondas incidentes; caso não estejam, dependendo de onde estiver o pedaço de cortiça, este poderá vibrar em uma frequência diferente da frequência da fonte.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Terremotos: eventos raros no Brasil (página 241)

- O tema desta seção pode ser explorado em parceria com o(a) professor(a) do componente curricular de Geografia. Além das características físicas dos terremotos, a seção aborda a explicação geográfica do motivo de esse fenômeno não ser tão presente no Brasil. Este tema também é importante para preparar os estudantes diante de eventuais *fake news* que possam surgir sobre incidências de terremotos no Brasil, dando-lhes fundamentos para questionarem e argumentarem com conhecimento científico. Essa abordagem permite o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301**.

Ondas sonoras (página 242)

- Enfatize que a classificação das ondas sonoras em infrassom e ultrassom tem como referência a audição humana. Para ilustrar melhor essa classificação, solicite aos estudantes que façam uma pesquisa na internet sobre os espectros auditivos de diversos animais, organizando os dados em uma lista e comparando-os com o espectro audível do ser humano.

Qualidades fisiológicas do som (página 243)

- Altura e intensidade são qualidades fisiológicas de ondas sonoras, ou seja, propriedades ou características dos sons identificadas pelo ser humano. Uma vez que, no senso comum ou na linguagem cotidiana, esses conceitos são confundidos, é importante defini-los e distingui-los. Deve-se destacar o estudo da intensidade sonora por ela constituir uma grandeza importante na identificação de efeitos danosos associados à poluição sonora.
- O nível de intensidade da sensação sonora faz uso de uma escala logarítmica e tem como referência de limiar um valor baseado em estatística populacional. Trabalhe conceitualmente a ideia da necessidade da escala logarítmica de decibéis, explorando a tabela de níveis de intensidade sonora de situações cotidianas. Ressalte que há outras grandezas conhecidas que fazem uso de escalas desse tipo, como a escala Richter, que classifica a intensidade de terremotos, e a escala que mede o pH de substâncias.
- Avalie a possibilidade de trabalhar o efeito Doppler-Fizeau. Valorize os aspectos conceituais e qualitativos e motive os estudantes a darem mais exemplos de situações explicadas por esse efeito. Explore também o fenômeno da quebra da barreira do som por um avião. A equação geral desse efeito é introduzida para aprofundar o conhecimento, mas não é fundamental para sua compreensão neste momento.

Física e Biologia – Música e surdez (páginas 244 e 245)

- Sugerimos trabalhar a seção com o(a) professor(a) de Biologia, explorando o funcionamento da audição e de outros sentidos, como o tato e a visão. Pode-se aproveitar para conversar sobre tipos de surdez, suas causas e a importância da inclusão. Para auxiliar nessas discussões, sugerimos a

leitura do texto "Os 8 tipos de surdez", de Almir Cristiano, disponível em: https://www.libras.com.br/os-8-tipos-de-surdez. Acesso em: 17 set. 2024. A seção trabalha a habilidade **EM13CNT207** e o tema contemporâneo transversal **Educação em direitos humanos**, da área Cidadania a civismo, ao propor ações de promoção do bem-estar para a comunidade de pessoas surdas.

- O objeto digital *Música para surdos* apresenta um vídeo que complementa as informações presentes na seção. Sugerimos que ele seja acessado de forma conjunta à abordagem da seção. Contudo, avalie a melhor oportunidade de explorá-lo.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Voz humana

Oriente os estudantes a pesquisarem a voz humana: como funciona; quais são os fenômenos envolvidos na fala; quais são as notas emitidas. Depois, que elaborem perguntas sobre as informações obtidas na pesquisa para serem encaminhadas a um especialista (um fonoaudiólogo, por exemplo).

FONTE COMPLEMENTAR

- Dantas, J. D.; Cruz, S. da S. Um olhar físico sobre a teoria musical. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 41, n. 1, jul. 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172019000100401. Acesso em: 17 set. 2024.

  O artigo apresenta os conceitos físicos implicados na produção e combinação de sons musicais, bem como as relações entre as formas de representar os fenômenos sonoros musicais.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Você pode utilizar a atividade sugerida em *Atividade complementar* para avaliar não apenas a aprendizagem dos estudantes, mas para verificar se eles desenvolveram-na de maneira respeitosa para com os colegas e se cada um se apropriou do conteúdo trabalhado para elaborar as perguntas e realizar a pesquisa.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Terremotos: eventos raros no Brasil (página 241)

4. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes pesquisem e comentem as orientações e os procedimentos básicos de como se preparar para lidar com um evento sísmico e o que fazer durante sua ocorrência.

Física e Biologia – Música e surdez (página 245)

1. O ser humano pode usar o tato para sentir altura do som, por exemplo, com a mão próxima a um alto-falante e notar a variação na vibração, na frequência de oscilação do aparelho. Da mesma forma, pode ser percebida a intensidade sonora pela variação da intensidade das vibrações no equipamento ou em objetos próximos. A visão também pode ser utilizada para a interpretação do som pela linguagem em libras ou por recursos eletrônicos que interpretam a intensidade e a altura do som em cores e movimentos de luz.

3. As ondas sonoras podem se propagar em todos os meios, menos no vácuo, onde não existe matéria. Quando as ondas sonoras entram no sistema auditivo pelas orelhas externa e média, as ondas sonoras são amplificadas e transmitidas para a orelha interna pela cóclea. As células ciliadas presentes na cóclea convertem as ondas sonoras em sinais elétricos, que são processados e interpretados pelo cérebro.

Atividades (página 246)

1. c) Com a frequência e a velocidade, temos: $v = \lambda \cdot f \Rightarrow$
$\Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 90 \cdot 10^6 \Rightarrow \lambda = 3{,}33$ m

2. a) O comprimento de onda na região mais funda da piscina pode ser obtido a partir da equação da velocidade de onda: $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 40 = \lambda \cdot 4 \Rightarrow \lambda = 10$ m

b) $v = \lambda \cdot f \Rightarrow 20 = \lambda \cdot 4 \Rightarrow \lambda = 5$ m

3. b) Resposta variável. Os estudantes podem realizar essa atividade registrando os dados sugeridos no item anterior e, depois, compartilhá-los com os colegas para comparar os resultados.

CAPÍTULO 3 FENÔMENOS ONDULATÓRIOS (PÁGINA 247)

Estudo dos fenômenos ondulatórios (página 247)

- Neste momento, em que são retomados os fenômenos ondulatórios de reflexão e de refração, e introduzidos outros fenômenos importantes como a difração, a polarização, a ressonância e a interferência, bem como os conceitos de ondas estacionárias e o efeito Doppler, as formalizações são menos importantes que a compreensão qualitativa deles. Assim, é interessante reconhecer com os estudantes exemplos diversos desses fenômenos em situações reais.

Compreendendo os fenômenos ondulatórios (páginas 248 e 249)

- O estudo dos fenômenos ondulatórios pode ser explorado com exemplos de ondas mecânicas que são visuais, como ondas na corda e ondas na água. Porém, é importante ressaltar que esses fenômenos também ocorrem com ondas eletromagnéticas, como a luz, por isso, muitos desses fenômenos são estudados na Óptica.
- Na difração, um exemplo interessante que pode ser trabalhado é o de uma pessoa conversando com outra através de um muro e verificar como o som e a luz se propagam nessa situação. Isso pode ser feito após o trabalho com a atividade proposta no boxe *Roteiro* (p. 249), em que se pedem exemplos de espalhamento do som.

Polarização da luz (página 250)

- No tópico "Polarização da luz", sugerimos trabalhar os exemplos com óculos de sol, telas LCD e óculos 3-D usados em cinemas, para mostrar a importância prática desse fenômeno e, assim, motivar os estudantes.

Ressonância (páginas 251 e 252)

- Na ressonância, o exemplo clássico de uma pessoa em um balanço ajuda na compreensão desse fenômeno. Mas,

além desse exemplo, podem ser comentados outros exemplos que reforçam o perigo da falta de conhecimento sobre esse fenômeno que é capaz de amplificar uma oscilação. Por exemplo, a quebra de uma taça pelo som e fissuras ou rachaduras em construções, como pontes e edifícios, devido a vibrações externas causadas pelo tráfego ou por eventos sísmicos.

- O boxe *Ação e cidadania* (p. 252) explora como ocorre a interferência de ondas na comunicação. As perguntas propostas ajudam a trabalhar a habilidade **EM13CNT310**.

Onda estacionária (página 253)

- Explique aos estudantes que as ondas estacionárias são resultantes da superposição de ondas que se propagam em direções opostas, formando ventres e nós. Em seguida, mostre-lhes a relação das ondas estacionárias com as ondas acústicas dos instrumentos musicais, assim como com a afinação. Nesse tema, pode-se perguntar se alguns deles estudam música e, em caso positivo, pedir que relatem à turma a aplicação desses conceitos no estudo da música.

Efeito Doppler (página 254)

- Para explicar o efeito Doppler, use o exemplo do som emitido por uma ambulância em movimento e depois amplie a abordagem mostrando que esse fenômeno ocorre em todas as ondas, incluindo as ondas eletromagnéticas. Uma sugestão é solicitar aos estudantes que leiam o texto do boxe *Ciência se discute* para comentar sobre as ondas luz *redshift* e *blueshift* usadas na Astronomia para determinar a velocidade e a direção do movimento de estrelas e galáxias.

Ciência tem história – O rádio no mundo (página 255)

- Esta seção conta a história do rádio mostrando a importância do conhecimento sobre o fenômeno ondulatório no desenvolvimento das comunicações. As atividades propostas trabalham a inferência textual, a competência geral **CGEB1** e a habilidade **EM13CNT310**.

Práticas de Ciências – Como determinar a velocidade da luz usando uma barra de chocolate (página 256)

- Esta seção é importante para demonstrar conceitos teóricos mediante a aplicação de atividade prática, contribuindo para o desenvolvimento das competências gerais **CGEB2** e **CGEB4** e da habilidade **EM13CNT301**.
- Nesta atividade, pode-se trocar o chocolate por manteiga ou por outro alimento. Lembrando que esse alimento pode ser consumido depois de realizada a atividade. É importante alertar a turma sobre os cuidados necessários ao retirar o recipiente do micro-ondas, pois deve estar muito quente, a fim de evitar acidentes.
- Ao se utilizar ou abordar o uso de micro-ondas na sala de aula é sempre bom desmentir *fake news* que circulam sobre esse equipamento. Aproveite, então, para esclarecer e reforçar que as ondas eletromagnéticas que incidem nos alimentos não alteram o alimento de modo a que cause câncer ou qualquer outro tipo de doença.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Tsunami

Oriente os estudantes a realizarem uma pesquisa sobre *tsunami*. Peça que sistematizem as informações encontradas para então responder ao que se pede a seguir.

a) O que é um *tsunami*?
b) Qual é a origem desse nome?
c) Qual a diferença entre um *tsunami* e as ondas marítimas que se formam normalmente na superfície do mar?
d) Quais são as características de período, frequência, comprimento de onda, amplitude e velocidade de um *tsunami*?
e) Por que essas ondas causam efeitos drásticos?
f) Cite alguns eventos de *tsunami* ocorridos no mundo: quando, onde, com quais características e consequências.
g) Esse fenômeno já ocorreu no Brasil?
h) Existe alguma relação entre a ocorrência de um *tsunami*, a região geográfica do planeta onde ocorre com mais frequência e o clima dessa região?
i) Explique como é possível prevenir e minimizar os efeitos dessas ondas.

FONTE COMPLEMENTAR

- Silva, A. C. da; Santos, C. A. dos. Lâminas em alto-relevo para ensinar fenômenos ondulatórios a deficientes visuais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 40, n. 4, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/DNTGtPMqJms4dgdWmWzp9yd/?lang=pt#. Acesso em: 19 set. 2024.

  O artigo apresenta o teste de um produto educacional para promover e facilitar a aprendizagem de fenômenos ondulatórios por pessoas com deficiência visual.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- As atividades propostas nos boxes *Roteiro* e na seção *Práticas de ciências* podem ser utilizadas para avaliar a aprendizagem dos estudantes, assim como as questões sugeridas na seção *Atividades*.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 249)

1. Resposta pessoal. Espera-se que os estudantes comentem situações em que há o afastamento da fonte emissora do som ou algum obstáculo, como uma parede, por exemplo.

Ação e cidadania – Radiocomunicação e interferência de ondas eletromagnéticas (página 252)

2. São rádios emissoras, em geral, sem fins lucrativos, que têm como objetivo servir e representar a comunidade local.

Práticas de Ciências – Como determinar a velocidade da luz usando uma barra de chocolate (página 256)

1. Como ondas eletromagnéticas são emitidas pela antena do forno micro-ondas (magnetron) e elas são refletidas internamente, essas ondas interferem umas nas outras formando um padrão de onda estacionária.

2. Como a região derretida indica uma maior concentração de energia térmica, pode-se concluir que nessa região forma-se um ventre de onda estacionária, dado que ventres são pontos do meio aos quais se associa maior quantidade de energia. De maneira oposta, pode-se dizer que nas regiões frias formaram-se nós de onda estacionária, dado que a quantidade de energia associada a esses pontos é mínima.
3. Respostas variáveis. O valor dependerá do resultado obtido pela medição entre os pontos de derretimento da barra de chocolate. Se julgar adequado, relembre aos estudantes que a distância medida entre duas regiões de chocolate derretido corresponde à distância entre dois ventres consecutivos, que corresponde à metade do comprimento de onda.
4. Respostas variáveis. O valor dependerá do resultado obtido na questão anterior para o comprimento de onda do aparelho e do valor da frequência das ondas eletromagnéticas emitidas pelo equipamento. Se julgar adequado, reveja com os estudantes a equação fundamental da ondulatória para calcular a velocidade da luz.

Atividades (página 257)

3. Como a frequência não se altera na mudança de meio, é possível calcular cada comprimento de onda com os dados fornecidos.

   Assim: $v_1 = \lambda_1 \cdot f \Rightarrow 0{,}5 = \lambda_1 \cdot 10 \Rightarrow \lambda_1 = 0{,}05$ m
   $v_2 = \lambda_2 \cdot f \Rightarrow 0{,}1 = \lambda_2 \cdot 10 \Rightarrow \lambda_2 = 0{,}01$ m
5. **a)** Pela figura, o principal fenômeno estimulado na cabine antirruído é a interferência destrutiva.

   b) Resposta pessoal. Resposta possível: Poderiam ser usadas ondas destrutivas para eliminar a intensidade do som em obras de construção civil e em *shows*, contribuindo para o bem-estar das pessoas que estão fora do local.
6. A frequência que o pedestre captará pode ser obtida pela equação do efeito Doppler.

   $$\frac{f_{obs}}{V_{som} + V_{obs}} = \frac{f_{fonte}}{V_{som} - V_{fonte}} \Rightarrow \frac{f_{obs}}{340} = \frac{1000}{340 - 20} \Rightarrow$$
   $$\Rightarrow f_{obs} = 1062{,}5 \text{ Hz}$$
   Como a viatura policial se aproxima, o pedestre deverá perceber o som mais agudo em relação ao original.

FECHAMENTO DA UNIDADE

Pensando Ciências: Como tornar a escola mais inclusiva e acessível? (páginas 258 e 259)

- Esta seção favorece o desenvolvimento das competências gerais **CGEB9**, ao trabalhar a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, e **CGEB10**, ao agir pessoal e coletivamente com base em princípios inclusivos e solidários, e também desenvolve a habilidade **EM13CNT310**. Além disso, trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação em direitos humanos**, da área **Cidadania e civismo**, em busca de soluções para tornar a escola mais inclusiva.

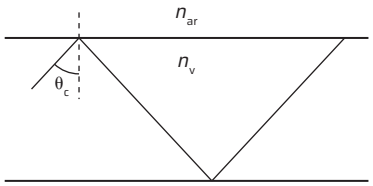
RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Pensando Ciências – Como tornar a escola mais inclusiva e acessível? (páginas 258 e 259)

1. Respostas variáveis. Espera-se que haja diferenças, mas também semelhanças entre os algoritmos produzidos pelos grupos de estudantes, por exemplo: na questão da inclusão e acessibilidade quanto à infraestrutura (rampas de acesso, piso tátil, entre outras adaptações); em questões relacionadas a atitudes e comunicação (necessidade de apoio de um intérprete de Libras em sala de aula); na conscientização de gestores e professores de que todos os estudantes têm direito a uma aprendizagem significativa, etc.
2. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes respondam que sim, pois a troca de informações e experiências pode contribuir para que a atividade se complemente e atenda, se não a todas as demandas, à maior parte delas para que a escola se torne mais inclusiva e acessível a todos os membros da comunidade escolar – estudantes, professores, colaboradores e visitantes.
3. Respostas variáveis. Espera-se que os estudantes respondam que sim. Com o apoio dos gestores escolares, incentive a turma a envolver a comunidade escolar na execução do projeto, convidando todos a conhecer o espaço da escola e as condições de inclusão e acessibilidade já oferecidas, bem como as propostas da turma. Questões sobre inclusão e acessibilidade poderão ser debatidas e esclarecidas, a partir de um panorama construído pelos estudantes, a fim de que sejam planejadas ações que possam garantir o uso do espaço e uma aprendizagem significativa para todos.

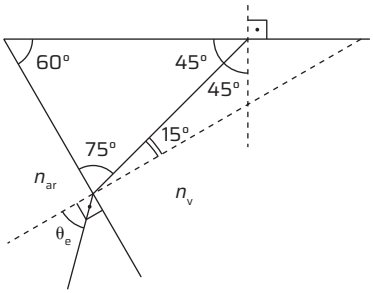
Questões globais (páginas 260 e 261)

1. Alternativa **e**. Apenas o fio aquecido pode ser percebido em uma sala escura, uma vez que se torna incandescente emitindo luz em forma de calor.
2. Alternativa **a**. Convexo com $D_i < D_m$.
3. Alternativa **e**. Para se obter imagem invertida, de mesmo tamanho e no mesmo lugar do objeto, devemos utilizar um espelho esférico côncavo, dispondo o objeto no centro de curvatura do espelho.
4. Alternativa **c**. A única alternativa correta é a que afirma que a velocidade da luz pode aumentar ao mudar de meio.
5. Alternativa **b**.



Setup Bureau/ID/BR

Para que ocorra reflexão total interna, $\text{sen}\ \theta_C = \frac{n_{ar}}{n_v} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta_C = 45°$



Setup Bureau/ID/BR

$$n_{ar} \cdot \text{sen}\ \theta_e = n_v \cdot \text{sen}\ 15° \Rightarrow 1{,}0 \cdot \text{sen}\ \theta_e = \sqrt{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{4}\right) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \text{sen}\ \theta_e = \frac{2\sqrt{3} - 2}{4} = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{3} - 1) \Rightarrow \text{sen}\ \theta_e = 0{,}366$$

6. Alternativa **a**. A qualidade do som que permite diferenciar as notas emitidas é denominada altura. A altura depende apenas da frequência do som emitido.

7. Alternativa **d**. **I.** Falsa. O que determina que uma onda seja sonora é sua natureza, e não sua frequência.

II. Falsa. Onda é a perturbação do meio com transporte de energia.

8. Alternativa **b**. A característica que determina a altura do som é a frequência, e a intensidade determina a amplitude.

9. Alternativa **e**. A redução nas direções de vibração da onda é característica do fenômeno de polarização da luz.

10. Alternativa **c**. A superposição de ondas ocorre em ondas de mesma natureza e de mesma frequência.

11. Alternativa **d**. Difração, polarização e interferência.

12. Alternativa **c**. **a)** Falsa. O comprimento de onda diminui devido a sua compressão à aproximação da fonte em relação ao receptor.

b) Falsa. Após o efeito ocorrer, a amplitude permanece a mesma.

c) Verdadeira. O efeito Doppler que ocorre na aproximação de uma fonte sonora a um receptor parado faz com que a frequência da onda sonora aumente, tornando o som mais agudo.

d) Falsa. Após o efeito ocorrer, a intensidade da onda sonora diminui.

e) Falsa. Após o efeito ocorrer, a velocidade da onda permanece a mesma.

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) A primeira tecnologia comercial de comunicação da internet foi realizada usando a rede de voz telefônica, implantada por pares de fios condutores (par trançado), que permitiam uma transferência máxima de 56 kbps (quilobites por segundo). Nesse padrão de comunicação, a transferência se faz usando uma onda quadrada modulada, com os níveis 1 e 0 representados pela diferença de potencial (d.d.p.) nos fios ou pela ausência dessa d.d.p. Nas comunicações atuais, a capacidade de transferência de dados por fibra óptica ou micro-ondas (usando uma onda de 2,5 GHz na tecnologia 4G ou uma de 3,5 GHz na tecnologia 5G) é muito superior. Na 5G está prevista uma capacidade de transferência superior a 10 Gbps para cada dispositivo conectado. Considere que a informação é transportada a uma velocidade igual [à] velocidade da luz por uma perturbação do campo elétrico ou por uma onda eletromagnética.

Os comprimentos, em metro, de um *bit* de informação transportado no par trançado e na rede 5G, respectivamente, são mais próximos de

a) $3{,}6 \cdot 10^3$ e $2{,}0 \cdot 10^{-2}$.

b) $3{,}6 \cdot 10^3$ e $8{,}6 \cdot 10^{-2}$.

c) $3{,}6 \cdot 10^{-1}$ e $2{,}0 \cdot 10^{-1}$.

d) $5{,}4 \cdot 10^{-1}$ e $8{,}6 \cdot 10^{-2}$.

e) $5{,}4 \cdot 10^{-1}$ e $3{,}0 \cdot 10^{-2}$.

Alternativa **a**.

Pela equação fundamental da ondulatória, temos:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \frac{2}{3}c = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{2c}{3f}$$

Substituindo as frequências calculadas para cada caso, $f_1 = 56$ kbps $= 56 \cdot 10^3$ Hz e $f_1 = 1$ Gbps $= 1 \cdot 10^{10}$ Hz, temos:

$$\lambda_1 = \frac{2c}{3f_1} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 56 \cdot 10^3} = \frac{2 \cdot 10^8}{56 \cdot 10^3} \Rightarrow \lambda_1 = 3{,}6 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \frac{2c}{3f_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 1 \cdot 10^{10}} = \frac{2 \cdot 10^8}{10^{10}} \Rightarrow \lambda_2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

2. (**Efomm**) Em um laboratório de Física, um professor faz uma demonstração sobre o fenômeno dos batimentos, que é decorrente da interferência de ondas sonoras. Para isso, dois alto-falantes A e B estão separados por uma certa distância, e emitirão ondas sonoras senoidais a 510 Hz. Na mesma linha que une os alto-falantes, há um trilho sobre o qual se move um carrinho, cuja velocidade pode ser ajustada, e sobre o qual sentarão os estudantes. Assim, quando o carrinho se move entre os alto-falantes, as ondas sonoras percebidas possuem uma frequência diferente de 510 Hz, cuja intensidade oscila com uma frequência f_{bat}, que é a frequência dos batimentos. Considerando que, em média, o ouvido humano é capaz de perceber batimentos de até 15 Hz, qual é a velocidade limite em que o carrinho pode se movimentar entre os alto-falantes, para que os batimentos possam ser percebidos pelos estudantes? Considere que a velocidade da propagação da onda sonora no ar é de 340 m/s e despreze ruídos e a existência de outras fontes sonoras durante a demonstração do professor.

a) 5,0 km/h

b) 10,0 km/h

c) 3,0 m/s

d) 5,0 m/s

e) 10,0 m/s

Alternativa **d**.

Pela equação do efeito Doppler, temos: $f_{ap} = f_0\left(\frac{v_{som} + v_{obs}}{v_{som} - v_{fonte}}\right)$.

$$f_1 = 510\left(\frac{340 + v_c}{340 + 0}\right); f_2 = 510\left(\frac{340 - v_c}{340 + 0}\right)$$

$$\Rightarrow f_{bat} = |f_1 - f_2| = 510\left[\left(\frac{340 + v_c}{340}\right) - \left(\frac{340 - v_c}{340}\right)\right]$$

Como $f_{bat} = 15$ Hz:

$$510\left[\left(\frac{340 + v_c}{340}\right) - \left(\frac{340 - v_c}{340}\right)\right] = 15 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{340 + v_c - 340 + v_c}{340} = \frac{15}{510} \Rightarrow \frac{2v_c}{340} = \frac{15}{510}$$

$$\Rightarrow 2v_c = 10 \Rightarrow v_c = 5 \text{ m/s}$$

6 ELETRICIDADE E MAGNETISMO

INTRODUÇÃO

Esta unidade compreende quatro capítulos. No capítulo 1, são abordados campo elétrico, força elétrica, energia potencial elétrica, potencial elétrico. O capítulo 2 apresenta a dinâmica da eletricidade, ou seja, corrente elétrica, resistência elétrica, primeira lei de Ohm, resistividade elétrica, segunda lei de Ohm, circuitos elétricos, potência elétrica, efeito Joule, consumo de energia elétrica, associação de resistores e geradores. Contextualizando essas abordagens no cotidiano dos estudantes, o capítulo trata de instalações elétricas residenciais, choque elétrico, baterias e pilhas e controle do gasto de energia elétrica de uma residência.

No capítulo 3, são abordados aspectos ligados a energia e usinas de energia elétrica, o caminho da eletricidade, a escassez mundial de energia elétrica e a busca de novas fontes de energia. O capítulo 4 trata de campo magnético, força magnética, indução eletromagnética, fluxo magnético, leis de Faraday e de Lenz, ondas eletromagnéticas, computadores e tecnologia da informação.

Os objetivos da unidade articulam-se a estes e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas competências gerais da Educação Básica como **CGEB1**, **CGEB2**, **CGEB4** e **CGEB7**. Também são desenvolvidas competências e habilidades específicas das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como as habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT301**, **EM13CNT309** e **EM13CNT310**.

Sugestão de planejamento

Ao planejar as aulas desta unidade, sugerimos associar os conceitos às atividades práticas propostas, facilitando a compreensão dos conteúdos abstratos. Recomendamos também um trabalho interdisciplinar com professores de Matemática e/ou Educação Digital, ao abordar o cálculo do consumo de energia elétrica em uma residência, presente no capítulo. Considere ainda a possibilidade de colaboração com o(a) professor(a) de Biologia para discutir sustentabilidade no capítulo 3, aprofundando a discussão sobre os impactos ambientais das usinas de energia elétrica.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Compreender os conceitos de campo elétrico e força elétrica e diferenciar campo elétrico de carga elétrica. • Calcular a intensidade de um campo elétrico e representar o campo elétrico por meio das linhas de campo. • Relacionar campo elétrico e potencial elétrico. • Realizar experimento a fim de estudar campos elétricos.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CECNTEM3	EM13CNT301	
2	• Compreender os conceitos de corrente elétrica e resistência elétrica e suas aplicações em circuitos elétricos. • Identificar as diferentes formas de prevenção de acidentes elétricos e o efeito Joule no cotidiano. • Definir e calcular o rendimento de um gerador. • Verificar o consumo de uma conta de energia elétrica.	CGEB2 CGEB4 CGEB7 CGEB8 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT106 EM13CNT107 EM13CNT301 EM13CNT306 EM13CNT307 EM13CNT310	Educação ambiental Educação para o consumo
3	• Compreender as transformações de energia em uma usina hidrelétrica. • Identificar soluções para demandas que envolvam a geração, a distribuição e o consumo de energia elétrica, bem como avaliar seus impactos socioambientais. • Comparar diferentes tipos de usina geradora de eletricidade. • Construir um minigerador eólico.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CGEB7 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT102 EM13CNT106 EM13CNT303 EM13CNT307 EM13CNT309 EM13CNT310	Educação ambiental
4	• Compreender o eletromagnetismo e o funcionamento de motores elétricos. • Descrever os fundamentos do magnetismo como fenômeno natural e compreender algumas de suas aplicações tecnológicas. • Realizar experimento para observar o "freio magnético".	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CGEB5 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT103 EM13CNT107 EM13CNT306 EM13CNT308	Ciência e tecnologia
Fechamento da unidade	• Comparar a eficiência de lâmpadas, refletir e optar pela utilização doméstica com base em critérios conceituais.	CGEB7 CGEB10 CECNTEM3	EM13CNT308 EM13CNT309 EM13CNT310	Educação para o consumo

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 262 E 263)

- A vida das pessoas na sociedade contemporânea depende das aplicações do eletromagnetismo, e esse pode ser um bom ponto para despertar o interesse dos estudantes e identificar as principais incoerências ou equívocos em seus conhecimentos prévios.

CAPÍTULO 1 FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO (PÁGINA 264)

Eletricidade (página 264)

- Os conceitos abordados neste capítulo são fundamentais para que os estudantes construam de maneira significativa conhecimentos sobre a eletricidade. Por isso, é essencial mostrar-lhes a centralidade de tais conceitos, inicialmente pela explicação de fenômenos elétricos, como os processos de eletrização, e, posteriormente, por suas relações com o campo magnético.

Introdução à força elétrica (página 265)

- Apresente o conceito de força elétrica e suas características aos estudantes. É importante enfatizar as grandezas envolvidas (carga elétrica e distância), assim como a diferença de intensidade devido à ordem de grandeza da constante gravitacional e da constante elétrica.
- Incentive os estudantes a levantar hipóteses apresentando algumas situações em que a força elétrica está envolvida. Se possível, realize experimentos com eles para mostrar essas características, promovendo a habilidade **EM13CNT301**.
- O texto "A carga elementar", do boxe *De olho no conceito*, trabalha as competências gerais **CGEB1**, ao valorizar o conhecimento historicamente construído e explicar a realidade, e **CGEB4**, ao utilizar linguagem científica e matemática.
- A atividade proposta no boxe *Roteiro* pode ser utilizada também para mostrar aos estudantes que as nomenclaturas, como cátion e ânion, usadas em Química também são adotadas em Física.

Força elétrica (página 266)

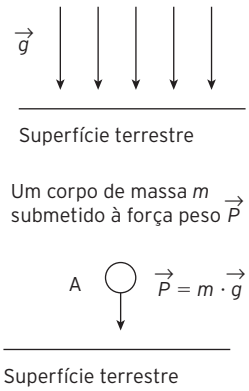
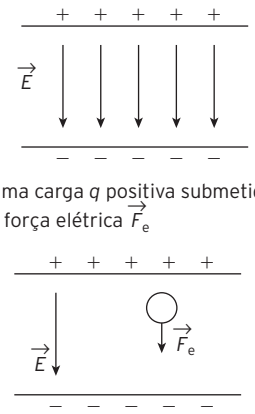
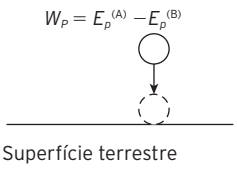
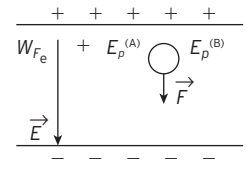
- A abordagem inicial de força elétrica pode ser feita pela comparação de seus conceitos fundamentais com os da força gravitacional. Inicie propondo questões norteadoras, abordando as principais características de cada força, para que os estudantes respondam em duplas. Verifique, por fim, se eles entenderam as diferenças e as semelhanças entre força elétrica e força gravitacional. Esse procedimento permite desenvolver aspectos da competência específica **CECNTEM3** e a habilidade correspondente **EM13CNT301**.
- O texto "Soma vetorial", do boxe *De olho no conceito,* trabalha a competência geral **CGEB4**, ao utilizar conhecimentos da linguagem matemática.

Campo elétrico (página 267)

- O conceito de campo é um dos mais importantes da Física e costuma ser apresentado como mediador de forças que agem a distância. Os estudantes, provavelmente, já conhecem o campo gravitacional e a força gravitacional; eles vão conhecer agora o campo elétrico e a força elétrica, o campo magnético e a força magnética. Esses três campos (gravitacional, elétrico e magnético) têm natureza vetorial, mas, é no estudo dos campos elétrico e magnético que esse aspecto ganha ênfase.
- O vetor campo elétrico é a grandeza que permite determinar, em cada ponto, a ação de uma força elétrica sobre uma carga elétrica localizada no campo elétrico, região em que ocorre essa ação. A definição do vetor campo elétrico em cada ponto possibilita a representação visual do campo elétrico que modifica o espaço mediante as linhas de campo. O vetor campo elétrico em cada ponto é sempre tangente às linhas nesse ponto.

Energia potencial elétrica e Potencial elétrico (páginas 268 e 269)

- Depois de as diferentes configurações do campo elétrico serem apresentadas aos estudantes, pode ser feita uma analogia das representações do campo elétrico uniforme (gerado entre as placas de um capacitor plano) com o campo gravitacional (também uniforme, considerado em uma região próxima à superfície terrestre). Essa analogia permite discutir a variação de energia adquirida por uma carga elétrica e por uma massa presentes, respectivamente, em um campo elétrico e em um campo gravitacional. Avalie a oportunidade de trabalhar na sala de aula os esquemas a seguir.

Para o campo gravitacional uniforme próximo à superfície terrestre	Para o campo elétrico uniforme entre as placas planas e paralelas de um capacitor
Representação  	Representação 
Para deslocar o corpo de massa m do ponto A até a superfície, ponto B (plano de referência em que $E_p = 0$, por convenção), o trabalho W da força peso é:  	Para deslocar a carga $Q > 0$ da placa positiva A para a placa negativa B, onde se localiza o plano de referência e, portanto, $E_p = 0$, o trabalho W da força elétrica é: 

Ilustrações: ID/BR

- Essa abordagem promove a habilidade **EM13CNT301** ao se comparar dois conceitos muito próximos, o que auxilia os estudantes a construir questões, elaborar hipóteses, interpretar modelos e resultados e justificar conclusões.
- Com a abordagem desenvolvida no Livro do Estudante, é possível relacionar energia potencial elétrica com tensão elétrica, reforçando que esta é o mesmo que diferença de potencial elétrico (ddp).

Práticas de Ciências – Interagindo com o campo elétrico (página 270)

- Nesta seção, os estudantes trabalham a competência geral **CGEB2** e a habilidade **EM13CNT301**, ao se envolverem em um experimento em que devem construir questões, elaborar hipóteses, interpretar modelos e justificar conclusões, bem como interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais e fenômenos naturais.
- Chame a atenção da turma para os cuidados necessários ao manusear os materiais perfurocortantes, como pregos. É importante que os estudantes tenham autonomia na montagem dos equipamentos para o experimento. Porém, se necessário, auxilie-os durante esse processo. Em vez do prego, pode-se utilizar um parafuso para realizar o furo.

FONTE COMPLEMENTAR

- Assad, G. E. Campo elétrico "na superfície" de um condutor: uma questão a ser esclarecida. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 34, n. 4, out./dez. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n4/a24v34n4.pdf. Acesso em: 21 out. 2024.

  No artigo, discute-se um problema clássico no âmbito do Ensino Médio: como se comporta o campo na superfície de um condutor esférico em equilíbrio eletrostático.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Blindagem eletrostática com celular

Para uma demonstração simplificada da blindagem eletrostática de aparelhos celulares, enrole um aparelho celular com cinco voltas de papel-alumínio e peça a um estudante que faça uma ligação para esse aparelho. Este estudante receberá uma mensagem de ligação perdida. E, para constatar que o aparelho celular embrulhado está mesmo sem sinal, basta fazer, com um alfinete, pequenos furos no papel-alumínio próximo ao visor.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Para avaliar a compreensão dos estudantes sobre a lei de Coulomb, proponha a eles que respondam, em duplas, questões sobre a variação provocada na força elétrica quando são variadas as cargas elétricas e a distância entre elas. Por exemplo, que expliquem o que acontece com a força elétrica se a distância entre as cargas for diminuída pela metade. Esse tipo de atividade não requer que os estudantes façam muitos cálculos, pois o objetivo é que eles, a partir da expressão matemática, relacionem as variáveis.
- Para os tópicos relacionados ao campo elétrico, proponha aos estudantes que pesquisem o que é o comportamento conhecido como poder das pontas e solicite a eles que escrevam um texto breve sobre a sua relação com o campo elétrico.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Para começar (página 264)

2. Os pedaços de papel são atraídos pelo pente porque, no atrito do pente com o cabelo, cargas elétricas passam de um corpo para o outro, e ambos, pente e cabelo, ficam carregados com cargas de sinais opostos. Ao aproximar o pente eletrizado de pequenos pedaços de papel, eletricamente neutros, isto é, com cargas positivas e negativas em igual número, as cargas do papel de sinal contrário às cargas do pente são atraídas pelo pente.

Caso seja oportuno, apresente aos estudantes a série triboelétrica para que descubram qual é o sinal das cargas que diferentes materiais adquirem quando são atritados entre si.

Atividades (página 271)

2. a) Substituindo os valores na lei de Coulomb, e considerando $|q_1| = 4 \cdot 10^{-10}$ C e $|q_2| = 3 \cdot 10^{-10}$ C, temos:

$$|F_R| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 12 \cdot 10^{-5} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-10} \cdot 3 \cdot 10^{-10}}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d^2 = \frac{108 \cdot 10^{-11}}{12 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow d^2 = 9 \cdot 10^{-6} \Rightarrow d = 3 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$$

b) Se a carga negativa for reduzida à metade, temos que a nova carga (q'_2) tem módulo $|q'_2| = \frac{|q_2|}{2}$. Assim, substituindo o módulo da nova carga na expressão de Coulomb, temos que a nova força resultante (F'_R) fica:

$$|F'_R| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q'_2|}{d^2} \Rightarrow |F'_R| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot \frac{|q_2|}{2}}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |F'_R| = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \Rightarrow |F'_R| = \frac{1}{2} \cdot |F_R|$$

Ou seja, se a intensidade da carga negativa for reduzida à metade, a força também será reduzida à metade.

Portanto, o valor da nova força será:

$$|F'_R| = \frac{1}{2} \cdot |F_R| \Rightarrow |F'_R| = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 10^{-5} \Rightarrow |F'_R| = 6 \cdot 10^{-5}\ \text{N}$$

Generalize esse fato considerando que, sempre que o valor de uma das cargas for reduzido à metade, a força também cairá pela metade, utilizando, para justificar isso, tanto o argumento matemático, similar ao desenvolvido anteriormente, quanto o conceito de relação diretamente proporcional.

c) Dobrando, agora, o valor da distância, a nova distância ($\overline{d}$) é dada por $\overline{d} = 2 \cdot d$. Além disso, sabemos que as cargas que interagem são as mesmas do item **b**, isto é, q_1 e q'_2. Vamos substituir esses valores na expressão de Coulomb para obter o módulo da força ($\overline{F}$) dessa nova situação:

$$|\overline{F}| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q'_2|}{\overline{d}^2} \Rightarrow |\overline{F}| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q'_2|}{(2 \cdot d)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow |\overline{F}| = K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q'_2|}{4 \cdot d^2} \Rightarrow |\overline{F}| = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \frac{|q_1| \cdot |q'_2|}{d^2} \Rightarrow |\overline{F}| = \frac{1}{4} \cdot |F'_R|$$

Ou seja, dobrando-se o valor da distância, o valor da força é reduzido a $\frac{1}{4}$ do valor anterior. Substituindo o valor encontrado no item **b** para $|F'_R|$, obtemos:

$$|\overline{F}| = \frac{1}{4} \cdot 6 \cdot 10^{-5} \Rightarrow |\overline{F}| = 1{,}5 \cdot 10^{-5}\ \text{N}$$

Assim, em todo processo, a força caiu a $\frac{1}{8}$ do valor inicial, já que caiu pela metade na operação do item **b**, sofrendo, na sequência, uma redução de $\frac{1}{4}$ na etapa realizada no item **c**.

Utilize o desenvolvimento matemático realizado para generalizar as relações entre grandezas. Assim, chame a atenção da turma para o fato de que a dependência de uma grandeza com inverso do quadrado de outra implica

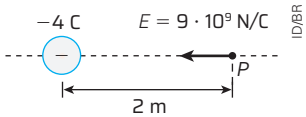
que, ao se dobrar o valor da segunda grandeza obtém-se uma redução de $\frac{1}{4}$ do valor da primeira. No nosso caso, essas grandezas são força elétrica e distância, respectivamente. A atividade mobiliza a competência geral **CGEB4**.

3. a) Calculamos a intensidade do campo elétrico pela expressão do campo elétrico gerado por cargas pontuais: $E = K \cdot \frac{|Q|}{d^2}$.

Substituindo os valores, obtemos: $E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{|-4|}{2^2}$

$E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4}{4} \Rightarrow E = 9 \cdot 10^9 \therefore E = 9 \cdot 10^9$ N/C

b)



4. b) Notamos primeiro que, quanto menor é o distanciamento entre as linhas de campo, maior é a densidade dessas linhas, pois há um maior número delas por unidade de área. Assim, observamos que no ponto C, a densidade de linhas de campo é maior que no ponto A, que, por sua vez, é maior que no ponto B.

Explique aos estudantes que a densidade de linhas de campo é uma maneira esquemática utilizada para representar a intensidade do campo nos diferentes pontos do espaço, de tal forma que quanto maior for a densidade das linhas em uma região (menor distanciamento), maior será a intensidade do campo naquele local.

5. a) A distância da carga q_1 ao ponto P, que deve ser expressa em metro, é: $d_1 = 10 \text{ cm} + 20 \text{ cm} = 30 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-1}$ m

A intensidade do campo elétrico em P devido à carga q_1 é dada por: $E_1 = K \cdot \frac{q_1}{d_1^2}$. Substituindo os valores, obtemos:

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-9}}{(3 \cdot 10^{-1})^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-9}}{9 \cdot 10^{-2}}$$

$$E_1 = \frac{9 \cdot 6}{9} \cdot \frac{10^9 \cdot 10^{-9}}{10^{-2}} = \frac{6}{10^{-2}} \Rightarrow \therefore E_1 = 6 \cdot 10^2 \text{ N/C}$$

b) A distância em metro da carga q_2 ao ponto P é:

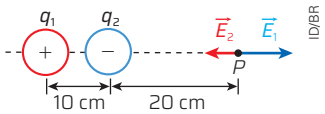
$d_2 = 20 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-1}$ m. Substituindo os valores na expressão do campo elétrico, obtemos:

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-2 \cdot 10^{-9}}{(2 \cdot 10^{-1})^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-2 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-2}}$$

$$E_2 = \frac{9 \cdot (-2)}{4} \cdot \frac{10^9 \cdot 10^{-9}}{10^{-2}} = -4{,}5 \cdot \frac{1}{10^{-2}} = -4{,}5 \cdot 10^2$$

$$\therefore E_2 = -4{,}5 \cdot 10^2 \text{ N/C}$$

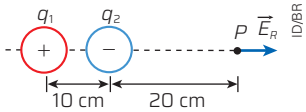
c)



d) O campo elétrico resultante agindo em P é dado pela soma vetorial dos campos elétricos devidos a q_1 e q_2.

$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \Rightarrow E_R = E_1 - E_2 \Rightarrow E_R = 1{,}5 \cdot 10^2$ N/C

e)



Repasse com a turma o conceito de campo elétrico apresentando situações de várias cargas elétricas de valores diferentes situadas em um plano, a fim de que seja calculada a força elétrica em cada carga pela ação do campo das outras cargas.

6. b) Para colocar os pontos em ordem crescente de potencial, consideramos somente a distância deles à placa negativa. Quanto maior a distância, maior o potencial. Assim, em ordem crescente, tem-se: $U_D < U_B < U_A = U_C$

CAPÍTULO 2 CORRENTE ELÉTRICA E CIRCUITOS ELÉTRICOS (PÁGINA 272)

Corrente elétrica e condutividade em metais (páginas 272 e 273)

- Este tópico leva os estudantes a desenvolver aspectos da habilidade **EM13CNT307** ao lhes fornecer embasamento para discutir a resistência elétrica em materiais.
- Ressalte que a corrente elétrica resulta da movimentação dos elétrons dentro de um condutor, e não de um fluxo semelhante ao escoamento de água em uma tubulação. O movimento é gerado pela atuação de uma força elétrica sobre os elétrons portadores de carga que se encontram em um campo elétrico criado no meio material.
- Associar o campo elétrico e a força elétrica ao movimento dos portadores de carga facilita a explicação dos dois tipos de corrente: a contínua e a alternada.
- Trabalhe o conceito de que a condutividade dos metais é explicada pela maior quantidade de elétrons livres (se comparada a outros tipos de substância), os quais se deslocam com facilidade sob a ação de uma força impulsora.

Resistência elétrica e a primeira lei de Ohm (página 274)

- Comente, como a própria palavra indica, que a resistência é associada à dificuldade de passagem dos elétrons pelo condutor e que também pode ser expressa como o resultado da razão entre a ddp ou tensão (U) e a intensidade da corrente elétrica (i) que atravessa o condutor.
- Apresente e trabalhe a expressão matemática da primeira lei de Ohm. Mostre aos estudantes como esse resultado se modifica com a variação da intensidade da corrente. Esclareça que, para parte dos materiais elétricos, há uma relação de dependência direta entre U e i, obtendo-se R como uma constante característica daquele condutor a determinada temperatura. Essa relação é chamada de primeira lei de Ohm e, nesse caso, o condutor é chamado de ôhmico. No entanto, essa relação também é válida para condutores não ôhmicos, com a diferença de que o valor de R não se apresenta como constante para cada par de valores U e i. Essa abordagem promove a competência geral **CGEB4**.
- Este tópico promove a discussão sobre resistência elétrica, exercitando a habilidade **EM13CNT307**.

Resistividade elétrica e a segunda lei de Ohm (página 275)

- Os conceitos de resistividade elétrica e condutividade elétrica podem ser explorados com base no significado desses

termos (resistividade e condutividade), em que a propriedade de um é inversa à propriedade do outro. Ou seja, se um material for bom condutor, apresentará baixa resistividade (ρ) e maior condutividade elétrica (σ). Matematicamente: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

- Além de desenvolver a habilidade **EM13CNT307**, pode-se iniciar o trabalho com a habilidade **EM13CNT106**, selecionando equipamentos mais eficientes em instalações elétricas. A tabela apresentada no boxe *Ampliação* "Tabela de resistividade" desenvolve aspectos da competência geral **CGEB4**.

SUGESTÃO DE AULA

- Antes de apresentar a expressão matemática para a segunda lei de Ohm, você pode promover uma aula dialogada para que os estudantes analisem e deduzam como as variáveis de comprimento, espessura e material de um condutor se relacionam no cálculo de sua resistência elétrica.
- Para essa análise, os estudantes devem considerar que uma maior ou menor resistência elétrica de um condutor está associada à dificuldade de passagem dos elétrons livres, por isso a necessidade de avaliar dois pedaços do condutor em função das variáveis citadas, uma de cada vez. A observação possibilita a participação ativa dos estudantes em um tipo de análise importante no aprendizado de Física, em que se estabelecem relações entre as características físicas (neste caso, do condutor) e grandezas mensuráveis.

Eletricidade, resistência e choques elétricos (página 276)

- Como a eletricidade e seus efeitos são, geralmente, algo comum na vida dos estudantes, este tópico pode ser introduzido com perguntas relacionadas a situações do dia a dia que envolvam riscos associados à eletricidade. Por exemplo: "Por que é importante que os chuveiros elétricos sejam sempre aterrados?"; "Por que não podemos ficar próximos a uma árvore durante uma tempestade com raios?".
- Nesse ponto, o trabalho com a habilidade **EM13CNT106** pode ser aprofundado e combinado com as habilidades **EM13CNT306**, **EM13CNT307** e **EM13CNT310**. Para isso, podem ser utilizados exemplos de instalações de risco nas quais o não dimensionamento de circuitos de forma a seguir o padrão estabelecido pode causar riscos e prejuízos. Além disso, desenvolve-se a competência geral **CGEB8** ao trabalhar o texto "Choques elétricos: em casa, toda prevenção é pouca", no boxe *Ação e cidadania*.

Potência elétrica (páginas 277 e 278)

- Os estudantes podem observar dois conjuntos de lâmpadas, de um mesmo fabricante, para avaliar a relação entre potência, tensão e dimensões do filamento. Um dos conjuntos pode conter, por exemplo, três lâmpadas (de 40 W, 100 W e 150 W para tensão de 110 V), e o outro, também três lâmpadas, com as mesmas potências, mas para 220 V.
- Oriente os estudantes a observar duas lâmpadas de mesma potência e tensões diferentes, levando-os a analisar semelhanças e diferenças no comprimento e na espessura do filamento. Depois de fazer isso para todos os pares de lâmpadas, os estudantes podem comparar lâmpadas com diferentes potências específicas para uma tensão, a fim de identificar as mesmas características, por exemplo. Todas essas informações podem ser sistematizadas em uma tabela comparativa. Essa abordagem promove as habilidades **EM13CNT307** e **EM13CNT301**.

Resistência elétrica e efeito Joule (páginas 278 e 279)

- A abordagem deste tópico promove aspectos da competência específica **CECNTEM3** e as habilidades correspondentes **EM13CNT301** e **EM13CNT307**, ao se comparar alguns materiais e sua dissipação de energia em forma de calor quando percorridos por uma corrente elétrica.

Cálculo de consumo de energia elétrica (página 280)

- Para que os estudantes tenham uma experiência prática com um dos assuntos mais importantes da Física na atualidade, proponha uma atividade em que eles calculem, durante uma semana, o consumo de energia elétrica em um cômodo da residência. Cada estudante investigará os aparelhos elétricos que há no cômodo, determinando a tensão a que estão ligados, suas potências e o intervalo de tempo em que cada um fica ligado em uma semana. Com as informações levantadas, promova um debate a respeito do consumo de energia nas residências, para que avaliem se há, ou não, a prática do uso consciente de energia elétrica, contribuindo, desse modo, para desenvolver as habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT107**, e **EM13CNT301**.

Associação de resistores (páginas 281 a 283)

- Ressalte que, embora haja dois tipos de associação de resistores (em série e em paralelo), em sua maioria, os circuitos elétricos utilizados no dia a dia são constituídos por associações desses dois tipos, obtendo-se, portanto, as vantagens de cada uma das associações.
- No estudo da resistência equivalente, antes de introduzir o cálculo do valor, mostre aos estudantes a importância desse estudo para a determinação das correntes e das tensões em cada circuito e para a correta substituição de todos os resistores, obtendo-se efeito equivalente.

Práticas de Ciências – Associação de resistores (páginas 284 e 285)

- Esta seção é oportuna para ilustrar e demonstrar conceitos teóricos com atividades práticas, contribuindo, assim, para o desenvolvimento das competências gerais **CGEB2** e **CGEB4** e das habilidades **EM13CNT301** e **EM13CNT307**.
- Alerte a turma sobre os cuidados durante a manipulação dos objetos como tachinhas, a fim de evitar acidentes. É possível substituir a base de madeira por uma base plástica.

Circuitos residenciais (páginas 286 e 287)

- A descrição e a explicação dos componentes elétricos presentes em uma residência devem ser realizadas de maneira articulada às observações feitas pelos estudantes ao longo das explicações, porque esse tema está muito presente no cotidiano e aparece com frequência nos vestibulares. O mesmo ocorre com o tema da instalação elétrica residencial, que é projetada em razão das especificações de cada componente e, geralmente, desperta o interesse dos estudantes.
- Essas informações também são importantes porque mostram os cuidados que devem ser tomados ao manusear aparelhos elétricos, para evitar acidentes como choques e queimaduras

e até morte. Isso contribui para que os estudantes desenvolvam aspectos das competências específicas **CECNTEM1** e **CECNTEM3** e das habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT107**, **EM13CNT301**, **EM13CNT306** e **EM13CNT307**.

Geradores e Força eletromotriz
(páginas 287 a 289)

- Comece indagando aos estudantes quais são os geradores que eles mais conhecem: "Que tipo de energia os geradores transformam em energia elétrica?"; "Como fazem isso?". Deixe-os responder livremente e, ao longo da aula, esclareça as dúvidas e complemente as respostas.
- Aproveite as respostas da turma para discutir como, em geral, os geradores aquecem durante o funcionamento. Pergunte aos estudantes se isso acarreta algum problema no fornecimento de energia elétrica. As respostas podem variar. Se isso ocorrer, solicite-lhes que argumentem.
- O estudo destes tópicos contribui para o desenvolvimento das habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT107**, **EM13CNT301**, **EM13CNT306**, **EM13CNT307** e **EM13CNT310**. No boxe *Ciência se discute*, o texto "Guerra das correntes" (p. 287) promove a competência geral **CGEB7**.

Práticas de Ciências – Leitura de uma "conta de luz" residencial **(páginas 290 e 291)**

- Esta atividade propicia a contextualização de conteúdos conceituais abordados no capítulo. Além disso, é uma oportunidade para mostrar aos estudantes como a vida moderna é dependente diretamente da ciência e da tecnologia. Essa atividade pode ser realizada em colaboração com o(a) professor(a) de Matemática e/ou Educação digital.
- Aproveite para ressaltar, também, que o conhecimento de conceitos científicos é relevante para a formação do senso crítico para a vida em sociedade. Explique aos estudantes que, ao conhecer a ciência e o fazer científico, é possível ir além da simples interpretação de dados, é possível também que sejam capazes de refletir sobre questões mais abrangentes, como a escolha de matrizes energéticas com maior benefício econômico e menor impacto socioambiental, e de entender as relações entre política e empresas de energia.
- As anotações também podem ser feitas em computador.
- A atividade desta seção promove as competências gerais **CGEB2** e **CGEB4**, assim como as habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT107** e **EM13CNT301**. Além disso, trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação para o consumo**, da área Meio ambiente.

Física e Química: Baterias e pilhas
(páginas 292 e 293)

- O tema desta seção oferece oportunidade de abordagem interdisciplinar com o componente curricular Química. Aproveite para discutir com os estudantes aspectos como o descarte correto de pilhas e baterias, inclusive no contexto escolar e da comunidade local, promovendo o tema contemporâneo transversal **Educação ambiental**, da área Meio ambiente.

FONTES COMPLEMENTARES

- Dorf, R. C.; Svaboda, J. A. *Introdução aos circuitos elétricos*. São Paulo: LTC, 2008.

  Esse livro traz, em abordagem simples, numerosos problemas de projeto, bem como exemplos do programa MatLab, com foco nos circuitos encontrados no dia a dia.
- Laburú, C. E.; Gouveia, A.A.; Barros, M. A. Estudo de circuitos elétricos por meio de desenhos dos estudantes: uma estratégia pedagógica para explicitar as dificuldades conceituais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 26, n. 1, p. 24-47, abr. 2009. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n1p24/10018. Acesso em: 25 out. 2024.

  O artigo propõe incorporar a linguagem de desenhos ao tradicional tratamento da simbologia convencional no estudo de circuitos elétricos.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Durante o desenvolvimento da seção *Prática de Ciências*, procure observar e avaliar o envolvimento e a participação dos estudantes. As respostas e as conclusões dos estudantes podem ser outra maneira de avaliar a compreensão dos assuntos abordados na experimentação.
- Proponha aos estudantes a resolução de atividades dos principais exames de admissão para as universidades da região em que moram e também exames do Enem. Essas provas estão publicadas nos *sites* das universidades e no portal do Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), disponível em: https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos (acesso em: 21 out. 2024).

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro **(páginas 274 a 283)**

1. a) Pela leitura do gráfico, percebemos que para a tensão de $U = 60$ V, temos uma corrente de intensidade $i = 3$ A. Assim, utilizando a primeira lei de Ohm ($U = R \cdot i$), temos:

$$60 = R \cdot 3 \Rightarrow \frac{60}{3} = R \Rightarrow R = 20\ \Omega$$

b) Como a curva $U \times i$ é representada por uma reta do tipo $y = a \cdot x$ (portanto, que passa pela origem do gráfico), há relação de proporcionalidade entre a tensão aplicada e a corrente estabelecida, o que leva a um valor de resistência elétrica constante, que independe da intensidade da tensão a que é submetida, bem como da intensidade da corrente que a atravessa. Logo, o resistor é ôhmico.

Como desafio aos estudantes, peça-lhes que tentem desenhar como seria a curva de um resistor não ôhmico. Algumas sugestões de curvas como segmentos de parábolas, com as concavidades voltadas para baixo e para cima, devem ser indicadas. Chame a atenção deles para o fato de que, em todos os casos, as curvas passam pela origem dos eixos coordenados. Verifique se os estudantes interpretam o porquê.

c) Sendo o resistor ôhmico $R = 20\ \Omega$ para qualquer par de valores de tensão e intensidade de corrente elétrica, a resistência é constante. Portanto, podemos aplicar a primeira lei de Ohm: $U = R \cdot i \Rightarrow 120 = 20 \cdot i \Rightarrow \frac{120}{20} i \Rightarrow i = 6$ A

2. a) De acordo com a segunda lei de Ohm, a resistência de um cabo elétrico pode ser escrita como: $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$.

Assim, reduzindo seu comprimento pela metade, a resistência elétrica diminui. Como seu diâmetro aumentou duas vezes, a área de seção transversal também aumenta. Logo, a resistência elétrica diminui mais ainda. Como resultado, a resistência elétrica se reduz sensivelmente.

b) Ao duplicar o diâmetro, o valor da área aumenta quatro vezes, pois esta varia com o quadrado do raio. Assim, escrevemos as expressões:

Resistência elétrica inicial (R): $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$

Resistência elétrica final (R'): $R' = \frac{\rho \cdot \frac{L}{2}}{4 \cdot A} \Rightarrow$

$\Rightarrow R' = \frac{\rho \cdot L}{8 \cdot A} \Rightarrow \frac{\rho \cdot \frac{L}{A}}{8} \Rightarrow R' \Rightarrow \frac{R}{8} \Rightarrow \frac{R'}{R} = \frac{1}{8}$

Esse é um bom exemplo para ilustrar o conceito de relação inversamente proporcional entre grandezas, pois é assim que a resistência elétrica depende da área.

Aproveite também para fazer uma analogia da segunda lei de Ohm com uma mangueira de água: quanto maior o diâmetro dela, menor é a resistência que oferece à passagem de água, o que é similar a redução da resistência à corrente elétrica conforme se aumenta a área de um resistor.

3. A potência elétrica relaciona-se com a intensidade de corrente elétrica nesta expressão: $P = i \cdot U$

Substituindo os valores fornecidos, obtemos:

$15 = 127 \cdot i \Rightarrow i \cong 0{,}12 \therefore i \cong 0{,}12$ A

Pergunte aos estudantes se já perceberam que alguns eletrodomésticos têm fios com maior diâmetro do que outros. Questione-os se sabem justificar por que são produzidos assim. Isso ocorre porque, considerando que a tensão em uma residência é constante, temos, como resultado da expressão anterior, que os equipamentos que consomem maior potência são automaticamente alimentados por correntes elétricas mais intensas. Assim, esses aparelhos necessitam de fios de maior calibre para reduzir a resistência do fio e evitar que ele se aqueça demais e gere um acidente.

6. a) Para determinar a energia consumida, em kWh, os estudantes precisam estar atentos às unidades. A potência do chuveiro é 3,2 kW, e o tempo de uso, por dia, é de 0,5 h.

$E = P \cdot \Delta t \Rightarrow E = 3{,}2 \cdot 0{,}5 = 1{,}6$ kWh

b) Para o consumo em um mês (30 dias), basta multiplicar o resultado do item **a** por 30: $E = 1{,}6 \cdot 30 = 48$ kWh

7. a) A resistência equivalente no caso de cinco resistores iguais em paralelo equivale a um quinto da resistência individual:

$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{5}{R} \Rightarrow$

$\Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{5} \Rightarrow R_{eq} = \frac{1}{5} \Rightarrow R_{eq} = 0{,}2\ \Omega$

b) A corrente total do circuito é igual a:

$U_{máx} = R_{eq} \cdot i_{máx} = 0{,}2 \cdot 15 = 3 \Rightarrow U = 3$ V

Portanto, a máxima tensão será 3 V, para que a corrente total nessa associação não ultrapasse 15 A.

Práticas de Ciências – Associação de resistores (página 285)

3. d) Ao desconectar uma lâmpada da associação em série, a corrente elétrica é interrompida em todo o circuito, como se tivesse desligado o interruptor; já na associação em paralelo, o desligamento de uma das lâmpadas não interfere na corrente das demais, pois a corrente se divide nos nós do circuito, e a lâmpada que permanece no circuito continua submetida à mesma diferença de potencial que na situação anterior, de tal forma que sua potência de operação e, portanto, seu brilho não são alterados.

Questione os estudantes: "Em que situação as ligações em paralelo são mais apropriadas que as em série? Por quê?". Proponha a mesma discussão para as ligações em série. Os estudantes devem concluir que as ligações mistas são muito mais apropriadas para as residências, pois ambas têm sua importância. Um fusível, por exemplo, é ligado em série para proteger os aparelhos da casa; e as ligações em paralelo permitem ligar e desligar um dispositivo elétrico sem alterar o funcionamento dos outros.

Roteiro (página 289)

9. Em primeiro lugar, é necessário calcular a corrente do circuito. Da relação obtida entre a combinação da equação do gerador com a lei de Ohm, $\varepsilon = i \cdot (R + r)$, a corrente é calculada por: $i = \frac{\varepsilon}{R + r} = \Rightarrow i = \frac{12}{10 + 1{,}5} \therefore i = \frac{12}{11{,}5}$ A

a) A potência elétrica total é:

$P_t = \varepsilon \cdot i \Rightarrow P_t = 12 \cdot \frac{12}{11{,}5} \Rightarrow P_t = \frac{144}{11{,}5} \therefore P_t \cong 12{,}52$ W

b) A potência útil é: $P_{útil} = U \cdot i$. Como $U = (\varepsilon - r \cdot i)$, temos: $P_{útil} = (\varepsilon - r \cdot i) \cdot i \Rightarrow P_{útil} = \varepsilon \cdot i - r \cdot i^2$

Substituindo os valores fornecidos na expressão anterior:

$P_{útil} = 12 \cdot \frac{12}{11{,}5} - 1{,}5 \cdot \left(\frac{12}{11{,}5}\right)^2 \Rightarrow P_{útil} = \frac{144}{11{,}5} - 1{,}5 \cdot \frac{144}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{útil} = \frac{144 \cdot 11{,}5 - 1{,}5 \cdot 144}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{útil} = \frac{144 \cdot (11{,}5 - 1{,}5)}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{útil} = \frac{144 \cdot 10}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{útil} = \frac{1440}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{útil} \cong 10{,}89$ W

c) A potência dissipada é a potência dissipada no resistor do gerador, ou seja: $P_{dissipada} = r \cdot i^2 \Rightarrow P_{dissipada} = 1{,}5 \cdot \left(\frac{12}{11{,}5}\right)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{dissipada} = 1{,}5 \cdot \frac{144}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{dissipada} = \frac{216}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{dissipada} \cong 1{,}63$ W

Informe aos estudantes que uma outra maneira de calcular a potência dissipada de posse das potências total e útil é esta: $P_{dissipada} = P_t - P_{útil} \Rightarrow P_{dissipada} = \frac{144}{11{,}5} - \frac{1440}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{dissipada} = \frac{144}{11{,}5} - \frac{1440}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{dissipada} = \frac{11{,}5 \cdot 144}{(11{,}5)^2} - \frac{1440}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{dissipada} = \frac{1656 - 1440}{(11{,}5)^2} \Rightarrow P_{dissipada} = \frac{216}{(11{,}5)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow P_{dissipada} \cong 1{,}63$ W

Isso ocorre porque $P_t = P_{útil} + P_{dissipada}$

d) O rendimento do gerador elétrico é dado por:

$\eta = \frac{P_{útil}}{P_t} = \frac{1440}{(11{,}5)^2} \cdot \frac{11{,}5}{144} \Rightarrow \eta = \frac{10}{11{,}5} \Rightarrow \eta \cong 0{,}87$

Isto é, o rendimento desse gerador é de cerca de 87%. O mesmo valor poderia ter sido obtido por:

$\eta = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon - r \cdot i}{\varepsilon} \Rightarrow \eta = \frac{12 - 1{,}5 \cdot \frac{12}{11{,}5}}{12} \Rightarrow$

$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{1{,}5}{11{,}5} \Rightarrow \eta = \frac{11{,}5 - 1{,}5}{11{,}5} \Rightarrow \eta = \frac{10}{11{,}5} \Rightarrow \eta \cong 0{,}87$

Sugira aos estudantes uma pesquisa sobre o rendimento de máquinas térmicas ou de um motor de automóvel, para que adquiram uma noção relativa desses valores.

Atividades (páginas 294 e 295)

1. Pergunte aos estudantes o que pensam sobre a dependência da resistência elétrica com a temperatura do resistor. Uma analogia para ilustrar essa relação é a situação em que uma pessoa se encontra em um local lotado de gente agitada, como em um *show* de *rock*. A pessoa, desejando

deslocar-se e sair do *show*, por exemplo, faz o papel do elétron da corrente, e aqueles que estão dançando são as moléculas da resistência. Assim, no momento em que há euforia, é difícil alguém se deslocar. Por outro lado, se o *show* acabar e as pessoas se acalmarem, o deslocamento será mais fácil. A atividade resolvida promove a competência geral **CGEB4**.

2. A primeira lei de Ohm é: $U = R \cdot i$. Sabendo que: $G = \frac{1}{R}$, temos, $R = \frac{1}{G}$, que, substituindo na primeira lei de Ohm:

$U = \frac{1}{G} \cdot i \Rightarrow U = \frac{i}{G}$

A segunda lei de Ohm é: $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$. Substituindo a resistência $R = \frac{1}{G}$ e a resistividade $\rho = \frac{1}{\sigma}$ na segunda lei de Ohm, temos:

$\frac{1}{G} = \frac{L}{A \cdot \sigma} \Rightarrow G = \frac{A \cdot \sigma}{L}$

3. A potência elétrica é dada por: $P = i \cdot U \Rightarrow P = 2{,}5 \cdot 500 \Rightarrow$ $\Rightarrow P = 1\,250$ W.

Pergunte aos estudantes se eles conhecem algum aparelho cuja tensão de funcionamento seja diferente de 110 V e 220 V, que nos são mais familiares. Aproveite para falar dos transformadores de voltagem tão utilizados em carregadores de baterias de aparelhos como celulares ou computadores.

4. Sabemos que $P = i \cdot U \Rightarrow i = \frac{P}{U}$. Considere $U_A = 127$ V e $U_B = 250$ *V*. Então, a razão entre i_A e i_B é:

$$\frac{i_A}{i_B} = \frac{\frac{P}{U_A}}{\frac{P}{U_B}} \Rightarrow \frac{i_A}{i_B} = \frac{U_B}{U_A} \Rightarrow \frac{i_A}{i_B} = \frac{250}{127} \Rightarrow \frac{i_A}{i_B} = 1{,}97$$

Ou seja, a corrente que percorre o aparelho que foi ligado à rede de 127 V é quase duas vezes maior que a corrente que percorre o aparelho ligado à rede de 250 V. Esse exercício mostra que, quando a potência é constante, quanto maior é a tensão, menor é a corrente elétrica que percorre o circuito.

5. A corrente nominal pode ser obtida pela potência nominal:

$P = i \cdot U \Rightarrow 1000 = i \cdot 120 \Rightarrow i = \frac{1000}{120}\text{ A} \Rightarrow i = \frac{25}{3}\text{ A}$

A corrente máxima que ele pode suportar é:

$i_{max} = 2{,}5 \cdot \frac{25}{3} \Rightarrow i_{max} = \frac{62{,}5}{3}\text{ A} \Rightarrow i_{max} \geqslant 20{,}8\text{ A}$

Assim, a potência máxima que ele pode desenvolver com essa corrente é:

$P_{max} = i_{max} \cdot U \Rightarrow P_{max} = \frac{62{,}5}{3} \cdot 120 \Rightarrow P_{max} = 2\,500$ W

Aproveite a oportunidade para comentar sobre a função dos fusíveis: eles foram desenvolvidos para queimar quando uma corrente de intensidade maior ou igual a um determinado valor atravessá-los. Dessa maneira, eles protegem os equipamentos, pois impedem que picos de corrente elétrica, provenientes de oscilações da rede (muitas vezes provocados por raios), atinjam tais equipamentos.

6. A intensidade da corrente que percorre o chuveiro é dada pela primeira lei de Ohm: $U = R \cdot i \Rightarrow 220 = 20 \cdot i \Rightarrow i = 11$ A

Assim, a potência dissipada por essa corrente pode ser calculada por: $P = R \cdot i^2 \Rightarrow P = 20 \cdot 121 \Rightarrow P = 2\,420$ W

Comente que esse exercício também pode ser resolvido diretamente pela expressão $P = \frac{U^2}{R}$, deduzindo-a a partir da combinação da primeira lei de Ohm com a expressão da potência $P = U \cdot i$.

8. a) A resistência original pode ser calculada por:

$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow 4\,400 = \frac{220^2}{R} \Rightarrow R = 11\ \Omega$

b) Para manter a mesma potência mudando a tensão, a nova resistência deve ser:

$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow 4\,400 = \frac{110^2}{R} \Rightarrow R = 2{,}75\ \Omega$

Note como o valor da nova resistência utilizada para garantir a mesma potência é significativamente menor que a resistência da situação anterior, em que a voltagem era maior.

9. A resistência equivalente das lâmpadas é dada por:

$R_{eq} = 3 \cdot R \Rightarrow R_{eq} = 3 \cdot 40 \Rightarrow R_{eq} = 120\ \Omega$

Com isso, podemos obter a diferença de potencial:

$U = R_{eq} \cdot i \Rightarrow U = 120 \cdot 1 \Rightarrow U = 120$ V

Pergunte aos estudantes se eles sabem onde se aplica um conjunto de lâmpadas ligadas em série. O relógio de luz da caixa de entrada, por exemplo, é ligado em série com cada fase de instalação residencial. Outro exemplo que é usado em série são os fusíveis, ou disjuntores, que servem para proteger os aparelhos elétricos de uma descarga elétrica acima do normal, diminuindo o prejuízo.

11. Na associação em paralelo de geradores, a corrente total é a soma das correntes individuais. Assim, temos:

$U = R \cdot i \Rightarrow \varepsilon - r \cdot \frac{i}{3} = R \cdot i \Rightarrow 24 - \frac{0{,}2}{3} \cdot i = 10 \cdot i \Rightarrow i = 2{,}38$ A

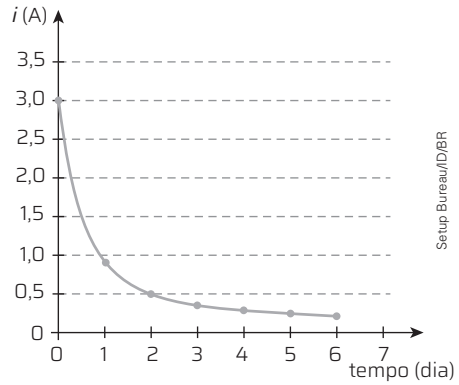
Como a associação é em paralelo, a corrente em cada gerador será um terço da corrente total: $\frac{i}{3} = 0{,}79$ A

Verifique se a turma conhece situações em que se associam geradores. Um exemplo é a associação em série de pilhas e baterias.

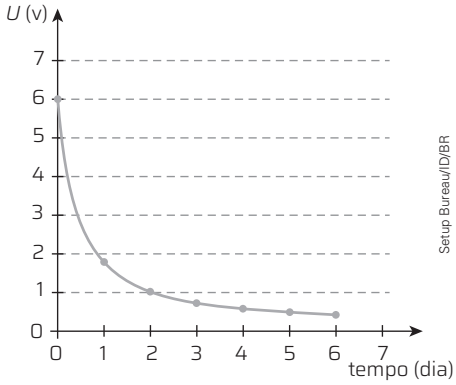
12. b) Podemos calcular a corrente em função da ddp ao longo do tempo sabendo que $i(t) = \frac{\varepsilon}{R + r(t)}$. Pela leitura direta do gráfico, percebemos que a dependência da resistência interna do gerador com o tempo é linear e dada pela expressão: $r(t) = 5 \cdot t$. Substituindo $r(t) = 5 \cdot t$ e os dados fornecidos pelo enunciado na expressão para a corrente, obtemos:

$$i(t) = \frac{6}{2 + 5 \cdot t}$$

Assim a corrente diminui conforme aumenta a resistência interna. A seguir, o esboço desse gráfico:



c) Se a corrente vai diminuindo, a ddp também diminui na mesma proporção. Ou seja, o gráfico será da função $U = \frac{R\varepsilon}{R + r(t)} = \frac{12}{2 + 5 \cdot t}$.



Pergunte aos estudantes se, na prática, é de se esperar que ocorra algum aumento da resistência interna de uma bateria com o tempo de operação. A resposta é afirmativa, pois resistores reais não são ôhmicos e, considerando o que foi observado no primeiro exercício, a resistência aumenta com a elevação da temperatura, e esta, por sua vez, aumenta com o tempo de funcionamento devido ao efeito Joule. Entretanto, em algum momento, o equilíbrio térmico será atingido.

13. $U = R \cdot i \Rightarrow R = \frac{U}{i} \Rightarrow$

$\Rightarrow R = \frac{0{,}5}{1{,}0} = 0{,}5\ \Omega$ e $R = \frac{0{,}01}{0{,}01} = 1{,}0\ \Omega$

14. a) A potência representa o consumo de energia elétrica pelo tempo. Assim: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{360}{5} \Rightarrow P = 72$ W

b) A partir da potência total, podemos calcular a ddp nos terminais do motor pela equação:

$P = i \cdot U \Rightarrow 72 = 3 \cdot U \Rightarrow U = 24$ V

c) A partir da potência e da ddp, calcula-se o valor de r:

$P = \frac{U^2}{r} \Rightarrow 72 = \frac{24^2}{r} \Rightarrow r = 8\ \Omega$

15. a) Na situação inicial, temos uma corrente i_0 dada pela primeira lei de Ohm: $V = R \cdot i_0 \Rightarrow i_0 = \frac{V}{R_0}$

Se a resistência cair pela metade ($R_1 = R_0/2$), como a tensão permanece a mesma, temos a nova corrente i_1:

$i_1 = \frac{V}{R_1} \Rightarrow i_1 = \frac{V}{R_0/2} \Rightarrow i_1 = \frac{2 \cdot V}{R_0} \Rightarrow i_1 = 2 \cdot \frac{V}{R_0} \Rightarrow i_1 = 2 \cdot i_0$

Logo, em um circuito simples, quando a resistência cair pela metade e a tensão permanecer constante, a intensidade da corrente será dobrada.

b) Agora, se a resistência for dobrada ($R_2 = 2 \cdot R_0$), a intensidade da corrente i_2 será:

$i_2 = \frac{V}{R_2} \Rightarrow i_2 = \frac{V}{2 \cdot R_0} \Rightarrow i_2 = \frac{1}{2}\frac{V}{R_0} \Rightarrow i_2 = \frac{1}{2} i_0 \Rightarrow i_2 = \frac{i_0}{2}$

Logo, em um circuito simples, quando a resistência for dobrada e a diferença de potencial mantiver-se constante, a corrente cairá pela metade. Observe que não foi necessário utilizar o valor do resistor pois esse fato não depende dele.

16. a) A potência elétrica é dada por: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$. Se o chuveiro consome 22,5 kWh/mês, o consumo por dia é 0,75 kWh. E o tempo que esse chuveiro fica ligado é, em média, 15 min/dia, ou 0,25 h/dia. Então: $P = \frac{0{,}75}{0{,}25} \Rightarrow P = 3$ kW $= 3\,000$ W

17. a) $U = \varepsilon = i \cdot r \Rightarrow U = 48 - 3 \cdot 1 = 45$ V

b) $\eta = \frac{U}{\varepsilon} \Rightarrow \eta = \frac{45}{48} \simeq 0{,}94$ ou 94%

c) $P_t = \varepsilon \cdot i \Rightarrow P_t = 48 \cdot 3 = 144$ W

d) $P_{útil} = U \cdot i \Rightarrow P_{útil} = 45 \cdot 3 = 135$ W

e) $P_d = P_t - P_{útil} \Rightarrow P_d = 144 \cdot 135 = 9$ W

f) $R_{ext} = \frac{U}{i} \Rightarrow R_{ext} = \frac{45}{3} = 15\ \Omega$

CAPÍTULO 3 PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (PÁGINA 296)

Transformações de energia (página 296)

- O capítulo trata da aplicação dos fundamentos da teoria eletromagnética na produção e no consumo de energia elétrica, com o estudo do caminho percorrido por essa energia desde as usinas geradoras até seus pontos de uso. E, por ser a energia elétrica (sua produção e seu consumo) uma preocupação mundial, deve-se incentivar debates sobre o tema.

Energia (página 297)

- O conceito de energia é fundamental nas Ciências da Natureza, em especial em Física. Pode-se mesmo dizer que é um dos conceitos centrais nessas áreas, por isso, muitas informações a respeito da energia – como os princípios relativos à sua conservação e transformação – devem ser familiares aos estudantes nesta etapa do Ensino Médio. Ressalte que, na verdade, ainda não existe uma definição satisfatória do que seja energia e que, de maneira geral, o que se estuda são suas manifestações em forma de trabalho.
- No entanto, para transformar determinado tipo de energia em outro, é necessário observar a lei da conservação da energia, que governa todos os fenômenos naturais conhecidos. Essa é uma lei abstrata, expressa por um princípio matemático: a energia total, representada por uma quantidade numérica, mantém-se constante no Universo e parece não se alterar mesmo quando ocorrem transformações.
- O físico estadunidense Richard P. Feynman (1918-1988) – um dos poucos cientistas de renome a afirmar publicamente "É importante perceber que na Física atual, ignoramos o que é energia. [...]" – utilizou uma analogia entre a conservação da energia e o número de cubos que um menino utiliza para brincar. Por isso, seria interessante iniciar o capítulo com a leitura do texto "Conservação da energia", sugerido na seção *Texto complementar* deste capítulo. Nesse sentido, trabalha-se a habilidade **EM13CNT303**.

Usinas hidrelétricas (páginas 298 e 299)

- De maneira geral, os estudantes já estudaram o funcionamento de usinas hidrelétricas em aulas de Ciências do Ensino Fundamental, mas podem desconhecer os demais tipos de usina, principalmente aquelas fundamentadas em fontes alternativas.
- Ao final do estudo deste tópico, os estudantes devem perceber que o fundamento da geração de energia elétrica é o mesmo em qualquer usina. O que muda de uma usina para outra são as fontes de energia primárias para essa geração. Para isso, você pode propor uma estratégia de ensino que os oriente a chegar a essa conclusão. Na seção *Atividade*

complementar do capítulo, há uma proposta de atividade com essa finalidade.

- Aqui, é importante trabalhar os impactos que essas usinas geram, ou seja, levantar suas vantagens e desvantagens, explorando, assim, a habilidade **EM13CNT309**.
- Aproveite o objeto digital *O acesso à eletricidade no Brasil* (p. 298) para explorar a habilidade **EM13CNT310**, propondo uma discussão sobre as necessidades locais e regiões relacionadas ao acesso à energia elétrica.

O caminho da energia: das usinas às residências (páginas 300 e 301)

- Neste tópico, abordam-se como é feita a distribuição de energia elétrica das usinas até as residências e, em seguida, como essa energia chega aos aparelhos elétricos. Todo esse processo envolve algumas transformações nos valores de tensão que diferem quando o destino final são as indústrias. Assim, após as explicações referentes aos conteúdos, solicite aos estudantes que façam uma pesquisa e elaborem um esquema para explicar o caminho da eletricidade até as indústrias. Outra possibilidade é sugerir que montem maquetes usando sucatas e materiais de baixo custo.
- Para fechar o tópico, os estudantes podem retomar o estudo do aquecimento por efeito Joule e resistência elétrica e responder à seguinte pergunta: "Quais são as providências técnicas adotadas para diminuir a perda de energia elétrica nas linhas de transmissão por aquecimento dos cabos?".
- Esse aspecto trabalha, por exemplo, as competências específicas **CECNTEM1** e **CECNTEM3** e as habilidades **EM13CNT102**, **EM13CNT106**, **EM13CNT309** e **EM13CNT310**.

O problema da escassez mundial de energia (páginas 302 e 303)

- Os temas referentes às práticas que devem ser adotadas para economizar energia podem ser listados e debatidos com a turma para que se determine e, quando necessário, se corrija aquilo que os estudantes aprendem fora da escola. Outra possibilidade é verificar as dúvidas que eles possam ter a respeito das medidas de economia de energia elétrica e solicitar uma entrevista com um engenheiro.
- Essa é uma oportunidade para trabalhar as competências gerais **CGEB2** e **CGEB7** e a habilidade **EM13CNT309**, com foco no uso consciente de energia elétrica, enfatizando que todos nós, como cidadãos, devemos ter responsabilidade socioambiental.

Ciência tem história – Urbanização, energia e eletricidade (páginas 304 e 305)

- Conceitue a urbanização como o processo social de ocupação do solo predominante no mundo moderno; diferencie as principais etapas do processo de urbanização das populações, analisando as causas e as consequências desses processos.
- Aproveite a seção para trabalhar com os estudantes a habilidade de interpretação e análise de dados no gráfico.
- Relacione processos de urbanização com desenvolvimento científico e tecnológico e identifique o conhecimento científico como força motora da história, capaz de alterar seu rumo e ser alterado por ela, promovendo a competência **CGEB1** e as habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT309** e **EM13CNT310**.

Práticas de Ciências – Construindo um minigerador eólico (página 306)

- A seção promove nos estudantes a competência **CGEB2** e a habilidade **EM13CNT307**, ao exercitar a curiosidade intelectual, recorrendo à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, além de levá-los a analisar e refletir sobre os usos e as propriedades dos materiais em prol do desenvolvimento sustentável trabalhando o tema contemporâneo transversal **Educação ambiental**, da área Meio ambiente.
- Espera-se que os estudantes tenham autonomia e trabalhem em cooperação para o desenvolvimento e a montagem do equipamento experimental. Porém, caso observe alguma dificuldade, auxilie-os, pois a montagem correta é primordial para a obtenção dos resultados esperados. É possível substituir as hélices de plástico por hélices de metal.
- Aproveite para enfatizar a importância do investimento em tecnologias voltadas à produção de fontes de energia mais limpas e renováveis, como a energia eólica.

FONTES COMPLEMENTARES

- Teixeira, J. N.; Muramatsu, M.; Alves, L. A. Um modelo de usina hidrelétrica como ferramenta no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [*S.l.*], v. 34, n. 1, p. 248-264, abr. 2017.

  Discussões sobre a produção de energia limpa e sustentável são comuns nas escolas de ensino básico do país no atual contexto de busca de sustentabilidade e de uso consciente de energia elétrica, de preocupações com quedas no suprimento de energia e de manifestações ambientais contra a construção de usinas cujo impacto ambiental é iminente. Esse artigo engloba esses e outros aspectos do tema.

- Walisiewicz, M. *Energia alternativa*: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. São Paulo: Publifolha, 2008.

  O autor apresenta as principais formas de energia alternativa utilizadas no Brasil e trata de aspectos políticos, econômicos e ambientais que envolvem as questões energéticas mundiais. O livro traz resultados de pesquisas recentes sobre o uso de biocombustíveis e sobre a produção de energia a partir das marés, do vento, da luz solar e de outras fontes renováveis.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Estudo de tipos de usina geradora de energia elétrica

Apresente aos estudantes os tipos de usina geradora de energia elétrica indicados no Livro do Estudante e organize um debate para classificar essas fontes de energia em renováveis e não renováveis. Os próprios estudantes devem estabelecer os critérios de classificação com base nesse debate.

Depois, organize a turma em grupos, e peça a cada grupo que pesquise mais a fundo um tipo de usina e, em um texto explicativo, apresente: como funciona a fonte de energia primária; as funções da turbina, do gerador, do transformador e das linhas de transmissão; as principais vantagens e desvantagens desse tipo de usina, segundo os critérios de classificação definidos previamente; os principais países que utilizam esse tipo de usina.

Para socializar as informações, organize a leitura dos textos produzidos, orientando os estudantes a identificar, nesses textos, os elementos e as etapas comuns de funcionamento das usinas.

TEXTO COMPLEMENTAR

Analogia sobre a conservação da energia

Para explicar a lei da conservação da energia com um exemplo mais concreto, o físico estadunidense Feynman utilizou uma analogia entre essa lei e a manutenção do número de cubos com que um menino brinca. Avalie se é possível selecionar trechos desse texto para trabalhá-los em sala de aula.

Conservação da energia

[...] Imagine uma criança, talvez "Dênis, o Pimentinha", que possui cubos absolutamente indestrutíveis e que não podem ser divididos em pedaços. Todos são idênticos. Suponhamos que possui 28 cubos. Sua mãe o coloca com seus 28 cubos em um quarto no início do dia. No final do dia, sendo curiosa, ela conta os cubos com cuidado e descobre uma lei fenomenal – não importa o que ele faça com os cubos, restam sempre 28! Isto prossegue por vários dias, até que um belo dia só há 27 cubos, mas uma pequena investigação mostra que um deles foi parar debaixo do tapete – ela tem de procurar por toda parte para se assegurar de que o número de cubos não mudou. Um dia, porém, o número parece mudar – só há 26 cubos. Uma investigação cuidadosa indica que a janela foi aberta e, após uma procura lá fora, os outros dois cubos são encontrados. Outro dia, uma contagem cuidadosa indica que há trinta cubos! Isto causa uma consternação considerável, até que se descobre que Bruce fez uma visita, trazendo consigo seus cubos, e deixou alguns na casa de Dênis. Depois de se desfazer dos cubos extras, a mãe fecha a janela, não deixa Bruce entrar e, então, tudo vai às mil maravilhas, até que um dia ela conta os cubos e só encontra 25. Entretanto, há uma caixa no quarto, uma caixa de brinquedos, e, quando a mãe tenta abri-la, o menino protesta: "Não, não abra minha caixa de brinquedos". A mãe não pode abrir a caixa de brinquedos. Sendo extremamente curiosa e um tanto engenhosa, ela inventa um truque! Ela sabe que um cubo pesa 84 gramas; assim, pesa a caixa certa vez em que vê 28 cubos e descobre que seu peso são 448 gramas. Da próxima vez em que quer verificar o número de cubos, pesa a caixa de novo, subtrai 448 gramas e divide o resultado por 84. Descobre o seguinte:

$$(\text{número de cubos vistos}) + \frac{(\text{peso da caixa}) - 448 \text{ gramas}}{84 \text{ gramas}} = \text{constante} \quad (4.1)$$

Passado algum tempo, parece haver novo desvio, mas um exame cuidadoso indica que a água suja na banheira está mudando de nível. O menino está jogando cubos na água e ela não consegue vê-los devido à sujeira, mas consegue descobrir quantos cubos há na água acrescentando outro termo à fórmula. Como a altura original da água era de 15 centímetros e cada cubo eleva a água meio centímetro, a nova fórmula seria:

$$(\text{número de cubos vistos}) + \frac{(\text{peso da caixa}) - 448 \text{ gramas}}{84 \text{ gramas}} + \frac{(\text{altura da água}) - 15 \text{ centímetros}}{0{,}5 \text{ centímetro}} = \text{constante} \quad (4.2)$$

Com o aumento gradual da complexidade de seu mundo, ela descobre toda uma série de termos representando meios de calcular quantos cubos estão em lugares onde ela não pode olhar. Como resultado, encontra uma fórmula complexa, uma quantidade que tem de ser calculada e que sempre permanece idêntica em sua situação.

Qual a analogia deste quadro com a conservação da energia? O aspecto notável a ser abstraído é que não há cubos. Se retirarmos os primeiros termos de (4.1) e (4.2), estaremos calculando coisas mais ou menos abstratas. A analogia tem os seguintes pontos. Primeiro, quando calculamos a energia, às vezes parte dela deixa o sistema e vai embora ou, outras vezes, alguma entra no sistema. Para verificar a conservação da energia, é preciso ter cuidado para não colocar ou retirar energia. Segundo, a energia tem um grande número de formas diferentes, e há uma fórmula para cada uma. Elas são: energia gravitacional, energia cinética, energia térmica, energia elástica, energia elétrica, energia química, energia radiante, energia nuclear, energia da massa. Se totalizarmos as fórmulas para cada uma dessas contribuições, ela não mudará, exceto quanto à energia que entra e sai.

É importante perceber que, na física atual, ignoramos o que é energia. Não temos um quadro de que a energia vem em pequenas gotas de magnitude definida. Não é assim. Porém, há fórmulas para calcular certa quantidade numérica e, ao somarmos tudo, o resultado é "28" – sempre o mesmo número. É algo abstrato por não nos informar o mecanismo ou as razões das diferentes fórmulas.

Feynman, R. P. *Física em seis lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001. p. 116-118.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- A seção *Prática de Ciências* é oportuna, pois permite avaliar tanto os conteúdos conceituais trabalhados no capítulo quanto as competências e habilidades, portanto, observe o envolvimento e a participação dos estudantes. Se perceber dificuldades, aproveite o momento e esclareça as dúvidas.
- Se julgar pertinente, oriente os estudantes na realização das atividades e dos roteiros de forma assíncrona e em duplas. Solicite a entrega das atividades e utilize-as como forma de avaliação formativa. O trabalho em duplas ou trios, além de promover a aprendizagem colaborativa, fomenta o engajamento dos estudantes.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 302)

2. A porcentagem da radiação solar incidente que é efetivamente convertida em eletricidade é 15%, ou seja:

$I_{ef} = 0{,}15 \cdot I_{total} \Rightarrow I_{ef} = 0{,}15 \cdot 1\,000 \text{ W/m}^2 = 150 \text{ W/m}^2$

Então, tem-se: $I_{ef} = \frac{P}{A} \Rightarrow 150 = \frac{4\,000}{A} \Rightarrow A = \frac{4\,000}{150} = 26{,}7 \text{ m}^2$

Essa área cobriria todo o telhado da casa, considerando uma área aproximada de 5 m × 5 m, e funcionaria somente para alimentar o chuveiro. Dado que o funcionamento das fotocélulas não ocorre à noite e é pouco eficiente em dias de baixa luminosidade, o projeto não é energeticamente viável. Além disso, o custo de fabricação desses painéis é elevado.

Atividades (páginas 307 a 309)

1. A atividade resolvida promove a competência geral **CGEB4**.

2. Resposta pessoal. Para estimular a curiosidade dos estudantes, pergunte a eles, por exemplo, se já ouviram ou leram anúncios de produtos em que o termo "energia" é usado. Espera-se que os estudantes mencionem a energia potencial, ressalvando que tanto a energia potencial gravitacional como a potencial elástica e a elétrica estão relacionadas à ação de maneira

indireta, pois indicam a possibilidade de ocorrer a ação, mas não participam da ação propriamente dita.

5. a) O consumo de eletricidade de um aparelho pode ser obtido pelo produto entre sua potência e o tempo de uso durante o mês.

Aparelho	Potência (W)	Tempo	Tempo mensal (h)	Consumo mensal (*E* = *Potência* × *tempo mensal*)
geladeira	250	24 h/dia	720	180 kWh
chuveiro	4 400	0,5 h/dia	15	66 kWh
televisor	150	4 h/dia	120	18 kWh
máquina de lavar	1 500	4 h/semana	16	24 kWh
5 lâmpadas	60 · 5 = = 300	6 h/dia	180	54 kWh

O consumo mensal total será:

$E_{total} = 180 + 66 + 18 + 24 + 54 = 342$ kWh

b)

Aparelho	Potência (W)
televisor	150
geladeira	250
5 lâmpadas	60 · 5 = 300
máquina de lavar	1 500
chuveiro	4 400

c)

Aparelho	Consumo mensal (*E* = *Potência* × *tempo mensal*)
televisor	18 kWh
máquina de lavar	24 kWh
5 lâmpadas	54 kWh
chuveiro	66 kWh
geladeira	180 kWh

d) A potência do aparelho e o tempo de uso mensal.

8. A perda de energia será 2,5% da potência total produzida:

$P_{perdida} = 400 \cdot 10^6 \cdot 2{,}5\,\% = 1 \cdot 10^7$ W = 10 MW

Dos 400 MW produzidos, 107 W são perdidos por efeito Joule nas linhas de transmissão.

9. Primeira linha, da esquerda para a direita: Foto **1**: A energia associada é a solar fotovoltaica. As placas fotovoltaicas são constituídas de células de silício. Esse material é combinado com os elementos boro e fósforo, de tal forma que ao incidir a luz do Sol sobre uma célula fotovoltaica ocorre uma reação que gera energia elétrica. Foto **2**: A energia associada é a térmica, pois as placas solares captam a energia luminosa do Sol e aquecem a água presente nas caixas-d'água das residências. Foto **3**: A energia associada é a térmica proveniente da combustão da biomassa, obtida da combustão de material orgânico, como o bagaço da cana-de-açúcar, processo realizado nas usinas. O vapor produzido nessa combustão rotaciona uma turbina que é ligada a um gerador, de forma a produzir energia elétrica.

Segunda linha, da esquerda para a direita: Foto **4**: A energia associada é a energia elétrica. No Brasil, a maior parte dessa energia é gerada por hidrelétricas. Para isso, a água presente nos barramentos dos rios cai de forma a colocar em rotação as turbinas, que, ligadas a geradores, produzem energia elétrica. Foto **5**: A energia associada é a eólica. O vento faz girar as hélices, que, conectadas a geradores, produzem energia elétrica. Foto **6**: A energia associada é a nuclear. A reação de materiais radioativos produz energia térmica. Assim, uma grande quantidade de água é aquecida e o vapor resultante desse processo é utilizado para rotacionar a turbina, que, ligada a um gerador, fornece a energia elétrica. O material mais utilizado no processo radioativo é o urânio.

CAPÍTULO 4 MAGNETISMO E INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

(PÁGINA 310)

- Campo magnético e força magnética são conceitos centrais da Física e essenciais para as pesquisas científicas que têm como resultado avanços tecnológicos na produção e na utilização de energia elétrica. É importante que, neste capítulo, esses conceitos sejam trabalhados fazendo-se um paralelo com os conceitos elétricos correspondentes, ressaltando a relação entre eles (princípios da eletricidade e princípios do magnetismo) e as possibilidades de aplicação tecnológica desse conhecimento.

Campo magnético e Campo magnético de correntes elétricas em fios retilíneos

(páginas 311 e 312)

- Comente com os estudantes que ao se descobrir a interação entre a bússola e o campo magnético da Terra, houve a necessidade de uma representação que indicasse a alteração espacial provocada ao redor dos geradores do campo magnético, quer fosse a Terra, quer fosse um ímã ou, ainda, um campo magnético criado por corrente elétrica em um condutor. Essa situação, descoberta pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), no século XIX, relacionou fenômenos elétricos e magnéticos. Essa abordagem trabalha as competências gerais **CGEB1** e **CGEB2**.
- Diferentemente das linhas do campo elétrico, o campo magnético é representado por linhas fechadas que começam em um dos polos – por convenção, no polo norte, do gerador do campo (um ímã ou a Terra) – e terminam no outro polo – o sul.
- Pode-se demonstrar aos estudantes o que está representado nas imagens, espalhando-se limalha de ferro sobre uma folha de papel e posicionando um ímã embaixo da folha.
- A interação entre bússola e campo magnético terrestre é facilmente percebida pela observação desse instrumento, e a interação entre corrente elétrica e bússola pode ser apresentada em uma atividade demonstrativa no laboratório. Se possível, desenvolva com a turma a seguinte atividade: organize os estudantes em duplas; distribua uma bússola, um pedaço de fio e uma pilha pequena a cada dupla e peça que verifiquem como ocorre a interação entre a corrente elétrica e o campo magnético da bússola. Devem ser verificadas as interações com as seguintes configurações: fio condutor retilíneo; fio condutor em formato de espira circular; fio enrolado em várias espiras circulares (chamadas solenoide). Como as linhas de indução magnética dependem, entre outros fatores, do formato do condutor, haverá uma expressão matemática para calcular o módulo do vetor indução magnética de cada uma dessas configurações do fio. Essa atividade permite trabalhar as competências gerais **CGEB2** e **CGEB4**.
- Aproveite o objeto digital *Magnetorrecepção* para explorar como alguns animais utilizam o campo magnético da Terra para se orientar. No vídeo, são apresentadas duas hipóteses científicas: a do sensor químico e a do sensor mecânico. O tema será retomado no boxe *Roteiro* (p. 312), com o texto "Comportamento [das tartarugas marinhas]".

Força magnética (páginas 313 e 315)

- Reforce a informação de que a força magnética é resultado de uma ação a distância mediada pelo campo magnético. Esse campo é gerado por um corpo com propriedades magnéticas que, ao interagir com outro corpo com as mesmas propriedades, fica sob a ação de uma força magnética. O segundo corpo sobre o qual essa força age pode ser uma partícula carregada, que se movimenta na região do campo magnético, ou um fio condutor percorrido por corrente elétrica. Mas pode ocorrer interação também entre dois fios paralelos, percorridos por correntes; nesse caso, haverá atração ou repulsão, dependendo do sentido das correntes.
- O texto "Determinação da direção e do sentido da força magnética", do boxe *Ampliação,* trabalha a competência **CGEB4**.
- Os motores elétricos funcionam pelo seguinte princípio: a rotação de uma espira pela ação da força magnética que atua quando a espira é introduzida em um campo magnético.
- Sugerimos realizar a leitura e atividade proposta no boxe *Física e Química (*p. 315) para mostrar como a força elétrica pode ser utilizada para medir a massa de partículas.

A descoberta da indução eletromagnética (página 316)

- A apresentação dos experimentos de Faraday ajuda a introduzir o tema e a localizar no tempo a descoberta da indução eletromagnética, além de evidenciar a necessária transição do campo magnético para o surgimento de uma corrente induzida em um fio condutor. Este tópico promove tanto a competência geral **CGEB1** quanto a habilidade **EM13CNT107**.

Fluxo magnético (páginas 317 a 320)

- Antes de desenvolver a ideia de fluxo magnético, avalie a possibilidade de solicitar aos estudantes que citem exemplos de fluxos que eles conheçam: fluxo do trânsito, fluxo de água nas torneiras, fluxo sanguíneo, entre outros. Solicite-lhes também que expliquem o que precisa ser considerado para avaliar se um fluxo é, ou não, intenso e como ele varia.
- A geração de corrente elétrica induzida talvez seja um dos fenômenos físicos mais difíceis para os estudantes compreenderem, por exigir abstração para entender o aumento e a diminuição da quantidade de linhas de indução que atravessam a espira durante a movimentação do ímã – e é justamente essa variação que é necessária para gerar a corrente induzida na espira.
- Por isso, para facilitar a visualização do fenômeno da indução, se possível, apresente aos estudantes o simulador disponível em: https://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/faraday2/ (acesso em: 21 out. 2024).
- É importante que os estudantes percebam que a força eletromotriz induzida surge quando a corrente elétrica induzida é gerada e causa efeitos nas cargas presentes no condutor, deslocando-as enquanto houver movimento.
- Por fim, lembre os estudantes de que onde há corrente elétrica, há carga e também campo elétrico. Portanto, a variação no fluxo magnético gera campo elétrico, e vice-versa.

Práticas de Ciências – Freio eletromagnético (página 321)

- Esta seção auxilia no desenvolvimento das competências gerais **CGEB2** e **CGEB4** e da habilidade **EM13CNT308**, pois permite compreender e observar a indução eletromagnética; explicar o funcionamento de um freio magnético; analisar o movimento de um corpo e identificá-lo como uniforme, acelerado ou retardado; descrever os efeitos do movimento de um corpo magnetizado (ímã) sobre um condutor próximo a ele; selecionar os materiais necessários para a realização de experimentos; relacionar os conhecimentos adquiridos em aula com o cotidiano.

As ondas eletromagnéticas (página 322)

- As ondas eletromagnéticas são constituídas por campos elétricos e magnéticos que transportam energia ao se propagar, até mesmo no vácuo. Portanto, essas ondas podem ser consideradas objetos de estudo do eletromagnetismo, cujos fundamentos foram estabelecidos com as equações de Maxwell, no século XIX.
- Esses dois campos (elétrico e magnético), ao se propagarem, geram perturbações chamadas ondas eletromagnéticas, pois apresentam reflexão, refração, difração e interferência, fenômenos característicos de ondas. E, também por isso, apresentam comprimentos de onda e frequências característicos de cada tipo de onda eletromagnética (embora todas se propaguem com a velocidade da luz). Daí a ideia de que a luz é uma onda eletromagnética.
- Aproveite o boxe *Ciência se discute* para propor que os estudantes reflitam o impacto das tecnologias de comunicação na sociedade e na sua vida pessoal, como as redes sociais.

O espectro eletromagnético (páginas 323 e 324)

- No espectro eletromagnético, as ondas apresentam-se na seguinte ordem crescente de frequência: ondas de rádio e TV, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.
- Para abordar essas radiações, você pode organizar um seminário e a produção de um painel-síntese coletivo.
- Este tópico auxilia no desenvolvimento da habilidade **EM13CNT103**, pois trabalha aspectos da radiação eletromagnética e do espectro eletromagnético.
- Apresente aos estudantes essas radiações, suas características, seus usos e riscos. É importante ressaltar que existem aplicações diversas para os diferentes tipos de radiação, mas que cuidados extremos devem ser tomados.

Computadores e Tecnologia da Informação (TI) (página 325)

- Este tópico auxilia no desenvolvimento das competências específicas **CECNTEM1** e **CECNTEM3** e das habilidades **EM13CNT107**, **EM13CNT306** e **EM13CNT308**, ao abordar as principais características da revolução que as tecnologias digitais têm causado na sociedade moderna, explorando também o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.
- Na atividade do boxe *Roteiro* sugerimos que os estudantes pesquisem sobre tecnologiais atuais, que estão presentes no cotidiano, como a geolocalização e o geoprocessamento.
- Novos tipos de ocupação têm surgido, na atualidade, com o avanço das tecnologias em geral e da automação. Por isso, é importante apresentar aos estudantes essas mudanças recentes e discuti-las com eles.
- Aproveite para abordar a inteligência artificial (IA) com os estudantes. Trata-se de uma área que vem apresentando crescimento significativo nos últimos anos, influenciando atividades diárias e gerando novas oportunidades de trabalho. Sugerimos uma atividade complementar relacionada ao tema em *Atividades complementares* deste Manual.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Na memória: relembre a evolução dos dispositivos de armazenamento

(páginas 326 e 327)

- Esta seção trabalha as habilidades **EM13CNT107** e **EM13CNT308**, ao detalhar o funcionamento de dispositivos de informática modernos, e as competências gerais **CGEB1**, na valorização dos conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, e **CGEB5**, ao auxiliar a compreensão de tecnologias de armazenamento de dados.
- Em tempos de avanços tecnológicos extremamente rápidos, com a produção de computadores e celulares, comente com os estudantes sobre os impactos dessa produção sobre o ambiente. Se julgar oportuno, questione-os sobre as propagandas que estimulam o consumo exacerbado dessas tecnologias.
- Caso haja disponibilidade, aborde também o problema do descarte de peças e equipamentos obsoletos, como baterias e *hardwares*. Reforce que tudo isso tem um custo, não somente financeiro, mas, principalmente, socioambiental, com a exploração de recursos naturais como a extração do lítio – para a produção de baterias – e de ouro e platina – para os componentes eletrônicos, entre outros.

FONTES COMPLEMENTARES

- Abílio, L. C. Uberização: a era do trabalhador *just-in-time*? *Estudos Avançados*, v. 34, n. 98, p. 111-126, jan-abr. 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/VHXmNyKzQLzMyHbgcGMNNwv/. Acesso em: 30 out. 2024.

  Artigo sobre uberização. Utilize-o para discutir com a turma o impacto das tecnologias digitais sobre os trabalhadores.

- Canalle, J. B. G.; Moura, R. Forças entre condutores paralelos de correntes contínuas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 206-209, ago. 1998. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6901/6361. Acesso em: 21 out. 2024.

  Nesse artigo, há a proposta de construção de um dispositivo simples para mostrar os efeitos de atração e repulsão eletromagnética entre dois condutores paralelos percorridos por correntes contínuas. Para isso, são necessários estes materiais: quatro pilhas pequenas, um interruptor tipo campainha, arame, condutores, papel de alumínio e uma base de madeira.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Pesquisa e debate sobre Inteligência Artificial (IA)

Promova uma pesquisa e debate com a turma a respeito de inteligência artificial. Oriente os estudantes a pesquisar o que é a IA, quais suas aplicações, que oportunidades de trabalho vem criando, seus pontos positivos e pontos negativos e as questões éticas envolvidas.

O texto "Inteligência Artificial: o que é e como funciona" (disponível em: https://exame.com/inteligencia-artificial/inteligencia-artificial-o-que-e-e-como-funciona/; acesso em: 21 out. 2024) traz informações que você pode usar para mediar o trabalho com os estudantes.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Uma estratégia interessante de avaliação é a elaboração de portfólios. Se for pertinente, oriente os estudantes a fazer, ao longo do estudo do capítulo, registros pessoais em um arquivo separado. Esses registros podem ser livres, como resumos dos textos, esquemas, ilustrações e fotos. E também podem ser feitos em formato digital, como gravações de áudios e fotos. Os portfólios podem ser utilizados para avaliar o aprendizado da turma ao longo das aulas.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Práticas de Ciências – Freio eletromagnético

(página 321)

7. Vamos supor que o ímã esteja com a face norte voltada para cima. Então, as linhas do campo magnético gerado pelo ímã apontam para cima. À medida que o ímã cai, um número menor de linhas de campo atravessa a seção do tubo localizada acima do ímã. Assim, uma corrente elétrica será induzida nessa seção, de forma a gerar um campo magnético no sentido de baixo para cima, ou seja, no sentido de compensar essa redução do fluxo magnético que atravessa a espira de baixo para cima. Logo, pela regra da mão direita, considerando o ponto de vista do observador que se encontra acima do tubo, a corrente elétrica induzida na seção superior será no sentido anti-horário. Já em uma seção abaixo do ímã, o número de linhas de campo que a atravessa aumenta conforme o ímã cai e, como sabemos, essas linhas apontam de cima para cima. Para compensar esse aumento do fluxo magnético nesse sentido, a corrente induzida terá de produzir um campo magnético com sentido oposto, isto é, de cima para baixo. Assim, pela regra da mão direita, essa corrente elétrica terá sentido horário, de acordo com o ponto de vista do observador que se encontra acima do tubo. Por raciocínio análogo, é possível explicar os sentidos das correntes no caso em que a polaridade do ímã for invertida.

Atividades (páginas 328 e 329)

2. Carga da partícula: $q = 1\ \mu C = 10^{-6}$ C; Intensidade do campo: $B = 2 \cdot 10^{-3}$ T; Velocidade da partícula: $v = 3 \cdot 10^{4}$ m/s; ângulo entre a direção do movimento da partícula e a das linhas de campo: $\theta = 120°$

Usando a regra da mão esquerda, com o dedo indicador apontando na direção do campo, e o dedo médio na direção da componente da velocidade perpendicular ao campo, o polegar indica o sentido da força que atuará na partícula como saindo da página. Substituem-se os dados na expressão para a intensidade da força magnética.

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\,\theta \Rightarrow F_m = 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{4} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{sen}\,120°$$

$$F_m = 3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{4} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{3} \cdot 10^{-5} \Rightarrow F_m \cong 5{,}2 \cdot 10^{-5}\ \text{N}$$

Assim, o vetor força magnética tem as seguintes características: direção: perpendicular ao plano formado pelos vetores $\vec{v}$ e $\vec{B}$; sentido: saindo da página; intensidade: $5{,}2 \cdot 10^{-5}$ N.

Verifique se os estudantes conseguem responder que tipo de movimento a partícula vai descrever no caso dessa questão. Aproveite para esclarecer as três possibilidades de movimento de partículas eletricamente carregadas que penetram uma região em que atua um campo magnético uniforme:

Possibilidade 1: quando a velocidade é nula ou é paralela ao campo e, por isso, a partícula não recebe nenhuma força magnética, permanecendo, portanto, em MRU.

Possibilidade 2: quando a velocidade é perpendicular ao campo, de modo a surgir uma força centrípeta que faz a partícula descrever movimento circular uniforme.

Possibilidade 3: quando a velocidade faz um ângulo oblíquo com o campo, que é o caso desse problema, e a partícula descreve um movimento em forma de espiral. Explique, então, que, nesse caso, apenas a componente da velocidade que é perpendicular ao campo será responsável pelo aparecimento da força magnética (que será centrípeta) e, portanto, do movimento circular, ao passo que a componente tangencial realiza uma translação desses círculos, fazendo, assim, a trajetória da partícula ter a aparência de uma hélice ou espiral.

3. É importante trabalhar com os estudantes diversas situações de movimentos de cargas positivas e negativas imersas em campos. Para cada situação, forneça o sinal da carga, dois vetores, por exemplo, velocidade e campo magnético, e peça-lhes que respondam a direção e o sentido do terceiro vetor, no caso do exemplo, a força. Essas situações, por envolver o espaço tridimensional, geram bastante dificuldade na visualização do que está acontecendo e, portanto, na aplicação correta da regra da mão esquerda.

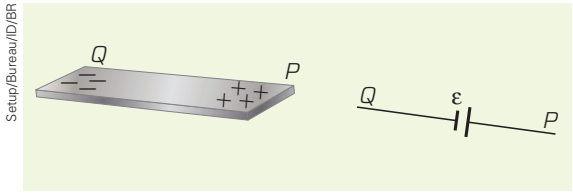
5. O campo magnético se dirige do polo norte para o polo sul – nesse caso, horizontal para a esquerda passando pela carga. Aplicando a regra da mão esquerda ou a regra do tapa à situação, e considerando que a carga tem sinal negativo, vemos que a força magnética age nessa partícula verticalmente para baixo, ou seja, a partícula se desviará fazendo uma curva para baixo em seu movimento.

Enfatize a diferença entre os polos Norte e Sul geográficos da Terra e os polos norte e sul magnéticos, pois isso pode deixar os estudantes confusos.

7. a) De acordo com a regra da mão esquerda, e considerando a carga negativa dos elétrons, a força magnética que atua neles tem a direção da barra e é no sentido de *P* para *Q*.

b) Como o sentido da força magnética nos elétrons é de *P* para *Q*, a extremidade *Q* da barra fica com excesso de elétrons, e a extremidade *P*, com carência de elétrons, de modo que a região *Q* fica eletrizada negativamente, e a região *P*, positivamente. Essa situação perdura enquanto a barra estiver sujeita ao campo magnético, na região entre os ímãs.

c) Como a barra está eletrizada negativamente na região *Q* e positivamente na região *P*, a força eletromotriz induzida pode ser representada pelo gerador ideal ε.



Setup/Bureau/ID/BR

9. a) O campo magnético no centro da espira tem a mesma direção da reta normal à espira. Considerando que tenham o mesmo sentido, o ângulo formado entre o campo e a normal é 0º. O fluxo magnético é calculado pela expressão: $\theta = B \cdot A \cdot \cos\theta$. Em t_0, temos:

$\theta_0 = B \cdot A \cdot \cos 0° = 0{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot 1 \Rightarrow \theta_0 = 0{,}1$ Wb

Em *t*, temos: $\theta_0 = B \cdot A \cdot \cos 0° = 0{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 1 \Rightarrow \theta_0 = 0{,}2$ Wb

b) De acordo com o item anterior, obtemos a seguinte variação do fluxo entre os instantes *t* e t_0:

$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 0{,}2 - 0{,}1 \Rightarrow \Delta\theta = 0{,}1$ Wb

c) Pela lei de Faraday, obtemos a *fem* induzida: $\varepsilon = \dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{0{,}1}{0{,}2} \Rightarrow \varepsilon = 0{,}5$ V

d) A *fem* induzida está relacionada à corrente i induzida. Pela primeira lei de Ohm, obtemos: $\varepsilon = R \cdot i \Rightarrow 0{,}5 = 4 \cdot i \Rightarrow i = 0{,}125$ A

e) A potência dissipada por efeito Joule é: $P = R \cdot i^2 \Rightarrow P = \cdot (0{,}125)^2 \Rightarrow P = 0{,}0625$ W

10. a) Os radares têm a função de detectar a presença e localizar a posição dos objetos. Para isso, têm uma antena capaz de emitir e receber sinais (ondas) eletromagnéticos de determinada frequência, normalmente na faixa do rádio. Assim, pulsos eletromagnéticos são emitidos para o espaço e, ao atingir um objeto, o sinal é refletido e começa a realizar o percurso no sentido inverso. Passado um intervalo de tempo, esse sinal retorna à antena emissora, ou seja, ao radar. Com o tempo registrado pelo radar para o sinal eletromagnético realizar o percurso de ida e volta, e conhecida a sua velocidade de propagação no espaço (aproximadamente a velocidade de propagação da luz no vácuo), é possível localizar com alta precisão a posição do objeto em relação ao radar.

b) Aplicando a equação fundamental da ondulatória, temos:

$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 3 \cdot 10^9 \Rightarrow \lambda = 0{,}1$ m

c) O intervalo de tempo entre a emissão e a detecção das ondas (ida e volta) é o tempo necessário para que as ondas percorram o dobro da distância entre o avião e o aeroporto. Como a velocidade das ondas no ar é constante, podemos aplicar a expressão da velocidade escalar média, chamando de ***d*** a distância entre o avião e o aeroporto e notando que: $40\ \mu s = 40 \cdot 10^{-6}$ s

$v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \dfrac{2d}{40 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow d = \dfrac{3 \cdot 10^8 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow d = 60 \cdot 10^2$ m, portanto, $d = 6\,000$ m ou $d = 6$ km.

d) Usando o mesmo raciocínio do item **c**, temos: $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow$

$\Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \dfrac{2d}{34 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow d = \dfrac{3 \cdot 10^8 \cdot 34 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow d = \dfrac{102 \cdot 10^2}{2} = 51 \cdot 10^2$ m, portanto, $d = 5\,100$ m ou $d = 5{,}1$ km.

e) De acordo com os valores calculados nos itens **b** e **c**, o avião realizou um deslocamento de 900 metros em 4,5 s. Aplicando a expressão da velocidade escalar média, obtemos:

$v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \dfrac{900}{4{,}5} \Rightarrow v = 200$ m/s

Convertendo a velocidade do avião para km/h, determinamos que a velocidade média do avião é:

$200 \cdot 3{,}6 = 720$ km/h.

Proponha aos estudantes que pesquisem a história do radar e descubram sua importância em diversas aplicações, como o controle do tráfego aéreo realizado nos aeroportos, a fiscalização eletrônica de velocidade, entre outros.

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 330 A 333)

Estudo de caso – Qual lâmpada você escolheria para sua casa? (páginas 330 e 331)

- Esta seção promove aspectos das competências gerais **CGEB7** e **CGEB10**, da competência específica **CECNTEM3** e das habilidades correspondentes **EM13CNT308**, **EM13CNT309** e **EM13CNT310**, ao trabalhar meios e dispositivos modernos que buscam melhorar a eficiência energética de aparelhos e reduzir o consumo de energia elétrica, como o uso de lâmpadas mais eficientes. Essa medida, aparentemente simples, mostra como certas atitudes podem impactar positivamente o consumo de energia e, consequentemente, toda a cadeia de produção e de distribuição de energia. Assim, essa seção também trabalha o tema contemporâneo transversal **Educação para o consumo**, da área Meio ambiente.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Estudo de caso – Qual lâmpada você escolheria para sua casa? (páginas 330 e 331)

4. Informe aos estudantes outra resposta possível: se em vez de fixarmos uma lâmpada, fixarmos a potência da lâmpada, chegaremos à conclusão de que a potência não tem relação direta com a quantidade de luz emitida por ela. Note, por exemplo, que uma lâmpada LED de 15 W emite quase o dobro da quantidade de luz (1 500 lm) que uma lâmpada fluorescente também de 15 W (850 lm). Ambas consomem a mesma quantidade de energia, pois têm a mesma potência, mas emitem quantidades bem diferentes de luz.

7. Gráfico do estudante. Para construir o gráfico, é necessário levar em conta quantas vezes cada tipo de lâmpada é trocada ao longo do tempo para, então, calcular o custo da compra das diferentes lâmpadas em curto e em longo prazos. Considerando a vida útil de cada lâmpada, em seis meses de uso contínuo (4 320 h), uma lâmpada fluorescente e uma de LED não precisam ser trocadas. Mas, em três anos de uso contínuo (25 920 h), uma lâmpada fluorescente será trocada quatro vezes, e uma de LED não precisará ser trocada. Considere, por exemplo, o preço médio de R$ 8,00 para a lâmpada fluorescente e de R$ 12,00 para a de LED. Com base nesses valores, em seis meses, a lâmpada fluorescente tem preço mais vantajoso em curto prazo (R$ 8,00) que a de LED (R$ 12,00). Contudo, em longo prazo, a lâmpada de LED será mais vantajosa: R$ 12,00 (uma lâmpada) contra R$ 32,00 (quatro lâmpadas fluorescentes) no período de três anos.

Questões globais (páginas 332 e 333)

1. Alternativa **c**. O campo elétrico gerado por uma carga positiva puntiforme tem direção radial e sentido de afastamento da carga. Então, cada gerador atua no ponto P produzindo vetores de campo elétrico horizontais de sentidos opostos.

O gerador **A** produz em P um vetor $\vec{E}_A$ horizontal para a direita, enquanto o gerador **B** produz em P um campo $\vec{E}_B$ horizontal para a esquerda. Para determinar a intensidade desses campos, considere d a distância entre o centro de cada esfera e o ponto P. Da expressão da intensidade do campo elétrico, temos: $E_A = \frac{k|Q|}{d^2}$; $E_B = \frac{k|2Q|}{d^2} = 2\frac{k|Q|}{d^2} = 2E_A$

Portanto, o vetor campo elétrico do gerador **B** é mais intenso que o do gerado **A**, e o campo elétrico resultante terá o mesmo sentido de $\vec{E}_B$.

2. Alternativa **e**. Para obter as cargas em coulombs, o tempo de uso do dispositivo precisa estar em segundos. A carga elétrica é diretamente proporcional à corrente elétrica e ao tempo de uso: $Q = i \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 0{,}03 \cdot 2 \cdot 3\,600 \Rightarrow Q = 216$ C

5. a) Sendo n essa diferença, e lembrando que pelo princípio de quantização das cargas, a carga deve ser um múltiplo inteiro da carga elementar:

$$|q| = n \cdot e \Rightarrow n = \frac{|q|}{e} \Rightarrow \frac{3{,}2 \cdot 10^{-11}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow n = 2 \cdot 10^8 \text{ elétrons}$$

A carga positiva indica perda de elétrons para o ar por atrito. Os elétrons perdidos são os mais externos dos átomos das asas, cuja energia de ligação com os respectivos núcleos atômicos é muito menor. Não seria possível transportar prótons dos núcleos atômicos para o ar por atrito. A energia necessária para isso seria bilhões de vezes maior e provocaria a desintegração dos átomos da asa.

b) A força elétrica é de repulsão, visto que as cargas da abelha e da flor são ambas positivas. Usando a lei de Coulomb:

$$F = \frac{k|Q||q|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-11} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11}}{(2 \cdot 10^{-1})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = \frac{11{,}52 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow F = 2{,}88 \cdot 10^{-10} \text{ N}$$

O valor da intensidade do vetor campo elétrico na posição em que se encontra a abelha é dado pela razão entre a força elétrica e a carga da abelha:

$$E_{mín} = \frac{F}{|q|} = \frac{2{,}88 \cdot 10^{-10}}{3{,}2 \cdot 10^{-11}} = 0{,}9 \cdot 10^1 \Rightarrow E_{mín} = 9 \text{ N/C}$$

6. Conseguimos descobrir a resistência elétrica do trecho de veia do paciente mediante a aplicação da primeira lei de Ohm:

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{0{,}1}{1{,}0 \cdot 10^{-4}} = \frac{1{,}0 \cdot 10^{-1}}{1{,}0 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow R = 1{,}0 \cdot 10^3\ \Omega$$

A resistividade elétrica média da veia ρ pode ser obtida pela segunda lei de Ohm: $R = \frac{\rho \cdot L}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{L}$

Substituindo-se os valores fornecidos no enunciado e o valor calculado para a resistência:

$$\rho = \frac{1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6}}{2{,}0 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \rho = 1{,}0\ \Omega \cdot \text{m}$$

O valor de resistividade média obtido no exame para esse paciente está abaixo do valor de referência de $1{,}6\ \Omega \cdot$ m. Conclui-se, então, que ele sofreu hemólise.

7. Alternativa **c**. 1ª resolução: Como as lâmpadas são idênticas, suas resistências internas R_L também o são. Na situação inicial, há simetria entre os conjuntos e, assim, as lâmpadas apresentam o mesmo brilho. Nesse caso, a resistência total equivalente do circuito vale: $R_{antes} = 3 \cdot \frac{R \cdot R_L}{R + R_L}$

Depois da queima de L_2, a resistência do novo circuito será

$$R_{depois} = 2 \cdot \frac{R \cdot R_L}{R + R_L} + R \Rightarrow R_{depois} = \frac{2R \cdot R_L + R(R + R_L)}{R + R_L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{depois} = \frac{3R \cdot R_L}{R + R_L} + \frac{R^2}{R + R_L} \Rightarrow R_{depois} = R_{antes} + \frac{R^2}{R + R_L}$$

Portanto, a resistência equivalente total do circuito aumenta após a queima da lâmpada L_2. Como a ddp fornecida para fonte permanece constante, a corrente total no circuito diminui, resultando na redução de potência de cada uma das outras duas lâmpadas e, consequentemente, seu brilho.

2ª resolução: Como não foram especificadas as características das lâmpadas, um modo simplificado de abordar o problema é supor que elas também se comportam como resistores ôhmicos, e que suas respectivas resistências R_L são da mesma ordem de grandeza da resistência dos resistores. Assim, sendo $R_L \cong R$, a situação inicial do circuito apresenta resistência equivalente total de:

$$R_{antes} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} + \frac{R}{2} \Rightarrow R_{antes} = \frac{3R}{2} = 1{,}5R$$

Após a queima da lâmpada L_2:

$$R_{depois} = \frac{R}{2} + R + \frac{R}{2} \Rightarrow R_{Depois} = 2R$$

A resistência total equivalente aumentou. Como a tensão ddp fornecida pela fonte permanece constante, a corrente total no circuito diminui, fazendo com que o brilho das lâmpadas remanescentes diminua.

8. Alternativa **b**. O consumo mensal da comunidade é de 2 MWh = 2 000 kWh. A miniusina hidrelétrica fornece potência pela conversão da energia potencial gravitacional da queda de água em energia elétrica. Vamos desprezar as perdas por atrito e ineficiência da turbina. A potência média é a razão entre a energia e o tempo necessário para sua produção. Para a miniusina, a cada segundo, ela vale:

$$P_m = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{d \cdot V \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow P_m = d \cdot g \cdot h \cdot \frac{V}{\Delta t}$$

Substituindo-se os valores dados no enunciado: $d = 1$ kg/L; $g = 10$ m/s²; $h = 15$ m; $\frac{V}{\Delta t} = 10$ L/s. Temos:

$$P_m = 1 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 10 = 1\,500 \text{ W} \Rightarrow P_m = 1{,}5 \text{ kW}$$

A energia gerada pela miniusina em um mês vale:

$$E = P_m \cdot \Delta t \Rightarrow E = 1{,}5 \cdot 24 \cdot 30 = 1\,080 \text{ kWh}$$

Para suprir o consumo da comunidade restam 2 000 − 1 080 = = 920 kWh a serem gerados pelos painéis solares. Logo, o número N de painéis deve ser igual a $N = \frac{920}{40} = 23$.

9. b) A potência da queda de água em uma usina é dada por:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{d \cdot V \cdot g \cdot h}{\Delta t} \Rightarrow V = \frac{P \cdot \Delta t}{d \cdot g \cdot h}$$

Substituindo os dados do enunciado: $d = 1 \cdot 10^3$ kg/m³; $P = 1200$ MW $= 1{,}2 \cdot 10^9$W; $\Delta t = 1$ s; $g = 10$ m/s²; $h = 10$ m.

$$V = \frac{1{,}2 \cdot 10^9 \cdot 1}{1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10} = 1{,}2 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$

Como são 8 comportas, o volume de água em cada comporta, por segundo, é: $V_c = \frac{1{,}2 \cdot 10^4}{8} = 1{,}5 \cdot 10^3$ m³/s

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) Alguns peixes, como o poraquê, a enguia-elétrica da Amazônia, podem produzir uma corrente elétrica quando se encontram em perigo. Um poraquê de 1 metro de comprimento, em perigo, produz uma corrente em torno de 2 ampères e uma voltagem de 600 volts.

O quadro apresenta a potência aproximada de equipamentos elétricos.

Equipamento elétrico	Potência aproximada (watt)
Exaustor	150
Computador	300
Aspirador de pó	600
Churrasqueira elétrica	1 200
Secadora de roupas	3 600

O equipamento elétrico que tem potência similar àquela produzida por esse peixe em perigo é o(a)

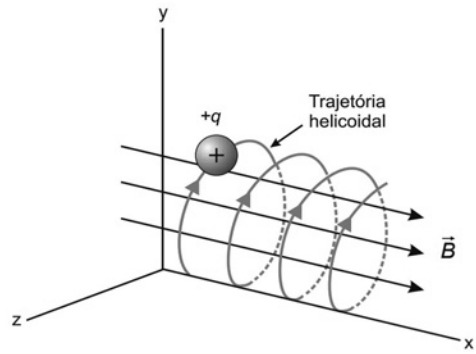
a) exaustor.
b) computador.
c) aspirador de pó.
d) churrasqueira elétrica.
e) secadora de roupas.

Alternativa **d**. Essa questão trabalha os principais conceitos de potência elétrica.

Utilizando os valores fornecidos na equação da potência elétrica, tem-se: $P = i \cdot U = 2 \cdot 600 \Rightarrow P = 1\,200$ W

Essa potência é encontrada na churrasqueira elétrica.

2. (**Enem**) O espectrômetro de massa de tempo de voo é um dispositivo utilizado para medir a massa de íons. Nele, um íon de carga elétrica q é lançado em uma região de campo magnético constante $\vec{B}$, descrevendo uma trajetória helicoidal, conforme a figura. Essa trajetória é formada pela composição de um movimento circular uniforme no plano yz e uma translação ao longo do eixo x. A vantagem desse dispositivo é que a velocidade angular do movimento helicoidal do íon é independente de sua velocidade inicial. O dispositivo então mede o tempo t de voo para N voltas do íon. Logo, com base nos valores q, B, N e t, pode-se determinar a massa do íon.



Enem, 2019. Facsímile: ID/BR

A massa do íon medida por esse dispositivo será

a) $\frac{qBt}{2\pi N}$.
b) $\frac{qBt}{\pi N}$.
c) $\frac{2qBt}{\pi N}$.
d) $\frac{qBt}{N}$.
e) $\frac{2qBt}{N}$.

Alternativa **a**. A questão trabalha os principais conceitos de campo magnético, força magnética e dinâmica do movimento circular. Considerando que a força magnética é igual à força centrípeta, podemos determinar o raio desse movimento:

$$F_{mag} = F_{cp} \Rightarrow q \cdot B \cdot v = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Utilizando a equação da velocidade no movimento circular e substituindo o valor do raio encontrado, encontramos o período:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi}{v} \cdot \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{q \cdot B}$$

Como o íon descreve N voltas em um intervalo de tempo t, temos: $t = T \cdot N = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot N}{q \cdot B}$

Isolando a massa: $m = \frac{q \cdot B \cdot t}{2 \cdot \pi \cdot N}$

7 FÍSICA DO "MUITO PEQUENO"

INTRODUÇÃO

Esta unidade é constituída de três capítulos. No capítulo 1, abordam-se a estrutura da matéria, os modelos atômicos de Thomson, Rutherford, linhas espectrais, modelo de Bohr, finalizando com uma visão do átomo contemporâneo. O capítulo 2 trata da Física Quântica. São destaques o trabalho de Planck, o efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula e o princípio da incerteza. No estudo da Física das partículas elementares, os estudantes vão conhecer novas partículas. No capítulo 3, a Física Nuclear é relacionada a seu uso na medicina, com a radiografia e em tratamentos contra o câncer, ao emprego da radiação na agricultura e aos processos de fissão e fusão nucleares. Também exploram-se a descoberta da radioatividade, o decaimento radioativo e os efeitos biológicos da radiação ionizante.

A unidade promove a investigação científica, em especial em *Práticas de Ciências*, no capítulo 1, em que os estudantes utilizam um simulador. Suas seções exploram o uso de iluminação LED (*Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente*) e abordam as pesquisas de Madame Curie que lhe renderam o Prêmio Nobel (*Ciência tem história*). Também, o uso de radiação ionizante na esterilização do mosquito *Aedes aegypti*, na seção *Física e Biologia*. Ao final da unidade, a seção *Pensando Ciências* propõe aos estudantes uma estimulante atividade que os auxiliará a entender se um filme ou obras correlatas retratam fielmente a realidade dos fatos ou se são ficção científica.

Os objetivos da unidade se articulam a estes e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Nesta unidade, são promovidas as competências gerais da Educação Básica: **CGEB1**, **CGEB2**, **CGEB3** e **CGEB5** (utilizar tecnologias digitais de informação e comunicação para acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo).

Também são desenvolvidas as competências e habilidades específicas das áreas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como as habilidades **EM13CNT103**, **EM13CNT301** e **EM13CNT307**.

Sugestão de planejamento

Sugerimos que esta unidade seja trabalhada em parceria com o(a) professor(a) de Química, especialmente o capítulo 1. A seção *Física e Biologia* também oferece oportunidade de abordagem interdisciplinar com o(a) professor(a) de Biologia. Por fim, avalie realizar a atividade da seção *Pensando Ciências* em conjunto com o(a) professor(a) da área de Linguagens. Em seu planejamento, considere o tempo necessário para os estudantes assistirem ao filme previamente à realização da atividade.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Conhecer e analisar modelos atômicos e seus limites experimentais. • Utilizar simulador para investigar o espalhamento de Rutherford.	CGEB2 CGEB9 CECNTEM3	EM13CNT301	
2	• Conhecer partículas elementares e suas características. • Identificar a quantização da energia como uma solução matemática para o problema da radiação do corpo negro. • Descrever e analisar o efeito fotoelétrico, relacionando-o com a quantização da energia. • Reconhecer a dualidade onda-partícula como fenômeno inerente à teoria quântica. • Investigar como as células fotoelétricas produzem energia elétrica.	CGEB1 CGEB2 CGEB4 CGEB7 CECNTEM1 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT205 EM13CNT307 EM13CNT308	Ciência e tecnologia
3	• Diferenciar radiação ionizante da radiação não ionizante. • Avaliar o poder de penetração das partículas alfa, beta e gama. • Entender o decaimento radioativo e as reações de fissão e fusão nucleares. • Elaborar um material de divulgação científica sobre a radioatividade. • Conhecer o trabalho de Marie Curie e discutir sobre os desafios que as mulheres ainda enfrentam para serem reconhecidas na ciência.	CGEB1 CGEB5 CGEB7 CGEB8 CGEB10 CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT103 EM13CNT104 EM13CNT203 EM13CNT302 EM13CNT303	Ciência e tecnologia Saúde
Fechamento da unidade	• Analisar obra(s) de ficção científica sob o olhar da ciência, explorando eventuais limitações das ideias trazidas por determinada obra artística, de modo a compreender o que seria aceito pela ciência hoje em dia e o que seria extrapolação ficcional.	CGEB1 CGEB2 CGEB3 CGEB4 CGEB6		Diversidade cultural

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 334 E 335)

- Comente com os estudantes que a Física Quântica surgiu em função das limitações da Física Clássica, cujos princípios não permitiam que os cientistas explicassem alguns problemas ligados à interação da energia com a matéria, ao comportamento dual do elétron (ora como partícula, ora como onda) e às características do elétron.
- A respeito da foto, chame a atenção dos estudantes para a forma da imagem, a qual representa a rede regular de átomos dentro do cristal. Essa imagem mostra o padrão de difração de raios X ao atravessar o cristal de berilo.
- Aproveite o tema levantado pela atividade **3** para enfatizar a importância dos investimentos contínuos em ciência, pois esses investimentos acabam voltando em prol da sociedade, promovendo melhorias no campo da saúde, da tecnologia, entre outros.

CAPÍTULO 1 ESTRUTURA DA MATÉRIA (PÁGINA 336)

Modelos atômicos (páginas 336 a 340)

- A imagem de abertura de capítulo é do curta-metragem de animação *A boy and his atom: the world's smallest movie*. Se possível, exiba-o aos estudantes, utilizando-o para introduzir o estudo da estrutura da matéria. O *link* para o curta está disponível em *Fonte complementar*.
- Avalie realizar a abordagem dos modelos atômicos em parceria com o(a) professor(a) de Química, explorando a interdisciplinaridade do tema e as aplicações e especificidades de cada componente curricular.

O átomo contemporâneo (página 341)

- O estudo dos modelos atômicos quânticos oferece uma visão mais precisa da estrutura atômica. Aproveite essa seção para desenvolver o pensamento crítico dos estudantes, ao questionar as percepções simplistas do átomo e introduzir discussões sobre probabilidade.

Práticas de Ciências – Investigando o espalhamento de Rutherford (página 342)

- Na atividade prática proposta nesta seção, os estudantes terão a oportunidade de reproduzir virtualmente o experimento de Rutherford e analisar em nível atômico os resultados esperados pelo cientista, explorando diferentes parâmetros como as propriedades do átomo alvo e a energia das partículas alfa. Além disso, é possível fazer uma comparação entre os modelos atômicos de Rutherford e de Thomson, no que diz respeito ao espalhamento das partículas alfa.
- A atividade prática sugerida, com os estudantes organizados em grupos, além de exercitar a curiosidade, a investigação e a análise crítica, contribuindo para o desenvolvimento da competência geral **CGEB2**, permite exercitar a empatia, a troca de ideias e o respeito às opiniões dos colegas, trabalhando a competência geral **CGEB9**. Possibilita, ainda, observar a aplicabilidade do conhecimento científico, avaliando modelos e justificando suas conclusões sob uma perspectiva científica, promovendo, assim, a habilidade **EM13CNT301**.
- Se julgar necessário, antes de iniciar a atividade prática, comente com os estudantes que as partículas alfa usadas no experimento correspondiam a partículas com carga elétrica positiva, provenientes de uma fonte radioativa.
- Aproveite para explorar com os estudantes a possibilidade de variar o átomo a ser testado, investigando como a variação do tamanho do núcleo de um átomo interfere nos desvios das partículas alfa, ressaltando que a alteração no número de nêutrons não muda a trajetória dessas partículas.
- Ressalte que a simulação não está em escala. Se julgar importante, chame a atenção dos estudantes para a representação do núcleo do átomo na simulação, já que são apresentados os prótons e os nêutrons. Os nêutrons ainda não eram conhecidos e nem foram explicados na experimentação, pois, para Rutherford, o núcleo era apenas uma região contendo cargas positivas.
- Oriente os estudantes na utilização do simulador e peça a eles que modifiquem variáveis como a energia de interação, números de prótons e de nêutrons, de forma independente, enquanto analisam o comportamento das demais.

FONTE COMPLEMENTAR

- *A boy and his atom: the world's smallest movie*. Direção: Nico Casavecchia. Estados Unidos (1 min 33 s). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oSCX78-8-q0. Acesso em: 2 out. 2024.

  Curta-metragem de animação, conhecido como "menor filme do mundo", feito de imagens de microscopia de varredura de tunelamento.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Representando modelos atômicos

Você pode sugerir aos estudantes que representem os diferentes modelos atômicos de forma criativa, fazendo esquemas ilustrados em papel, confeccionando-os com sucata ou, ainda, por meio de animações em computador, por exemplo. Peça a eles que listem as principais diferenças entre esses modelos até chegar à visão atual do átomo. Oriente-os a apresentar as principais informações de cada um deles e a importância dos variados cientistas na construção desses conceitos ao longo dos anos.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Realize uma avaliação contínua do desempenho dos estudantes ao longo do desenvolvimento do capítulo, especialmente nos boxes *Roteiro* e na seção *Práticas de Ciências*. Você também pode utilizar as questões da seção *Atividades* deste capítulo para realizar uma avaliação dos conhecimentos dos estudantes.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Para começar

1. a 3. Aproveite este momento para realizar uma avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios dos estudantes em relação à estrutura da matéria.

Atividades (página 343)

2. O modelo atômico considera os átomos como esferas, mas com cargas elétricas, devido às ligações do Cl^- e do Na^+. Como a figura não mostra os prótons nem os elétrons, imagina-se que as cargas estão incrustadas nas esferas, como no modelo atômico de Thomson.

3. A Química pode utilizar modelos diferentes para a explicação das ligações atômicas ou moleculares; isso depende da complexidade da ligação ou das características do estudo.

4. Resposta pessoal. O modelo de Rutherford é conhecido como modelo planetário do átomo devido à sua similaridade com um planeta se movendo ao redor de uma estrela. No caso, a analogia que se faz é a de que o núcleo atômico representa a estrela, e os elétrons representam os planetas em movimento ao redor da estrela.

7. As partículas que constituem o núcleo, os prótons e os nêutrons têm cerca de duas mil vezes a massa de um elétron; dessa forma, a massa de um átomo está presente quase toda no núcleo atômico. Como os átomos são formados de elétrons, prótons e nêutrons, não se deve levar em consideração o tamanho do átomo somente por sua massa, pois os elétrons que orbitam o núcleo, e que também fazem parte dele, podem ocupar as camadas elétricas em grupos, reduzindo assim o tamanho do átomo.

9. O modelo atômico de Bohr misturava regras das leis da Física Clássica com as da Física Quântica. Além disso, seu modelo atômico se limitava a explicar o átomo de hidrogênio; com relação a átomos mais complexos, com número atômico mais elevado, o modelo falhava ao tentar explicar o comportamento deles.

12.a) À medida que o número *n* aumenta, observa-se que a energia de seu nível correspondente tende a zero; com isso, o elétron tende a ter energia suficiente para o libertar do átomo.

13.b) Sim. Quando absorve um fóton de energia, um elétron salta para camadas mais externas em relação ao núcleo atômico, porém as camadas mais externas são instáveis e fazem com que o elétron perca a energia absorvida e emita o fóton que absorveu, voltando para sua camada de origem.

CAPÍTULO 2 FÍSICA QUÂNTICA (PÁGINA 344)

- Considere utilizar a imagem de abertura para atrair a curiosidade dos estudantes para o assunto. Antes de iniciar a leitura do texto, pergunte a eles o que pensam estar ocorrendo na imagem.
- A primeira questão em *Para começar* exercita a imaginação e a criatividade dos estudantes, ao sugerir que deem explicações sobre o registro experimental.
- Ressalte a importância dos modelos matemáticos e das probabilidades na interpretação da Física Quântica, especialmente para a compreensão da estrutura da matéria e do átomo, que está relacionada à habilidade **EM13CNT205**. Essa nova visão da matéria afetou as explicações dos fenômenos elétricos e magnéticos – entre eles, a condução elétrica – e possibilitou a pesquisa de materiais semicondutores, melhores que os metais. Aproveite para desenvover a competência geral **CGEB1** e promover aspectos da competência específica **CECNTEM2.**

O trabalho de Planck e O efeito fotoelétrico (páginas 345 e 346)

- Caso julgue pertinente, questione os estudantes sobre algum outro aspecto do efeito fotoelétrico que não possa ser explicado pela teoria ondulatória clássica da luz (Física Clássica), além do que se afirma que a energia dos fótons depende da frequência da luz e não da intensidade da luz. Caso eles não citem nenhum outro, comente que, para a teoria ondulatória clássica, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para todas as frequências de luz. Outro aspecto é o fato de que a teoria clássica previa um intervalo de absorção de energia pelo elétron da superfície, pois, durante algum tempo, ele absorveria energia suficiente para escapar.
- No boxe *Ciência se discute,* ressalte que o *quantum*, que passou a ser chamado fóton só em 1926, foi a segunda partícula elementar descoberta; antes dele, só havia conhecimento sobre o elétron. O conceito de fóton é considerado radical, pois, com base em evidências experimentais, observa-se a radiação comportando-se como partícula quando da sua interação com a matéria, comportamento que difere do comportamento ondulatório durante sua propagação.
- No boxe *Roteiro* (p. 346), relembre os estudantes de que a equação da velocidade de propagação de uma onda é ($V = \lambda \cdot f$) e que a velocidade para ondas eletromagnéticas no vácuo equivale a c ($3 \cdot 10^8$ m/s).
- Aproveite para verificar se os estudantes têm dificuldade em fazer cálculos utilizando notação científica. Reforce que é um método que facilita a execução da resolução.
- Utilize o texto "Múltiplos usos das células fotoelétricas", do boxe *Ação e cidadania* (p. 346) para apresentar aos estudantes aparelhos que utilizam aplicações diretas da Física Moderna, mostrando-lhes que nem sempre o uso deles está associado a equipamentos altamente tecnológicos, promovendo aspectos da competência específica **CECNTEM1.**
- Espera-se que, entre os benefícios de aparelhos que utilizam o efeito fotoelétrico como gerador de energia, os estudantes citem o fato de ele ser uma fonte alternativa à utilização de fontes de combustíveis fósseis e poluentes, promovendo aspectos da habilidade **EM13CNT308**.

Práticas de Ciências – Investigando o funcionamento de uma célula fotovoltaica (página 347)

- Essa atividade prática tem como objetivo verificar o poder das frequências das ondas – no caso, as cores da luz que incidirão nas células fotoelétricas que fornecem energia para o funcionamento da calculadora. Essa atividade está relacionada com a competência **CGEB4** e com a habilidade **EM13CNT308**.
- Os procedimentos dessa prática também possibilitam exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a imaginação e a criatividade, para investigar causas e resolver problemas, mobilizando a competência geral **CGEB2**.

A dualidade onda-partícula (página 348)

- Para auxiliar os estudantes na compreensão dessa dualidade (onda-partícula), pode-se estabelecer a relação entre o elétron e o fóton. Relembre à turma que o fóton, interpretado anteriormente apenas como onda, verificou-se experimentalmente como uma partícula, dado seu comportamento; ele equivale a um pacote de energia. Por sua vez, o elétron, entendido até então como uma partícula, no experimento de De Broglie apresentou comportamento ondulatório.

A Física das partículas elementares (páginas 350 e 351)

- Sugerimos a leitura do texto "Partículas e interações", indicado na seção *Fontes complementares* deste Manual. Esse texto pode incrementar o trabalho sobre os tipos de partículas elementares conhecidos e as interações fundamentais segundo o modelo-padrão para o átomo.
- Explore com os estudantes o objeto digital *Sirius: acelerador de partículas brasileiro*. Este é um dos grandes empreendimentos científicos no Brasil nos últimos anos, que utiliza aceleradores de partículas para produzir luz síncrotron. Para saber mais, acesse o *site* do Sirius, disponível em: https://lnls.cnpem.br/sirius/ (acesso em: 2 out. 2024).

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Iluminação LED: principais benefícios (página 353)

- A seção aborda a iluminação com lâmpadas LED (sigla em inglês para diodo emissor de luz), uma alternativa ao uso de lâmpadas incandescentes, cujo processo de fabricação é prejudicial ao meio ambiente. Aproveite esse tema para trabalhar a habilidade **EM13CNT307** e as competências geral **CGEB7** e específica **CECNTEM3**. A seção explora também o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.

FONTES COMPLEMENTARES

- Hoernig, A. F.; Massoni, N.T.; Hadjimichef; D. Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma aprendizagem conceitual, histórica e epistemológica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, 2021. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/bRTgnq5YBknbQDJChnCsMRx/#. Acesso em: 2 out. 2024.

  O artigo aborda possibilidades, tendências da literatura e estratégias didáticas a fim de introduzir a Física Quântica no Ensino Médio, atentando para uma aprendizagem que concilie conceitos, história e epistemologia pelos estudantes.

- Moreira, M. A. Partículas e interações. *Física na Escola*, v. 5, n. 2, p. 10-14, out. 2004. Disponivel em: http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

  Além de apresentar as partículas elementares e as interações fundamentais, o artigo traz dois mapas conceituais, um para partículas e outro para interações, que esquematizam conceitualmente o modelo-padrão.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Câmara de nuvens ou câmara de bolhas

Um experimento impressionante é a câmara de nuvens usada para detectar partículas elementares que chegam à Terra e cuja imagem abre este capítulo. As partículas entram em uma caixa lacrada com vapor saturado e condensam nessa passagem formando linhas no interior da caixa. Os registros são feitos em fotos que precisam ser devidamente interpretadas. Um dos encantos evidentes da câmara de bolhas é a possibilidade de ver as partículas interagindo em tempo real e deixando suas marcas em sua passagem.

Em alguns museus de ciências no Brasil e em departamentos de pesquisa em Física, há câmaras de nuvens. Pesquise se na região em que vive existe alguma delas em funcionamento e avalie realizar uma visita guiada com os estudantes.

Outra forma de visualizar as imagens produzidas por esses objetos é em vídeos na internet. Proponha aos estudantes que façam um levantamento deles na internet e organizem uma discussão sobre o tema. Peça-lhes que pesquisem quais partículas são detectadas na câmara de bolhas e como é feito seu reconhecimento pelos traços deixados.

Se oportuno, organize um minicongresso científico sobre partículas e formas de detecção, com apresentação de pôsteres. O artigo a seguir traz instruções para construção de câmara de nuvens: Laganá, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 1-5, jul./set. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000300002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 2 out. 2024.

TEXTO COMPLEMENTAR

Não apenas um: computador quântico mais eficiente prevê uso de múltiplos processadores

O projeto para [a] arquitetura de um computador quântico com múltiplas unidades de processamento é apresentado em artigo do engenheiro de computação Waldemir Cambiucci, doutorando da Escola Politécnica (Poli) da USP. Hoje, os computadores quânticos, disponíveis para usos experimentais e em alguns serviços oferecidos via nuvem para empresas, ainda são baseados em sistemas de processador único, com elevadas taxas de erro, limitando a capacidade e o uso dos dispositivos em cenários complexos.

Embora as pesquisas estejam no início, a arquitetura distribuída poderá aumentar o potencial dos computadores quânticos em aplicações nas áreas de ciências de materiais, química, inteligência artificial, entre outras, além do mercado financeiro. [...]

[...] "Os computadores clássicos usam *bits*, unidades básicas de informação que assumem valores de 0s e 1s. Já os computadores quânticos são baseados em *bits* quânticos, ou *qubits*, que podem assumir valores 0, 1 ou uma combinação entre eles ao mesmo tempo, num fenômeno conhecido como superposição", afirma o engenheiro. "Junto com os fenômenos de emaranhamento e interferência, a superposição é característica de um computador quântico, que realiza seu processamento a partir dos princípios da mecânica quântica, oferecendo vantagens na resolução de problemas complexos".

"A mecânica clássica é o ramo da Física que descreve o movimento de objetos macroscópicos sob a ação de forças, utilizando leis formuladas por Isaac Newton, e é aplicável em escalas de tamanho e velocidade comuns de nosso dia a dia, explica Cambiucci. "Já a mecânica quântica é o ramo da Física que descreve o comportamento de partículas subatômicas, como elétrons e fótons, em escalas muito pequenas, utilizando princípios de probabilidade. Usando a mecânica quântica, um computador quântico pode apresentar uma vantagem exponencial onde máquinas clássicas não conseguem atuar".

De acordo com o engenheiro, enquanto um computador clássico realiza seus cálculos em Unidades Centrais de Processamento (CPUs), os quânticos usam Unidades de Processamento Quântico (QPUs). "Entre as aplicações que são potencializadas por essas máquinas, estão as simulações moleculares, otimização em logísticas, exploração científica em química ou ciência de materiais, reconhecimento de padrões, entre outras aplicações", explica. "Também existe potencial para produção de cenários no mercado financeiro e na inteligência artificial, com algoritmos de aprendizado de máquina quântica, ou *quantum machine learning*".

[...]

Bernardes, Júlio. Não apenas um: computador quântico mais eficiente prevê uso de múltiplos processadores. *Jornal da USP*, 10 jul. 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/nao-apenas-um-computador-quantico-mais-eficiente-preve-uso-de-multiplos-processadores/. Acesso em: 2 out. 2024.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Um dos pontos centrais da Física Quântica é a definição de equações que descrevem os fenômenos observados. Para avaliar os estudantes, sugere-se um trabalho em grupo em que as equações são reescritas, suas variáveis identificadas e, por fim, escreve-se um comentário a respeito do que elas indicam de acordo com a Física Quântica. Por exemplo, a equação de energia do fóton ($E = n \cdot h \cdot f$) está associada à ideia de pacotes de energia por causa do n, que indica a

quantidade de pacotes de energia, já que é somente um número inteiro, o *quantum*.

- Outra avaliação possível é separar algumas figuras do capítulo e pedir a interpretação delas de acordo com a Física Quântica sem consultar o livro para que não seja somente uma cópia do texto. Dessa forma, é possível verificar a aprendizagem dos estudantes e a capacidade deles de traduzir os conceitos estudados.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 346)

1. Como $c = \lambda \cdot f$, em que c é a velocidade da luz no vácuo e vale 300 000 000 m/s, temos:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{700 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow E = 2{,}83 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$$

Portanto, a energia do fóton correspondente a um comprimento de onda de 700 nm é $2{,}83 \cdot 10^{-19}$ J.

Atividades (página 354)

2. a) Observando a equação do comprimento de onda de De Broglie, $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$, com velocidade igual para ambos, o elétron tem maior comprimento de onda, e o próton tem maior frequência, devido à diferença de massa.

3. a) Com a massa de 1 kg e velocidade de 100 m/s, para obter o comprimento de onda utiliza-se a equação de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{1 \cdot 100}\ \lambda = 6{,}63 \cdot 10^{-36}\ \text{m}$$

c) Resposta pessoal. Aqui é interessante trabalhar a compreensão de grandeza, pois os corpos macroscópicos têm massa muito grande e velocidade muito baixa, o que impõe comprimentos de onda imensamente pequenos, não sendo possível medi-los e, por fim, considerá-los nos detectores atuais.

4. a) Os dados do exercício são:

$m_p = 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg; $v_p = 1\,000$ m/s $= 10^3$ m/s; precisão na medida da velocidade $= 0{,}01\% = 0{,}0001 = 10^{-4}$;

$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J · s

A quantidade de movimento do próton é:

$Q = m \cdot v = 1{,}6 \cdot 10^{-27} \cdot 10^3 = 1{,}6 \cdot 10^{-24}$ kg · m/s

Com o erro associado à medida de velocidade, temos:

$Q = 1{,}6 \cdot 10^{-24} \cdot 10^{-4} = 1{,}6 \cdot 10^{-28}$ kg · m/s

Utilizando a equação do princípio da incerteza, temos que:

$$\Delta x \cdot \Delta Q \geqslant \frac{h}{4\pi} \Rightarrow \Delta x \geqslant \frac{h}{\Delta Q \cdot 4\pi} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{1{,}6 \cdot 10^{-28} \cdot 4 \cdot 3{,}14}$$

$\Delta x \geqslant 3{,}3 \cdot 10^{-7}$ m

5. Para calcular o comprimento de onda de um próton, com massa de $1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg e velocidade de 100 m/s, utiliza-se a equação de De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{1{,}6 \cdot 10^{-27} \cdot 100} \Rightarrow \lambda = 4{,}14 \cdot 10^{-9}\ \text{m}$$

7. Utilizando a equação do princípio da incerteza, temos que:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geqslant \frac{h}{4\pi} \Rightarrow \Delta E \geqslant \frac{h}{\Delta t \,.\, 4\pi} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{10^{-8} \cdot 4 \cdot 3{,}14}$$

$\Delta E \geqslant 5{,}27 \cdot 10^{-27}$ J

8. a) Observando a equação de De Broglie, $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$, o comprimento de onda referente ao elétron é 1 840 vezes maior que o comprimento de onda referente ao próton; e a frequência do próton é 1 840 vezes maior que a frequência do elétron.

b) De acordo com a equação de De Broglie, o comprimento de onda de uma partícula pode ser alterado se variarmos sua quantidade de movimento, ou seja, é possível variar a massa e/ou a velocidade da partícula.

CAPÍTULO 3 FÍSICA NUCLEAR (PÁGINA 355)

SUGESTÃO DE AULA

- Uma das maneiras de iniciar a aula e o trabalho neste capítulo é propor algumas perguntas aos estudantes: "No mundo cotidiano atual, onde há aplicações tecnológicas da Física Nuclear?"; "Quais são os efeitos do uso dessas aplicações no ser humano?"; "Vocês já viram alguma notícia a respeito da radioatividade? E de acidentes nucleares no Brasil ou no mundo?"; "O que vocês sabem sobre as bombas atômicas lançadas em Hiroshima e Nagasaki, no Japão, durante a Segunda Guerra Mundial?" As respostas auxiliarão no diagnóstico do que os estudantes já sabem da Física Nuclear. Procure avaliar se esses conhecimentos refletem tanto as aplicações positivas quanto as negativas da Física Nuclear. Essa abordagem trabalha as competências **CGEB1** e **CGEB7**.
- Em seguida, nesta aula dialogada e, se possível, com consulta à internet, incentive os estudantes com curiosidades e outras informações sobre o tema. Se eles não tiverem conhecimento do acidente radioativo em Goiânia, em 1987, você pode exibir o primeiro filme produzido a esse respeito: *Césio-137: o pesadelo de Goiânia* (1990), do diretor Roberto Pires, falecido em 2001. Na seção *Fontes complementares* deste Manual, há mais informações sobre esse filme.

Medicina nuclear e A descoberta da radioatividade (páginas 355 e 356)

- O capítulo possibilita a abordagem dos temas contemporâneos transversais **Ciência e tecnologia** e **Saúde**, ao explorar aplicações tecnológicas da Física Nuclear na medicina.
- O texto relata brevemente como foi a descoberta dos raios X por Wilhelm Röntgen, em 1896. Nele, são promovidos aspectos das habilidades **EM13CNT103** e **EM13CNT104**.
- No boxe sobre radiografias (p. 356), verifique os conhecimentos prévios dos estudantes, perguntando se algum deles já realizou exame radiológico. Depois, peça-lhes que façam uma comparação entre uma fotografia e uma radiografia. Verifique se eles percebem que a película sensibilizada na radiografia fica atrás do "objeto" que se deseja registrar na imagem, enquanto na fotografia comum o "objeto" fica na frente.

Ciência tem história – O Prêmio Nobel e Madame Curie (página 357)

- O objetivo desta seção é valorizar o papel da mulher no desenvolvimento científico; reconhecer e repudiar a existência do preconceito de gênero dentro da comunidade científica; reconhecer e valorizar o desenvolvimento experimental do conhecimento científico; identificar que o conhecimento científico por si só não é suficiente para minimizar preconceitos ou elevar a condição ética e moral dos cientistas. Essa abordagem desenvolve as competências **CGEB1**, **CGEB7** e **CGEB8**.

Decaimento radioativo (páginas 358 e 359)

- A tabela de tipos de decaimento (p. 358) apresenta os decaimentos alfa, beta e gama. Verifique se os estudantes estão familiarizados com os tipos de partículas subatômicas emitidas nos decaimentos. Se necessário, retome esse conteúdo para a melhor compreensão deles sobre o tema.
- Peça aos estudantes que observem a ilustração da penetração das emissões radioativas e, em seguida, associe essa representação aos aventais de chumbo que os técnicos de radiologia usam ao realizar exames de raios X. Pergunte-lhes como imaginam ser o revestimento das paredes onde esses exames são realizados e, até mesmo, como é o revestimento de uma usina nuclear.

- No boxe *Roteiro* (p. 359), os estudantes precisam interpretar o símbolo atômico e respectivos algarismos para chegar às respostas e ter o conhecimento da composição de uma partícula alfa.

Práticas de Ciências – Explicando a radioatividade (página 361)

- A atividade prática desta seção trabalha a competência geral **CGEB7** e a competência específica **CECNTEM3** e as habilidades correspondentes **EM13CNT302** e **EM13CNT303**.
- A intenção é que os estudantes exercitem a habilidade de resumir, de explicar e de representar fenômenos observados pela ciência, fazendo a ponte entre o universo científico e o público que desconhece essas informações. Entender as concepções alternativas do outro pode ajudá-los a serem mais críticos com relação às próprias crenças e a questionar o senso comum, comparando-o com dados e conhecimentos científicos.
- Caso seja pertinente, organize uma exposição dos materiais produzidos para que os estudantes e a comunidade escolar possam apreciar os trabalhos e aprender mais sobre a radioatividade. Avalie qual seria a melhor maneira de realizar essa exposição, dependendo da natureza dos trabalhos desenvolvidos.
- Ao incentivar estudantes a utilizar as tecnologias da comunicação e da informação para acessar, se comunicar e disseminar informações, exercendo protagonismo e autoria, a atividade contribui para o desenvolvimento da competência geral **CGEB5**.

Física e Biologia – Esterilização do mosquito *Aedes aegypti* (páginas 362 e 363)

- Esta seção propõe um trabalho interdisciplinar entre Física e Biologia. O(A) professor(a) de Biologia poderá aprofundar a explicação sobre as condições de reprodução do mosquito *Aedes aegypti* e sobre os cuidados e riscos das doenças que são transmitidas por ele. Por isso, sugerimos o planejamento desta seção em conjunto com o professor de Biologia.
- As atividades propostas permitem desenvolver aspectos da competência geral **CGEB10**, ao propor atividade de conscientização da comunidade. Promove-se também a habilidade **EM13CNT103**, ao utilizar o conhecimento sobre as radiações para avaliar as potencialidades de sua aplicação no ambiente, a habilidade **EM13CNT203**, ao prever efeitos de intervenções nos ecossistemas e seus impactos nos seres vivos, e a habilidade **EM13CNT302** ao comunicar temas científicos de relevância ambiental.

Alteração do núcleo atômico (página 364)

- Ao explicar a reação em cadeia na fissão nuclear, informe os estudantes da importância dos cuidados tomados em usinas nucleares, pois é com a fissão que se obtém a energia. Cite, por exemplo, o acidente de Fukushima, no Japão, em que três dos seis reatores da usina derreteram após ela ser atingida por *tsunami*. Explique aos estudantes que uma reação em cadeia, ao sair do controle, dificilmente poderá ser interrompida e só vai parar quando o combustível se esgotar. A abordagem desse tema promove aspectos da competência específica **CECNTEM1**.
- Explique aos estudantes que a fusão nuclear está em estudos para que seja uma alternativa ao uso da fissão nuclear, já que, na fusão, o combustível seria o hidrogênio, e não o urânio. Porém, atualmente, para conseguir a fusão nuclear, consome-se uma quantidade de energia maior do que a liberada.

FONTES COMPLEMENTARES

- *Césio-137*: o pesadelo de Goiânia. Direção: Roberto Pires. Brasil, 1990 (115 min).

  O filme relata o acidente radiológico devido ao descarte irregular de um aparelho de radioterapia em uma clínica abandonada. O acidente, classificado como nível 5 , ocorreu em 13 de setembro de 1987, na cidade de Goiânia (GO).

- Heisenberg, W. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

  O autor faz uma autobiografia intelectual, na qual apresenta os debates – sobre Física, filosofia, religião, política, etc. – que travou com Bohr, Dirac, Einstein, Pauli e Planck, entre outros. Também descreve sua experiência durante o regime nazista e o esforço alemão para dominar a energia atômica ainda durante a guerra.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Visita a serviço de medicina nuclear

Uma visita técnica a serviços de medicina nuclear da cidade e a setores de radioterapia pode ser proposta como atividade complementar. Solicite aos estudantes que pesquisem, na cidade em que vivem, locais (hospitais, clínicas, etc.) que realizam exames de medicina nuclear e verifiquem a possibilidade de visitar um desses locais para visualizarem os equipamentos e entender a logística de armazenamento e os cuidados com produtos radioativos na prática. Você pode solicitar como avaliação um relatório escrito com as informações obtidas, tais como: substâncias utilizadas, tempo de vida médio do equipamento, quais órgãos do corpo são visualizados, cuidados com os pacientes, processo de produção das imagens, quais as regras de proteção radiológica, uso do dosímetro, entre outras. Se a visita não for possível, convide um técnico da área para fazer uma palestra na escola. Como preparação e avaliação, peça aos estudantes que elaborem uma lista de perguntas.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- Peça aos estudantes que se organizem em grupos para realizar pesquisas de decaimentos radioativos existentes, com outros elementos químicos. Por exemplo, do tório:

$$^{232}\mathrm{Th}_{90} \rightarrow {}^{4}\alpha_{2} + {}^{228}\mathrm{Ra}_{88}$$

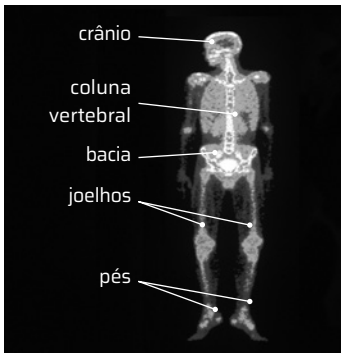
- Existem vários filmes que abordam os temas radioatividade, uso da energia nuclear e armas atômicas, inclusive documentários. Você pode utilizá-los em uma avaliação sobre os conceitos explorados no capítulo. Algumas indicações:
  - *Radio Bikini*. Direção: Robert Stone. Estados Unidos, 1988 (56 min). O documentário mostra os testes nucleares realizados nos anos 1950 no atol de Bikini, no Pacífico.
  - *O início do fim*. Direção: Roland Joffé. Estados Unidos/México, 1989 (127 min). O filme dramatiza a construção da bomba nuclear no Projeto Manhattan, apresentando boas cenas sobre o funcionamento da pesquisa e os testes de laboratório. O acidente mostrado no filme é baseado em um caso real. Este pode ser um tema de discussão entre os estudantes. Um dos assuntos pode ser os efeitos da radiação no corpo humano.
- Proponha uma pesquisa, com amigos e familiares, sobre energia nuclear. A ideia é levantar espontaneamente os conceitos que as pessoas têm sobre o assunto e perguntar para que serve a energia nuclear. Depois de aplicar o questionário a várias pessoas, os estudantes devem elaborar um resumo das respostas obtidas e redigir uma resenha sobre o conhecimento das pessoas, com base nos conceitos estudados.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (página 365)

6. **a)** A imagem é de uma cintilografia óssea, pois é possível perceber concentrações de material em algumas partes do esqueleto humano, diferentemente de uma imagem obtida por raios X na qual o esqueleto apareceria uniforme.

b)



Centre Jean Perrin/SPL/Latinstock

8. Não. A exposição aos raios X em exames é bem controlada e não tem capacidade de ionizar o paciente. A única preocupação é em relação ao número de sessões por ano que se pode fazer. Para isso, não há um número estabelecido, visto que, muitas vezes, os benefícios superam os riscos de exposição à radiação. Mas, segundo especialistas, a margem segura seria de até cinco radiografias por ano.

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 366 E 367)

Pensando Ciências – É real ou ficção científica? (páginas 366 e 367)

- Esta seção propõe uma análise crítica de obras do gênero de ficção científica (filmes, livros, etc.) sob o olhar da ciência, de maneira contextualizada e explorando as eventuais limitações das ideias trazidas por determinada obra artística. Pretende-se, com isso, que o estudante seja minimamente capaz de diferenciar o que é aceito pela ciência hoje em dia e o que é mera extrapolação de uma obra ficcional.
- Sugere-se o trabalho com algum dos filmes da personagem Homem-formiga, mencionado na etapa Reconhecendo padrões. *O filme Homem-formiga e a Vespa: Quantumania*, (Marvel Studios, Peyton Reed, 2023), em específico, por explorar amplamente o chamado "mundo quântico". Avalie pedir aos estudantes que assistam previamente ao filme antes de realizar a atividade. Oriente-se com questões problematizadoras que relacionem os conteúdos da unidade, especialmente os de Física Quântica. Como indicação de leitura, sugerimos a matéria jornalística " A ciência por trás do mundo quântico de Homem-Formiga", da Revista *National Geographic Brasil*, disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/ciencia/2023/02/a-ciencia-por-tras-do-mundo-quantico-de-homem-formiga (acesso em: 2 out. 2024).
- Outros filmes ou livros de ficção científica podem ser explorados na seção, como o próprio *Frankenstein*, de Mary Shelley, citado na introdução da seção; o filme *Interestelar* (Direção: Christopher Nolan. Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, 2014, 169 min.), que aborda exploração espacial e relatividade; *2001: uma odisseia no espaço* (Direção: Stanley Kubrick. Estados Unidos, Reino Unido, 1968, 149 min.), que também aborda o espaço e a inteligência artificial; o livro *Contato* (Carl Sagan, 1985), que explora o eventual encontro dos seres humanos com extraterrestres; entre outros.
- Além de contextualizar a obra de ficção científica, a seção também promove a valorização e a fruição de manifestações artísticas, desenvolvendo as competências gerais **CGEB1**, **CGEB2**, **CGEB3**, **CGEB4** e **CGEB6**. Também promove o tema contemporâneo transversal **Diversidade cultural**, da área Multiculturalismo.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Pensando Ciências – É real ou ficção científica? (páginas 366 e 367)

Para discutir

1. Se preferir, faça um trabalho focado do algoritmo com algum conteúdo em específico do filme ou livro analisado, ou seja, divida sua análise entre os estudantes. O montante dessas análises permitirá uma visão mais ampla da obra, ao final.

2. Espera-se que a discussão permita aos estudantes perceberem que há mais de uma solução possível para o mesmo problema e que algumas delas oferecem uma resposta mais adequada do que outras.

Questões globais (páginas 368 e 369)

1. Soma das alternativas corretas: 01 + 04 + 08 + 16 = 29

01) Verdadeira. O movimento da partícula pode ser decomposto, a cada instante, nas direções tangencial e radial. Como a velocidade é vetorial, e muda continuamente de direção, haverá sempre um componente radial da aceleração, responsável pela variação na direção. Porém, só existe componente tangencial da aceleração se a intensidade do vetor velocidade mudar com o tempo. A suposição explícita aqui foi que a intensidade da velocidade não muda, logo a aceleração tangencial será nula.

02) Falsa. Como há velocidade tangencial, a velocidade angular não será nula, pois ela indica a variação angular durante um certo intervalo de tempo.

04) Verdadeira. O modelo simplificado de Bohr despreza a massa do elétron e pressupõe uma órbita circular desse elétron ao redor do núcleo. Por desprezar a interação gravitacional, a única força envolvida é uma atração elétrica entre elétron e núcleo. A direção da força elétrica é radial e a intensidade desta força é constante. Então, esta é uma resultante centrípeta e o movimento é circular e uniforme, de acordo com as leis da Mecânica Clássica.

08) Verdadeira. A força centrípeta é inversamente proporcional ao raio da órbita circular:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

Se o raio da trajetória aumenta, a força diminui.

16) Verdadeira. No estado fundamental, a resultante centrípeta é constante e a órbita circular do elétron é estável.

2. Alternativa **d**.

[**I**] Verdadeira. Só ocorre emissão (ou absorção) de radiação por parte dos elétrons se eles mudarem de nível de energia.

[**II**] Falsa. A ideia de Planck era a quantização de energia, que foi aproveitada por Bohr. O efeito fotoelétrico foi observado por Becquerel e Hertz, mas foi Einstein quem primeiramente descreveu o efeito.

[**III**] Falsa. A interação mais relevente entre elétron e próton é a eletromagnética. A interação gravitacional é muito menos intensa e pode ser desprezada.

[**IV**] Verdadeira. A razão entre as intensidades da força elétrica e da força gravitacional entre elétron e próton é da ordem de 10^{39}, o que torna a atração gravitacional completamente irrelevante.

5. Alternativa **a**.

A opção **b** é falsa porque as radiações ionizantes mais intensas são as que têm comprimentos de onda menores que o do ultravioleta longínquo: raios-X e raios gama.

A opção **c** é falsa porque ondas eletromagnéticas de qualquer frequência (incluindo a visível) podem ser consideradas radiações.

A opção **d** é falsa porque, se ocorre o efeito fotoelétrico, o metal foi ionizado.

A opção **e** é falsa porque, ao ionizar moléculas dos tecidos do corpo, necessariamente alteramos as propriedades químicas daqueles átomos. Por isso, é possível tratar pacientes com radioterapia.

A opção **a** é verdadeira, as radiações visíveis (luz branca e *laser* vermelho) e de micro-ondas têm comprimentos de onda maiores que os necessários para ionizar materiais.

7. Alternativa **a**. Para saltar do nível 2 para o nível 3 de energia, o elétron deve absorver uma quantidade de energia dada por:

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -\frac{13{,}6}{3^2} + \frac{13{,}6}{2^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{-4 \cdot 13{,}6 + 9 \cdot 13{,}6}{36} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E = \frac{68}{36} \cong 1{,}89 \text{ eV}$$

8. **a)** Analisando a equação de quantização de energia de Planck:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Sendo *h* e *c* constantes, energia *E* do fóton emitido é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda (λ). Como o comprimento de onda da luz azul é menor que o comprimento de onda da luz vermelha, os fótons mais energéticos são os da luz azul:

$$E_{azul} > E_{vermelho}$$

b) Pela figura, podemos estimar o comprimento de onda da luz laranja em cerca de 600 nm, ou:

$\lambda_{laranja} = 600 \cdot 10^{-9}$ m $= 6 \cdot 10^{-7}$ m.

Lembrando, que, pela equação fundamental da ondulatória:

$$f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow f_{laranja} = \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}} = 0{,}5 \cdot 10^{15} \Rightarrow f_{laranja} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

c) A energia do fóton emitido deve ser exatamente igual à diferença entre os níveis de energia E_2 e E_1.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$$

Substituindo-se nessa expressão os valores do enunciado:

$$\lambda = \frac{4 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{20{,}2 - 18{,}7} = \frac{12 \cdot 10^{-7}}{1{,}5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m ou } 800 \text{ nm.}$$

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) Um teste de laboratório permite identificar alguns cátions metálicos ao introduzir uma pequena quantidade do material de interesse em uma chama de bico de Bunsen para, em seguida, observar a cor da luz emitida.

A cor observada é proveniente da emissão de radiação eletromagnética ao ocorrer a

a) mudança da fase sólida para a fase líquida do elemento metálico.

b) combustão dos cátions metálicos provocada pelas moléculas de oxigênio da atmosfera.

c) diminuição da energia cinética dos elétrons em uma mesma órbita na eletrosfera atômica.

d) transição eletrônica de um nível mais externo para outro mais interno na eletrosfera atômica.

e) promoção dos elétrons que se encontram no estado fundamental de energia para níveis mais energéticos.

Alternativa **d**. Quando um átomo absorve energia de uma fonte como o bico de Bunsen, ocorre a transição de elétrons de níveis menos energéticos, mais internos, para níveis mais energéticos, mais externos, de acordo com o modelo de Bohr. Para retornar ao nível fundamental, os elétrons devem liberar a energia absorvida. A liberação pode ocorrer na forma de energia luminosa, cujo comprimento de onda é correspondente à diferença de energia entre os níveis da transição eletrônica, que, nesse caso, ocorre de um nível mais energético, mais externo, para o estado fundamental, que é um nível menos energético e, portanto, mais interno.

2. (**Enem**) Em 1808, Dalton publicou o seu famoso livro intitulado *Um novo sistema de filosofia química* (do original *A New System of Chemical Philosophy*), no qual continha os cinco postulados que serviam como alicerce da primeira teoria atômica da matéria fundamentada no método científico. Esses postulados são numerados a seguir:

1. A matéria é constituída de átomos indivisíveis.

2. Todos os átomos de um dado elemento químico são idênticos em massa e em todas as outras propriedades.

3. Diferentes elementos químicos têm diferentes tipos de átomos; em particular, seus átomos têm diferentes massas.

4. Os átomos são indestrutíveis e nas reações químicas mantêm suas identidades.

5. Átomos de elementos combinam com átomos de outros elementos em proporções de números inteiros pequenos para formar compostos.

Após o modelo de Dalton, outros modelos baseados em outros dados experimentais evidenciaram, entre outras coisas, a natureza elétrica da matéria, a composição e organização do átomo e a quantização da energia no modelo atômico.

Oxtoby, D. W.; Gillis, H. P.; Butler, L. J. *Principles of modern chemistry*. Boston: Cengage Learning, 2012 (adaptado).

Com base no modelo atual que descreve o átomo, qual dos postulados de Dalton ainda é considerado **correto**?

a) 1
b) 2
c) 3
d) 4
e) 5

Alternativa **e**. O postulado 1 não é considerado correto, pois já se sabe da existência de subpartículas. O postulado 2 também não é correto, porque átomos de um mesmo elemento podem apresentar massas diferentes, com número de nêutrons diferentes no núcleo. Por causa disso, a massa de átomos de elementos diferentes pode coincidir e, portanto, o postulado 3 não é mais considerado correto. O postulado 4 não é mais aceito, já que transformações como o decaimento radioativo e a fissão nuclear podem alterar sua identidade e destruir o átomo original. O postulado 5 ainda é válido.

8 FÍSICA DO "MUITO GRANDE"

INTRODUÇÃO

Nesta unidade, são apresentados conceitos importantes para a compreensão do Universo, seu surgimento e sua evolução. O capítulo 1 aborda a formação da Terra, a explicação de sua origem pela ciência, a Terra primitiva, a localização do planeta no Sistema Solar e sua estrutura atual. No capítulo 2, são introduzidas questões relacionadas à dimensão do Universo e às unidades de medida utilizadas. Apresentam-se também a classificação, a "vida" de uma estrela e sua relação com a origem dos elementos químicos. No capítulo 3, introduz-se a teoria da relatividade de Einstein e, no capítulo 4, estudam-se os antigos modelos de Universo e os mais atuais, que provocaram uma revolução nos modelos para o cosmo com relação às suas geometria e estrutura.

A seção *Estudo de caso*, ao abordar a cosmologia na cultura tupi-guarani, leva os estudantes a reconhecer e a valorizar os saberes utilizados pelos diferentes povos sobre a observação dos corpos celestes.

Os objetivos da unidade se articulam a esses e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e de habilidades. Nesta unidade, são promovidas as competências gerais da Educação Básica **CGEB1** (valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico), **CGEB2** (exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação) e **CGEB3** (valorizar as diversas manifestações culturais locais). Também são promovidas habilidades como a **EM13CNT201** (analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar explicações distintas sobre o surgimento e a evolução do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente).

Sugestão de planejamento

O estudo da cosmologia pode ser um grande motivador para despertar o interesse dos estudantes pelo conhecimento científico. A temática contribui para enriquecer a formação deles em aspectos da história e filosofia da ciência e da construção do conhecimento científico. Dessa forma, considere um trabalho em parceria com professores de História e de Sociologia, ao desenvolver a seção *Estudo de caso*. O capítulo 1 também oferece oportunidade de trabalho interdisciplinar com o(a) professor(a) de Geografia.

MAPA DA UNIDADE

CAPÍTULO	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
1	• Analisar e discutir explicações sobre o surgimento e a evolução da Terra. • Compreender a teoria da deriva continental. • Compreender o formato da crosta terrestre.	CGEB2 CGEB4 CGEB5 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT201 EM13CNT209 EM13CNT301	
2	• Analisar as medidas astronômicas e compará-las com o Sistema Internacional de Unidades (SI). • Identificar as principais características das estrelas e utilizá-las para a classificação estelar. • Analisar os estágios finais da evolução estelar, relacionando-os com a massa da estrela. • Construir um modelo em escala do Sistema Solar.	CGEB1 CGEB2 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT209 EM13CNT301 EM13CNT303	Ciência e tecnologia
3	• Comparar os princípios da relatividade de Galileu e de Einstein. • Identificar a gravidade como a curvatura do espaço-tempo produzida pela massa. • Utilizar um simulador para investigar a relação espaço-tempo e as simultaneidades.	CGEB1 CGEB2 CGEB6 CECNTEM2	EM13CNT201 EM13CNT204	
4	• Identificar as principais teorias do Modelo Cosmológico Padrão. • Analisar a lei de Hubble como base experimental da teoria do Universo em expansão. • Reconhecer o modelo do Big Bang e interpretar seus resultados com base na teoria do Universo em expansão.	CGEB1 CGEB2 CECNTEM2 CECNTEM3	EM13CNT201 EM13CNT301	
Fechamento da unidade	• Conhecer, interpretar e valorizar os saberes tradicionais oriundos da observação da natureza pelos povos indígenas brasileiros.	CGEB3 CGEB6 CECNTEM3	EM13CNT301	Diversidade cultural

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

ABERTURA DA UNIDADE (PÁGINAS 370 E 371)

- A abertura da unidade visa despertar a curiosidade dos estudantes para o tema a partir de uma imagem obtida pelo telescópio espacial Hubble em que são mostradas diversas galáxias. A imagem permite que eles tenham uma ideia da imensidão do Universo. Proponha um exercício de imaginação, solicitando-lhes que pensem nas escalas de tamanho do Sistema Solar, da Via Láctea e do espaço em que diversas galáxias estão presentes. A imagem também auxilia na introdução dos temas que serão abordados nos capítulos: unidades usadas para representar dados astronômicos (como as distâncias entre os astros), reconhecimento de tipos de astro, do que são feitas as estrelas, entre outros.
- Peça aos estudantes que realizem uma pesquisa prévia sobre galáxias, levantando algumas informações: como são formadas, o tamanho médio delas, etc. Dessa pesquisa podem surgir dúvidas instigantes para o estudo da unidade. Observe se eles percebem que a unidade de distância deixa de ser o quilômetro e passa a ser, principalmente, o ano-luz.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Questões para refletir (página 370)

2. Ressalte que imagens de galáxias distantes, como a imagem que abre a unidade, são capturadas por telescópios potentes, com capacidade de alta resolução, como o telescópio espacial Hubble. Comente, ainda, que o Hubble foi lançado em órbita em 1990. Caso julgue oportuno, indique aos estudantes o *link* da Nasa, disponível em: https://science.nasa.gov/mission/hubble/multimedia (acesso em: 2 out. 2024), no qual é possível observar diversas fotos tiradas pelo Hubble.

CAPÍTULO 1 EVOLUÇÃO DA TERRA (PÁGINA 372)

- Neste capítulo, as habilidades **EM13CNT201**, **EM13CNT209** e **EM13CNT301** são trabalhadas no âmbito da análise de modelos, teorias e leis sobre o surgimento e evolução da Terra. Também são promovidas as competências gerais **CGEB2**, ao incentivar o exercício da curiosidade intelectual e o uso de abordagem própria das ciências, e **CGEB4**, ao utilizar diferentes linguagens para partilhar informações.

A origem da Terra (páginas 372 e 373)

- Em um primeiro momento, deve ser introduzida a ideia de que, no Universo, tudo está em constante modificação: estrelas nascendo, estrelas morrendo, galáxias se afastando umas das outras, planetas orbitando sóis, placas tectônicas se movimentando, espécies evoluindo.
- Se julgar oportuno, sugira aos estudantes a leitura do texto "Kant e Laplace: a formação do Sistema Solar", indicado na seção *Fontes complementares* deste capítulo. O texto mostra a contribuição de Kant e de Laplace para a formulação da hipótese nebular. Além disso, é uma oportunidade para mostrar aos estudantes que as teorias científicas podem ser modificadas à luz de novas evidências ou proposições bem fundamentadas.

A Terra primitiva (página 373)

- Ao explicar as características da Terra primitiva, é importante comentar com os estudantes a "catástrofe do ferro", um evento geológico ocorrido aproximadamente 500 milhões de anos atrás. Naquele momento, a temperatura do planeta teria aquecido à temperatura de fusão do ferro (~1 540 °C). A catástrofe de ferro resultou na reunião de metais pesados, como ferro e níquel, no núcleo do planeta durante um breve período geológico. Além disso, elementos relativamente flutuantes, como produtos de sílica, água e ar, permaneceram próximos à superfície da Terra, formando a crosta e o manto primitivos. Esse processo é denominado diferenciação planetária. Outro fator preponderante produzido por essa catástrofe foi a criação do campo magnético da Terra, estrutura que protege o planeta do vento solar e da radiação eletromagnética provenientes do espaço.

Os planetas do Sistema Solar (página 374)

- Avalie realizar uma visita guiada em um planetário ou museu de astronomia da sua região. Agende com antecedência e oriente os estudantes na preparação de um roteiro de visita.

A estrutura da Terra (páginas 374 e 375)

- Terremotos e vulcões são duas das principais evidências da teoria da tectônica de placas. Se possível, sobreponha dois mapas, que podem ser encontrados na internet: um que mostre a localização das principais placas tectônicas e um com a localização de vulcões ativos e de abalos sísmicos recentes.
- Frequentemente lembre os estudantes de que os períodos de tempo relacionados aos eventos mencionados neste capítulo são imensamente grandes, impossíveis de serem comparados com qualquer noção temporal que temos.
- A introdução do tópico "Formação da atmosfera e dos oceanos" (p. 375) é uma oportunidade para enfatizar a inexistência de verdades absolutas nas ciências. Por exemplo, ainda hoje não há consenso na comunidade científica sobre a origem da água na Terra. Há, contudo, diferentes e bem fundamentadas hipóteses sobre tal evento. Esse é outro aspecto das ciências para ser trabalhado com os estudantes: as controvérsias e as divergências científicas. Tais divergências são comuns e podem ser fruto de pressupostos teóricos distintos entre os cientistas, da obtenção de novas evidências empíricas, entre outras possibilidades.
- Ao abordar as teorias da deriva continental e da tectônica de placas (e em outros momentos oportunos), comente com os estudantes a pouca visibilidade que cientistas mulheres costumam receber na comunidade científica. Como contextualização, você pode indicar aos estudantes a leitura do material sobre a vida e a obra da geóloga e oceanógrafa estadunidense Marie Tharp (1920-2006), disponível na seção *Fontes complementares* deste capítulo.

Práticas de Ciências – Desvendando a crosta terrestre (página 376)

- Para esta atividade, convide os professores de Arte e de Geografia para auxiliar os estudantes nos trabalhos com argila.
- O relevo oceânico, assim como o da superfície terrestre, tem grande variedade de formas e irregularidades. Antes de iniciar os trabalhos com a argila, solicite aos estudantes que façam uma pesquisa sobre as principais formas do relevo oceânico (plataforma continental, talude continental, planície abissal, fossas submarinas e cordilheiras oceânicas). Essa atividade promove a competência geral **CGEB4**, ao levar os estudantes a utilizar diferentes linguagens para se expressar e partilhar informações, bem como a competência específica **CECNTEM3** e a habilidade **EM13CNT301**, ao levar os estudantes a representar e a interpretar modelos explicativos.

FONTES COMPLEMENTARES

- Duarte, Fernando. Por que gelado Plutão ainda causa debates acalorados. *BBC News Brasil*, [*s. l.*], 17 fev. 2023. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/articles/c3gjj30zx3ko. Acesso em: 2 out. 2024.

  O texto traz alguns dos aspectos considerados pela comunidade de astrônomos para o "rebaixamento" de Plutão a planeta-anão.

- Martins, R. de A. Kant e Laplace: a formação do Sistema Solar. *In*: Martins, R. de A. *O Universo*: teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Moderna, 1994. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4458421/mod_book/chapter/20108/textos/texto_3_sem7.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

  O texto versa sobre ideias de Kant e Laplace para explicar a origem do Universo.

- Veronezi, G. M. B. Celebrando Marie Tharp: a mulher que mapeou o fundo do oceano. *In*: Felisbino, M. B. *et al. Blog Ciência pelos olhos delas*. Campinas, 12 ago. 2016. Disponível em: https://www.blogs.unicamp.br/cienciapelosolhosdelas/2016/08/12/celebrando-marie-tharp-mulher-que-mapeou-o-fundo-do-oceano/. Acesso em: 2 out. 2024.

  O artigo apresenta aspectos da vida de Marie Tharp, cientista que contribuiu para o mapeamento do fundo oceânico.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Reclassificação de Plutão

Proponha aos estudantes a leitura do texto "Por que gelado Plutão ainda causa debates acalorados", indicado na seção *Fontes complementares*. Após a leitura, promova um debate solicitando a eles que identifiquem e discutam os argumentos favoráveis e contrários à mudança de classificação de Plutão levantados pelos cientistas. Essa discussão permitirá trabalhar um dos relevantes aspectos da ciência: a provisoriedade do conhecimento científico.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- A seção *Práticas de Ciências* "Desvendando a crosta terrestre" pode ser utilizada como instrumento de avaliação. Observe nos estudantes a capacidade de trabalho em equipe, o conhecimento adquirido durante a atividade, a capacidade de resolução de problemas, entre outros aspectos. Assinale a importância do trabalho colaborativo.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (página 377)

3. c) O aumento da emissão de gás carbônico e de metano é responsável pelo incremento do efeito estufa. Algumas ações para minimizar a emissão desses gases pela atividade humana são: evitar a queima de combustíveis em usinas termelétricas, substituindo-as por outros tipos de usina, como usinas solares e eólicas; diminuir a utilização de automóveis de motor à combustão, dando-se preferência aos elétricos ou híbridos; diminuir a emissão do gás metano emitido por animais em confinamento da pecuária intensiva, como nas criações de bovinos, ovelhas e porcos.

5. a) Resposta variável. Podem ser citadas a natureza específica da composição de cada astro e a baixa intensidade do campo gravitacional, incapaz de reter as partículas gasosas. Nesse momento, promove-se a competência geral **CGEB5**, no que se refere ao uso de tecnologias de comunicação nas práticas escolares de pesquisas na internet de forma crítica e significativa.

b) Resposta variável. Podem ser citados o efeito estufa, o impedimento de que ondas eletromagnéticas de alta frequência atinjam a Terra (como na proteção gerada pela camada de ozônio da Terra, que bloqueia a radiação dos raios UV provenientes do Sol) e os fenômenos das auroras boreal e austral.

CAPÍTULO 2 ESTRELAS (PÁGINA 378)

- Este capítulo traz à tona muitas ideias preconcebidas dos estudantes por se tratar de um assunto que desperta interesse entre eles. Procure identificar e conduzir essas ideias e sanar eventuais dúvidas a respeito dos temas estudados.
- Ao apresentar a definição do que são estrelas e como esses corpos se formam e evoluem, o capítulo auxilia na construção da competência geral **CGEB1** e da específica **CECNTEM2**.

Escala de distância cósmica (páginas 379 a 381)

- Quando os cientistas estudam algo com dimensões astronômicas e praticamente inacessíveis, como o Universo de maneira geral, eles elaboram modelos explicativos para a sua formação, analisam detalhadamente seus elementos constituintes e, com base nas informações levantadas, criam hipóteses a respeito do futuro.
- Durante as aulas, apresente os conceitos e princípios básicos do estudo do Universo, como medidas astronômicas, tipos de galáxias e de estrelas e seu desenvolvimento. Nessas aulas, trabalhe com as várias imagens do capítulo e acrescente outras que possam mobilizar os estudantes para o estudo.

Práticas de Ciências – Tamanhos e distâncias no Sistema Solar (página 382)

- A atividade promove a habilidade **EM13CNT301**, ao instigar os estudantes a construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, representar e interpretar modelos explicativos e dados para construir conclusões sob uma perspectiva científica. Também promove a competência geral **CGEB2,** levando-os a exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, como a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade.
- Ajude os estudantes na confecção do Sol, que servirá de referência para os demais astros representados.
- Certifique-se de que os estudantes tenham compreendido os dados dispostos nas tabelas. Eles devem perceber que, enquanto o tamanho dos demais astros é dado em milímetros, as distâncias entre eles e o Sol são em centímetros. A análise do modelo permitirá que percebam a magnitude das dimensões envolvidas quando se aborda o Universo.
- Explique aos estudantes que, dada a distância de 450,5 cm (mais de 4,5 m) de Netuno em relação ao Sol, a atividade deve ser feita, preferencialmente, em um lugar aberto.

Classificação das estrelas (páginas 383 e 384)

- Explique aos estudantes que usar o Sol como referência facilita entender a classificação de outras estrelas, uma vez que o Sol, comparado com qualquer outra estrela, está muito próximo da Terra.
- No texto "Ordem de grandeza" (p. 383), reforce o que é ordem de grandeza e por que entender seus usos é importante em

Astronomia. Esse trabalho pode ser feito em conjunto com o(a) professor(a) de Matemática.

- Se julgar necessário, utilize uma Tabela Periódica para mostrar aos estudantes os elementos químicos que serão abordados neste tópico. Peça-lhes que identifiquem esses elementos na Tabela Periódica e que indiquem a massa de cada um.
- Mostre aos estudantes a diferença entre massa inicial e massa final em uma fusão nuclear. Explique a eles que essa diferença foi transformada em energia e pode ser calculada pela famosa equação $E = m \cdot c^2$.

O destino das estrelas (páginas 385 a 387)

- Ao levar os estudantes a analisar a evolução estelar, é importante estabelecer relações entre o que acontece no interior das estrelas e a origem dos elementos químicos, suas características e distribuição na natureza, permitindo o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT209**.
- Aproveite o tema da astronomia amadora no boxe *Ação e cidadania* para abordar o objeto digital *Astronomia amadora*. Ao final, questione os estudantes se eles têm dúvidas e converse com eles sobre as motivações de um astrônomo amador e se já fizeram parte de algum grupo de astronomia amadora.
- Peça aos estudantes que realizem buscas na internet de imagens de supernovas e pulsares. Solicite-lhes detalhes das imagens, como a distância dessas formações em relação à Terra, o tamanho delas, como a imagem foi obtida, etc. Promova um momento para que os estudantes compartilhem as imagens e os detalhes de cada uma com os colegas.

Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente – Buraco negro (páginas 388 e 389)

- Caso considere oportuno, além de realizar a seção, peça aos estudantes que acessem o texto indicado no boxe *Para explorar* do Livro do Estudante, que explica a técnica utilizada para "fotografar" um buraco negro em 2019. Certamente, esse feito foi uma das maiores conquistas da ciência dos últimos anos, por se tratar de algo que, até então, era teórico e difícil de ser registrado em imagem.
- A exploração do texto também contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT303**, uma vez que os estudantes interpretam textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza. A seção também explora o tema contemporâneo transversal **Ciência e tecnologia**.

Física e Química – Química das estrelas (páginas 390 e 391)

- A proposta desta seção é um trabalho interdisciplinar entre Física e Química. Os professores de Física e Química podem planejar essa atividade de forma colaborativa para explorar tanto a formação das estrelas e sua evolução com a Física como o papel fundamental das reações químicas e a formação dos elementos químicos nas estrelas.
- As atividades propostas desenvolvem a competência geral **CGEB2**, ao exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, e a habilidade **EM13CNT209**, ao analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários.

FONTES COMPLEMENTARES

- Horvath, J. E. *O ABCD da astronomia e astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

  Nesse livro, o autor traz uma visão breve e atualizada de várias áreas da astrofísica, particularmente a astrofísica estelar, a cosmologia e a astrobiologia. Apresenta, ainda, estimativas de grandezas físicas estelares e sugere atividades experimentais para facilitar o aprendizado dos temas abordados.

- Star Walk 2 – Mapa do céu.

  Aplicativo para dispositivos móveis que possibilita observar estrelas, constelações e planetas em tempo real. Basta baixar e apontar para o céu e o aplicativo indica o que é possível ver naquele momento.

ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Atividade 1: Série *Cosmos: mundos possíveis.* National Geographic Channel. Direção: Ann Druyan e Brannon Braga.

Você pode selecionar alguns dos 13 episódios dessa série (EUA, 2020) que julgar interessantes e exibi-los aos estudantes, de acordo com sua programação e tempo disponível. Durante a apresentação, faça pausas para discutir os conteúdos abordados, antecipando ou confirmando o que foi ou será trabalhado no capítulo.

Atividade 2: Observação do céu

Uma atividade que pode ser desenvolvida sem material específico e que agrada muito aos estudantes é a observação do céu noturno local. Combine com a turma uma data adequada (consulte a previsão do tempo para escolher uma noite de céu limpo para a atividade). Os estudantes deverão levar caderno e lápis para fazer anotações de campo. O horário adequado para o início das observações é logo após o pôr do sol. Peça aos estudantes que façam, no caderno, um mapa do céu que vão observar, representando as estrelas que puderem ver no firmamento.

No dia seguinte, analise o mapa dos estudantes. Com o auxílio de um mapa do céu padrão (é possível encontrar um desses mapas disponível em: https://zenite.nu/; acesso em: 2 out. 2024), ajude-os a identificar as constelações, os planetas e demais elementos do firmamento. Também é possível instalar no celular aplicativos gratuitos que permitem identificar os corpos celestes presentes no céu do momento, como o sugerido anteriormente em *Fontes complementares*.

Solicite-lhes que continuem observando o céu nas semanas seguintes, por pelo menos dois meses, e que o analisem procurando responder às questões: "O céu (o conjunto dos astros observados) muda de uma noite para a outra?"; "E de um mês para o outro?"; "Como é o ciclo da Lua?"; entre outras.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Uma possibilidade interessante de avaliação é pedir aos estudantes que construam, em duplas ou trios, um mapa conceitual para o que foi explorado no capítulo. Nesse mapa, deve-se observar se os estudantes constroem proposições conceituais válidas e como eles relacionam os diferentes conceitos. Ao analisar os mapas conceituais da turma, será possível aferir a aprendizagem geral dos estudantes, bem como possíveis lacunas e construções conceituais equivocadas.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 380)

1. O tempo necessário para que um sinal de luz ($v = 3 \cdot 10^8$ m/s) emitido a $20 \cdot 10^9$ km de distância da Terra seja detectado é obtido pela equação da velocidade: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

$$3 \cdot 10^8 = \frac{20 \cdot 10^9 \cdot 10^3}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 6{,}7 \cdot 10^4 \text{ s} = 18{,}5 \text{ horas.}$$

CAPÍTULO 3 TEORIA DA RELATIVIDADE (PÁGINA 393)

Espaço curvo (página 393)

- Comece o capítulo discutindo com os estudantes as perguntas em *Para começar*. De modo geral, a teoria da relatividade é tratada pelo senso comum como um assunto complexo, entendido por "mentes brilhantes". Incentive os estudantes a contar o que imaginam ou o que sabem a respeito da teoria da relatividade e pergunte como as dimensões do espaço e do tempo se relacionam com ela.

Contexto histórico-científico (página 394)

- Explore com os estudantes o conceito de relatividade de Galileu. Explique-lhes que, para Galileu, o espaço e o tempo são independentes e absolutos, diferentemente do que afirma Einstein.

Teoria da relatividade especial de Einstein (página 395)

- Ao trabalhar este tema, explique aos estudantes que as novas ideias de Einstein não foram bem recebidas pelo meio científico de sua época.
- Comente com os estudantes que a ciência é construída por pessoas e, portanto, pode conter erros, mas que evolui constantemente à medida que surgem novas observações, evidências e ideias. Diga-lhes que as ideias de Galileu e de Newton estavam muito bem estabelecidas, mas que Einstein, com ideias arrojadas, contribuiu para ampliar o entendimento do Universo. De todo modo, ressalte que Galileu e Newton não estavam errados e tiveram suas teorias englobadas pela teoria de Einstein. Aproveite para desenvolver a competência específica **CECNTEM2**.
- O paradoxo dos gêmeos (página 395) é um tema que costuma intrigar os estudantes. Se julgar necessário, invista um pouco mais de tempo na abordagem dele com os estudantes. Para isso, você pode aproveitar o texto "Como testar o Paradoxo dos gêmeos sem uma espaçonave" sugerido na seção *Texto complementar*.

Teoria da relatividade geral de Einstein (página 396)

- Ao discutir este tópico e seu consequente aprofundamento na seção *Práticas de Ciências*, os estudantes poderão desenvolver a habilidade **EM13CNT204** (elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais).

Práticas de Ciências – Investigando a relação espaço-tempo e as simultaneidades (página 397)

- A atividade promove a habilidade **EM13CNT201**. Também permite que os estudantes exercitem a curiosidade intelectual recorrendo à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, contribuindo, assim, para o desenvolvimento da competência geral **CGEB2**, e ainda utilizem a tecnologia digital (simulador) na prática escolar, promovendo a competência geral **CGEB6**.

Ciência tem história – Há 100 anos, eclipse em Sobral pôs Einstein e a Teoria da Relatividade na história (página 398)

- É importante esclarecer para os estudantes que os conhecimentos científicos e tecnológicos são frutos da construção humana, portanto, estão inseridos em um processo histórico e social. Ressalte que o conhecimento científico nem sempre é acessível ao público em geral. Esse ponto é pertinente para trabalhar tanto a competência geral **CGEB1**, ao valorizar e utilizar conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico e social, quanto a habilidade **EM13CNT201**, ao analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas.
- Aproveite também para analisar as impressões de Einstein sobre o Brasil, identificando elogios e reconhecendo as críticas.

FONTES COMPLEMENTARES

- Fagundes, H. V. *Teoria da relatividade no nível matemático do Ensino Médio*. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

  Destinado a professores de Física e a estudantes do Ensino Médio, o livro oferece uma visão mais contemporânea da Física na educação básica mediante os conceitos de duas das teorias propostas por Einstein: a teoria da relatividade geral e a teoria da relatividade especial.

- Rodrigues, C. M.; Sauerwein, I. P. S.; Sauerwein, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 1401-1-1401-7, 2014. Disponível em: http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/361401.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

  Nesse artigo, os autores apresentam o resultado de uma proposta didática para o ensino de conceitos da teoria da relatividade mediante o estudo e a explicação do sistema de posicionamento global (GPS, na sigla em inglês).

TEXTO COMPLEMENTAR

Como testar o Paradoxo dos gêmeos sem uma espaçonave

Esqueça os cremes anti-idade e as tinturas de cabelo. Se você quiser manter-se jovem, o melhor que pode fazer é conseguir uma espaçonave superveloz. Esse é o conselho que o mais jovial dos velhos físicos, Albert Einstein (1879-1955), dá em sua Teoria da Relatividade. É o chamado Paradoxo dos Gêmeos.

Pra quem (ainda) não conhece, o Paradoxo dos Gêmeos é simples. Imagine dois irmãos gêmeos, absolutamente idênticos em tudo, mas com uma diferença – um deles tem uma tal espaçonave superveloz, capaz de voar a velocidades próximas à da luz. Enquanto um gêmeo fica de pés bem firmes aqui na Terra, outro vai e volta em sua espaçonave superveloz até uma estrela mais ou menos distante.

Quando se encontram novamente, depois de algumas décadas, o gêmeo terráqueo vai parecer muito mais velho que seu irmão astronáutico. Não é questão de aparências, o terráqueo realmente vai ter envelhecido mais. Isso aconteceria

por causa de algo que Einstein chamava de dilatação temporal. Quanto mais acelerado for um relógio (inclusive um biológico), mais devagar o tempo vai passar pra ele. Ou, em termos mais rigorosos, relógios sob diferentes acelerações medem o tempo de maneiras diferentes.

[...]

Por mais contraintuitiva que seja, essa tal de dilatação temporal tem sido observada em laboratório e acontece rotineiramente com os satélites do GPS. Basicamente, o GPS localiza sua posição no espaço ao sincronizar de maneira bem precisa os sinais emitidos pelos satélites do sistema. Embora não cheguem nem perto da velocidade da luz, os satélites do GPS são velozes o bastante para sofrer alguma dilatação temporal. Ao fazer seus cálculos, o sistema tem que levar em conta as diferentes acelerações dos satélites envolvidos. Mesmo assim, embora seja preciso, o GPS pode errar alguns metros ao localizar seu *smartphone*.

Essa precisão poderia ser ainda mais aperfeiçoada se os tais satélites usarem os mais precisos relógios da Terra – os relógios quânticos, assim chamados por serem regulados pelas leis da mecânica quântica. Embora haja planos de satélites de geolocalização com relógios quânticos, não vai ser tão simples usá-los. Um sistema de GPS baseado em relógios desse tipo também precisaria levar em conta os efeitos relativísticos. Entretanto, ninguém sabe como combinar mecânica quântica com relatividade – a unificação de ambas as teorias é o maior desafio da Física moderna.

[...]

PINCELLI, R. Como testar o paradoxo dos gêmeos sem uma espaçonave. *In*: PINCELLI, R. *Blog Hypercubic*. Campinas, 17 abr. 2014. Disponível em: https://www.blogs.unicamp.br/hypercubic/2014/04/como-testar-o-paradoxo-dos-gmeos-sem-uma-espaonave/. Acesso em: 2 out. 2024.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

A teoria da relatividade pode ser considerada de difícil compreensão, pois foge ao senso comum. Solicite aos estudantes que elaborem um texto sobre essa teoria imaginando que será lido por alguém que não saiba nada do assunto. Esse tipo de atividade faz com que os estudantes verifiquem seus conhecimentos sobre o assunto. Se julgar interessante, solicite-lhes estudantes que troquem os textos entre si e realizem eventuais correções.

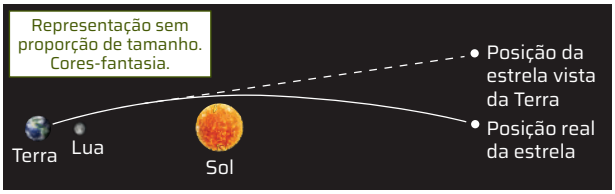
RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Roteiro (página 396)

1. $\Delta E = (m_{hid} - m_{hélio}) \cdot c^2 \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta E = (4 \cdot 1{,}6726 \cdot 10^{-27} - 6{,}6443 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8) \Rightarrow$
$\Rightarrow \Delta E = 0{,}0461 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \Rightarrow \Delta E = 0{,}4149 \cdot 10^{-11}$ J

Ciência tem história – Há 100 anos, eclipse em Sobral pôs Einstein e a Teoria da Relatividade na história (página 398)

1. O esquema deve ter a configuração de um eclipse com uma estrela distante do Sol na mesma direção, alinhada com o Sol, a Lua e a Terra, semelhante ao esquema a seguir:



Ara Hovhannisyan/ Shutterstock.com/ID/BR

Atividades (página 399)

2. Resposta variável, de acordo com a massa de quem executar o cálculo. Por exemplo, para uma pessoa de 70 kg, o raio de Schwarzschild é:

$$r_s = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2} \Rightarrow r_s = \frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 70}{(3 \cdot 10^8)^2} \Rightarrow r_s = 1{,}04 \cdot 10^{-25} \text{ m}$$

4. a) Assim como na atividade **2**, a resposta deve variar de acordo com a massa de quem executar o cálculo. Por exemplo, para uma pessoa de 70 kg, tem-se

$E = m \cdot c^2 \Rightarrow \; E = 70 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow E = 6{,}3 \cdot 10^{18}$ J

b) $1{,}8 \cdot 10^{47}$ J

5. a) A relatividade restrita (ou especial) versa sobre as consequências do postulado de a velocidade da luz ser uma constante, teorizando a relatividade do tempo e do espaço para diferentes observadores. Já a relatividade geral versa sobre o conceito de espaço-tempo, sua curvatura e as consequências do movimento dos corpos no espaço-tempo em curso.

CAPÍTULO 4 MODELO COSMOLÓGICO PADRÃO (PÁGINA 400)

- O capítulo aborda a dinâmica evolutiva do Universo, o modelo de seu nascimento (com base na teoria do Big Bang) e as modernas teorias sobre sua expansão. A ideia é comparar nascimento, vida e morte do Universo de acordo com as teorias mais antigas e as mais recentes, contribuindo para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT201**.
- Ao discutir os modelos propostos pela ciência para a organização, origem e evolução do Universo, o capítulo promove a competência geral **CGEB1**, permitindo aos estudantes valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico para entender e explicar a realidade.

A geometria e a estrutura do Universo (página 401)

- É possível que os estudantes conheçam apenas a geometria euclidiana. Faça uma breve apresentação dos três modelos de Universo – plano, fechado e aberto. Mostre a eles que uma reta é a distância mais curta entre dois pontos apenas no Universo plano.
- Ao trabalhar o texto "Densidade crítica", tente fazer uma relação da densidade crítica com o tamanho do Universo. Se julgar necessário, retome com os estudantes a seção *Práticas de Ciências* – "Tamanho e distâncias no Sistema Solar", do capítulo 2, – para relacionar com essa densidade de 0,5 átomo de hidrogênio por metro cúbico, ou seja, um imenso vazio.

A expansão do Universo (página 402)

- Se julgar oportuno, antecipe a aplicação da atividade "A lei de Hubble", da seção *Práticas de Ciências* (p. 406).

O Big Bang (páginas 403 e 404)

- Apesar de essa teoria ser muito famosa e comentada, os estudantes podem não saber exatamente do que ela trata. Utilize o esquema "Idade do Universo" (p. 403) para facilitar, visualmente, a compreensão dos estudantes.
- A imagem do mapa de radiação cósmica (p. 404) costuma ser confundida com uma representação do próprio planeta Terra, portanto, esclareça para os estudantes que se trata de um mapa da temperatura do Universo.

Modelo Cosmológico Padrão – λCDM
(página 405)

- Ao apresentar aos estudantes o conceito de matéria escura, não deixe de explorar os gráficos da página, que representam as porcentagens de composição estimada do Universo.
- Oriente os estudantes a explorar o objeto digital *Máquinas para exploração espacial*. Você pode organizar um momento dedicado a cada um dos artefatos tecnológicos apresentados e explorar com eles o objetivo de cada um dos artefatos. Como forma de complementar o trabalho, peça aos estudantes que pesquisem outras máquinas e equipamentos tecnológicos dedicados ao estudo do Universo.

Práticas de Ciências – A lei de Hubble
(página 406)

- Os objetivos dessa atividade prática são: simular a expansão do Universo e estimar a constante de Hubble; construir e analisar gráficos; identificar grandezas relevantes na análise de fenômenos físicos; extrapolar e interpolar dados em um gráfico. Dessa forma, a atividade contribui para o desenvolvimento da habilidade **EM13CNT301** e a competência geral **CGEB2**.
- Dependendo da qualidade do balão utilizado, a distância entre os pontos marcados pode aumentar de maneira aleatória. Além disso, os balões em geral costumam ter simetria elíptica e não esférica, assumindo uma forma ovalada quando enchidos, o que pode contribuir para a não linearidade do gráfico e para uma possível diferença entre as inclinações dos gráficos obtidos pelos estudantes.
- Outro aspecto a ser observado é a estatura dos estudantes, que pode ser bastante variada. Assim, o volume de ar soprado para dentro do balão poderá ser distinto, gerando valores diferentes para o coeficiente angular da reta. Discuta com os estudantes as semelhanças e as diferenças do que ocorre com o balão e com o Universo em expansão, lembrando que os valores encontrados para o coeficiente angular da reta nesse experimento se referem apenas à taxa de expansão do balão, que, certamente, não é a mesma do Universo.

FONTES COMPLEMENTARES

- Hawking, S. *Uma breve história do tempo*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

  O físico teórico e cosmólogo britânico Stephen Hawking (1942-2018) explica, de forma bem-humorada, assuntos como a origem do Universo, o Big Bang, galáxias, viagem no tempo, entre outros.

- *Interestelar*. Direção: Christopher Nolan. Estados Unidos, 2014 (169 min).

  Nesse filme de ficção científica, a trama se baseia em diversos conceitos da Física teórica e da Astronomia, como os buracos de minhoca e a teoria da relatividade especial de Einstein.

- Steiner, J. E. A origem do Universo. *Estudos Avançados*, [*s. l.*], v. 20, n. 58, p. 233-248, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ea/v20n58/20.pdf. Acesso em: 2 out. 2024.

  Nesse artigo, o autor descreve de forma breve os modelos cosmológicos e a evolução das ideias a respeito deles ao longo da história. A sucessão de ideias e de modelos propostos sobre o Universo mostra aos estudantes o processo dinâmico da ciência, além de fazê-los compreender que as explicações, as teorias e os modelos estão sempre vinculados aos contextos histórico e social de cada época.

- Tyson, N. D. *Astrofísica para apressados*. São Paulo: Planeta. 2017.

  Nesse livro, o astrofísico estadunidense Neil deGrasse Tyson apresenta o cosmo de forma clara e divertida, desde sua origem até as últimas descobertas astronômicas e avanços tecnológicos relacionados ao Universo.

SUGESTÃO DE AVALIAÇÃO

- Se considerar oportuno, utiliza a atividade **9** da seção *Atividades* como instrumento de avaliação e use os textos produzidos pelos estudantes para identificar o aprendizado deles. Caso necessário, retome os conceitos sobre as teorias que dão base para o Modelo Cosmológico Padrão λCDM.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Atividades (página 407)

6. Constatação da expansão do Universo por Hubble, ao observar a radiação das galáxias; radiação cósmica de fundo, resquício de uma fase inicial muito quente do Universo; céu escuro à noite → Universo finito no tempo; homogeneidade em larga escala observada nos mapas da radiação de fundo.

9. Resposta pessoal. Dica: na resposta, os estudantes devem mencionar principalmente as ideias da teoria do Big Bang, a expansão do Universo citando a constante cosmológica lambda, a radiação cósmica de fundo e a composição do Universo, matéria bariônica, matéria escura e energia escura.

FECHAMENTO DA UNIDADE (PÁGINAS 408 A 411)

Estudo de caso – O Cruzeiro do Sul na cosmologia tupi-guarani (páginas 408 e 409)

- O trabalho com a seção é uma oportunidade de explorar como algumas culturas indígenas no Brasil explicam fenômenos celestes. Ao levar os estudantes a reconhecer os saberes indígenas relacionados à observação celeste, trabalham-se as competências gerais **CGEB6** (valorizar a diversidade de saberes e de vivências culturais), **CGEB3** (valorizar e fruir as diversas manifestações culturais locais) e **CGEB6**, bem como a competência específica **CECNTEM3**. A seção também promove o trabalho com o tema contemporâneo transversal **Diversidade cultural**, da área Multiculturalismo, e explora a habilidade **EM13CNT301**.

SUGESTÃO DE AULA

- Como sugestão, organize a aula em parceria com o(a) professor(a) de História ou de Sociologia. Peça que preparem material que se relacione com o tema da seção.
- Se julgar válido, antes de iniciar as tarefas, questione os estudantes sobre o que sabem dos conhecimentos de culturas indígenas sobre as estações do ano, os movimentos de corpos celestes, entre outros. Trata-se de uma boa oportunidade para diagnosticar concepções prévias da turma sobre saberes de diferentes culturas.
- Em seguida, organize os estudantes em grupos para a realização da leitura e das atividades da seção.
- Finalize a leitura com uma discussão aberta e ampla sobre a importância da etnociência, levantada na última atividade da seção.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Estudo de caso – O cruzeiro do Sul na cosmologia tupi-guarani (páginas 408 e 409)

1. A Ema é uma constelação completamente visível no céu noturno para esses povos, habitantes do hemisfério Sul, durante o inverno. Essa constelação ascende a leste, ao anoitecer, em meados de junho, ficando visível no céu noturno ao longo das noites de inverno.

4. O movimento aparente das estrelas ao redor do polo celeste Sul se dá no sentido horário. Já em relação ao polo celeste Norte, o movimento ocorre no sentido anti-horário. Como o movimento de rotação da Terra ocorre de oeste para leste, vemos os astros e as estrelas nascendo a leste e se pondo a oeste no céu. No hemisfério Sul, portanto, como o polo celeste indica o sul, o movimento de leste para oeste se dá da esquerda para direita (sentido horário). O inverso ocorre no polo celeste Norte.

6. Podemos determinar o intervalo de tempo transcorrido em uma noite comparando as posições inicial e final da cruz no céu. Como o Cruzeiro do Sul realiza uma volta completa em cerca de 24 horas, o tempo transcorrido entre a posição da cruz totalmente deitada e a posição em pé (90°) é de 6 horas (24 horas = 360°; portanto, 90° = 6 horas). Assim, o tempo transcorrido entre a posição 1 e a 3 da figura é de 3 horas (24 horas = 360°; portanto, 60° = 3 horas).

Questões globais (páginas 410 e 411)

2. A energia liberada pelas reações térmicas e nucleares, chamada de pressão térmica, aquece o gás no interior da estrela, fazendo com que se crie uma pressão para fora da estrela. Além disso, a pressão gerada pelas reações nucleares (a pressão nuclear) se soma à pressão térmica, empurrando os gases para fora. Essas duas pressões, somadas, podem conter a pressão gravitacional para dentro e isso evita que a estrela colapse.

4. A energia liberada resultou em um aumento considerável da temperatura da Terra primordial, fazendo com que o interior da Terra ficasse tão quente que derretesse. Esse calor permitiu a diferenciação do planeta, onde materiais mais densos, como ferro e níquel, afundaram para formar o núcleo, enquanto materiais mais leves subiram para formar o manto e a crosta.

6. Atividade de pesquisa. Pode-se solicitar esse texto como avaliação dos conceitos referentes a esse tema ou promover um debate com os estudantes.

7. **b)** Pela expressão, a velocidade é proporcional à massa, portanto, se a velocidade aumenta, é porque se tem mais massa e, como essa massa não é identificada como matéria bariônica, foi chamada de matéria escura. Por isso, o aumento da velocidade ou o fato de a velocidade se manter praticamente constante com o aumento da distância (raio) é evidência da existência da matéria escura.

8. Somas das alternativas corretas: 01 + 08 + 32 = 41

01. Verdadeira. 08. Verdadeira. 32. Verdadeira.

02. Falsa. Na relatividade é observada a dilatação do tempo e contração do espaço, portanto, não são grandezas absolutas.

04. Falsa. A Mecânica Newtoniana é válida para tratar de situações em que a velocidade é muito menor do que a velocidade da luz.

16. Falsa. A relatividade relaciona a massa com a energia pela equação $E = mc^2$.

9. Alternativa **b**.

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{10}{\sqrt{1 - \frac{(12\cancel{c})^2}{(13\cancel{c})^2}}} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{10}{\sqrt{1 - \frac{144}{169}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t_1 = \frac{10}{\sqrt{\frac{25}{196}}} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{10}{\frac{5}{13}} \Rightarrow \Delta t_1 = 26 \text{ s}$$

10. Alternativa **c**.

$E = mc^2 \Rightarrow E = 9 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow E = 8{,}1 \cdot 10^{-14}$ J

11. Alternativa **c**. Esse exercício envolve os conceitos de análise dimensional e, o uso da unidade parsec e a aplicação da lei de Hubble. Inicialmente, faz-se a análise da constante de Hubble:

$$H_0 = 72 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}} = 72 \frac{\text{km/s}}{10^6 \cdot 3 \cdot 10^{13}\text{km}} = 24 \cdot 10^{-19} \text{ s}^{-1}$$

A equação fornecida pelo enunciado é: velocidade de afastamento (v) é proporcional à sua distância até a Terra (d), com a constante de proporcionalidade sendo a constante de Hubble, então:

$$v \propto d \Rightarrow v = H_0 \cdot d \Rightarrow d = \frac{v}{H_0} = \frac{1\,440}{24 \cdot 10^{-19}} = 6 \cdot 10^{20} \text{ km}$$

ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO

1. (**Enem**) Medir distâncias sempre foi uma necessidade da humanidade. Ao longo do tempo fez-se necessária a criação de unidades que pudessem representar tais distâncias, como, por exemplo, o metro. Uma unidade de comprimento pouco conhecida é Unidade Astronômica (UA), utilizada para descrever, por exemplo, distâncias entre corpos celestes. Por definição, 1 UA equivale à distância entre a Terra e o Sol, que em notação científica é dada por $1{,}496 \times 10^2$ milhões de quilômetros.

Na mesma forma de representação, 1 UA, em metro, equivale a

a) $1{,}496 \times 10^5$ m
b) $1{,}496 \times 10^6$ m
c) $1{,}496 \times 10^8$ m
d) $1{,}496 \times 10^{10}$ m
e) $1{,}496 \times 10^{11}$ m

Alternativa **e**. Esse exercício envolve análise dimensional e a Unidade Astronômica. Transformando a UA em m, temos:

$1{,}496 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot 10^3$ m $= 1{,}496 \cdot 10^{11}$ m

2. (**UPF-RS**) A teoria da relatividade restrita (TRR), também conhecida como teoria de relatividade especial, foi proposta por Albert Einstein em 1905. Sobre essa teoria, é **correto** afirmar:

a) A TRR afirma que as leis da Física são idênticas em relação a qualquer sistema referencial inercial.

b) A TRR afirma que a velocidade da luz no vácuo é a mesma, independentemente do tipo de sistema de referência em que ela é medida.

c) A TRR é válida em todos tipos de sistemas de referência.

d) Para a TRR, não é possível a contração do espaço.

e) Na TRR, não é possível a dilatação do tempo.

Alternativa **a**. Esse exercício trabalha os conceitos da teoria de relatividade especial. Essa teoria amplia as leis da Física para todo o sistema referencial inercial.

2 AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO: SUSTENTABILIDADE E INFORMAÇÃO PARA A COMUNIDADE

INTRODUÇÃO

A posição da comunidade científica é em sua maioria de acordo sobre as relações entre as ações antrópicas e as mudanças climáticas globais. Nesse sentido, a busca de matrizes energéticas alternativas, como a energia eólica, a energia das marés e a energia solar, ou de equipamentos menos prejudiciais ao ambiente é cada vez maior. O projeto de um aquecedor solar de baixo custo é bastante pertinente e vai ao encontro das preocupações socioambientais atuais. Além disso, este projeto pretende despertar a consciência dos estudantes em relação aos benefícios da reutilização de materiais que seriam descartados, visando à economia dos recursos naturais, e das vantagens de diminuir o gasto de energia (GLP, eletricidade, carvão ou lenha).

Os objetivos do projeto se articulam a esses e outros contextos e ao desenvolvimento de competências e habilidades. Neste projeto, são promovidas as competências **CGEB10**, **CECNTEM1** e **CECNTEM3** e as habilidades **EM13CNT106**, **EM13CNT107**, **EM13CNT302**, **EM13CNT307**, **EM13CNT308**, **EM13CNT310**. O projeto também promove os temas contemporâneos transversais **Ciência e tecnologia** e **Educação ambiental**, da área Meio ambiente.

Sugestão de planejamento

O projeto foi elaborado para ser realizado durante o semestre. Sugerimos três aulas para a etapa de preparação, cinco aulas para o desenvolvimento e duas aulas para a etapa de conclusão do projeto, totalizando dez aulas. Contudo, a periodicidade e a quantidade das aulas podem ser reorganizadas conforme as necessidades de cada turma.

MAPA DO PROJETO

ETAPA	OBJETIVOS	COMPETÊNCIAS	HABILIDADES	TEMAS CONTEMPORÂNEOS TRANSVERSAIS
Preparação	• Compreender a importância de priorizar o consumo de energia obtida de fontes renováveis e abundantes. • Compreender como funciona um aquecedor solar.	CECNTEM1 CECNTEM3	EM13CNT106 EM13CNT107 EM13CNT308 EM13CNT310	Ciência e tecnologia Educação ambiental
Desenvolvimento	• Confeccionar um protótipo do coletor de um aquecedor de água utilizando energia solar com materiais simples e de baixo custo. • Registrar o procedimento de elaboração do protótipo.	CGEB10 CECNTEM3	EM13CNT307	
Conclusão	• Elaborar um guia ou um tutorial *on-line* para que as pessoas da comunidade possam construir o aquecedor em casa ou na escola.	CECNTEM3	EM13CNT302	

ORIENTAÇÕES DIDÁTICAS

PREPARAÇÃO (PÁGINA 413)

- Esta etapa do projeto promove o desenvolvimento das competências específicas **CECNTEM1** (analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos com base nas relações entre matéria e energia) e **CECNTEM3** (investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico para propor soluções a partir de demandas locais) e das respectivas habilidades **EM13CNT106** (avaliar possíveis soluções para as demandas locais que envolvem o consumo de energia elétrica), **EM13CNT107** (fazer previsões quantitativas sobre o funcionamento de componentes elétricos com base nos processos de transformação de energia), **EM13CNT308** (investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos, no caso, o chuveiro elétrico) e **EM13CNT310** (identificar necessidades locais de programas e serviços de fornecimento de energia elétrica).
- Utilize as questões iniciais para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os mecanismos de aquecimento solar e as relações entre o uso de um aquecedor solar e a economia de energia elétrica.
- Caso perceba que os estudantes estão com dificuldade de entender o funcionamento do aquecedor solar, indique-lhes, por exemplo, a leitura do manual para construção de aquecedor solar de baixo custo, publicado pelo estado do Paraná e disponível na seção *Fonte complementar* deste projeto, e a consulta ao tutorial e ao vídeo sugeridos no Livro do Estudante.

DESENVOLVIMENTO (PÁGINAS 413 A 415)

- Nesta etapa do projeto, desenvolve-se a competência geral **CGEB10**, ao agir coletivamente com responsabilidade, tomando decisões com base em princípios sustentáveis, e a competência

específica **CECNTEM3**, ao mobilizar conhecimentos relacionados a materiais isolantes e condutores térmicos e utilizar procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza para comunicar suas descobertas em diferentes mídias. A habilidade **EM13CNT307** também é promovida, ao levar os estudantes a analisar as propriedades dos materiais e a propor soluções sustentáveis adequadas ao contexto local. Para isso, proponha um levantamento sobre o perfil das moradias do entorno e as formas de energia utilizadas para o aquecimento da água.

- Ao iniciar a construção do protótipo do coletor solar, oriente os estudantes a serem cautelosos, especialmente na utilização de ferramentas cortantes. É importante lembrá-los que o procedimento deve ser registrado em fotos, já que um dos objetivos do projeto é a elaboração de um tutorial direcionado à comunidade. Oriente-os também quanto ao descarte adequado dos eventuais restos de materiais produzidos.
- Chame a atenção dos estudantes para o fato de que as dimensões do reservatório e do coletor podem variar em função do projeto. Para os testes, incentive-os a montar a parte interna do reservatório e, ainda, instalá-lo, caso haja essa possibilidade.
- Proponha aos estudantes a elaboração do tutorial também em formato de vídeo. É importante que o tutorial aborde os aspectos técnicos e teóricos da construção do protótipo.
- Na etapa de elaboração dos textos do tutorial, os estudantes podem solicitar o auxílio do(a) professor(a) de Linguagens. Pode-se realizar um trabalho em parceria com esse(a) professor(a), para explorar os diferentes gêneros discursivos.
- Antes da divulgação do coletor e do tutorial, os estudantes devem fazer uma rodada de testes. Para a avaliação do tutorial, pode-se elaborar um questionário que será aplicado aos participantes da avaliação.
- Oriente os estudantes a elaborar perguntas do tipo quantitativa, facilitando a tabulação das respostas e a análise dos dados. Sugira perguntas como "As explicações do tutorial foram claras?", respostas do tipo "(1) Não; (2) Parcialmente; (3) Sim" e um espaço para comentários. Os dados obtidos devem, então, ser analisados e utilizados para identificar aspectos que precisam ser aprimorados no tutorial.

CONCLUSÃO (PÁGINA 415)

- Na etapa final, mobiliza-se a competência específica **CECNTEM3**, ao levar os estudantes a comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados mediante diferentes mídias. Promove-se também a habilidade específica **EM13CNT302**, com a exposição do coletor e a divulgação do tutorial para um público variado, uma vez que esse evento será aberto à comunidade.
- Enfatize que a apresentação do produto à comunidade é o ponto alto do projeto. Portanto, oriente os estudantes a verificar mais uma vez o funcionamento do coletor, horas antes de sua apresentação, e também de dispositivos com acesso à internet, necessários à apresentação.
- Para avaliar a execução do projeto, verifique o desenvolvimento das habilidades e das competências relacionadas ao processo. Verifique também se os textos do tutorial foram produzidos com clareza, coesão e coerência e se os conhecimentos conceituais foram empregados de maneira adequada e correta.

FONTE COMPLEMENTAR

- Alano, J. A. *Manual [de] aquecedor solar produzido com materiais recicláveis*: água quente para todos. 4. ed. Curitiba: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (Sema), 2008. Disponível em: http://www.planetareciclavel.com.br/desperdicio_zero/Kit_res_17_solar.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

  No manual, o autor apresenta as instruções para a montagem de um aquecedor solar com materiais recicláveis e de baixo custo.

ATIVIDADE COMPLEMENTAR

Ao final da apresentação do projeto, considere a opção de reservar um momento para que o público participante esclareça suas dúvidas. Outra possibilidade é realizar entrevistas curtas com o público ou aplicar questionários com a finalidade de prospectar demandas de projetos semelhantes que poderiam ser desenvolvidos em outra oportunidade.

SUGESTÕES DE AVALIAÇÃO

- A avaliação deve ser conduzida de forma contínua durante todo o desenvolvimento do projeto. Verifique se os estudantes souberam desenvolver os cálculos do valor gasto mensalmente em energia elétrica. Caso tenham apresentado dificuldade, organize os estudantes em duplas ou trios, de forma a incluir no grupo um estudante com mais facilidade no conteúdo para trabalhar com outros que tenham mais dificuldade e, assim, ajudarem-se mutuamente.
- Avalie o desenvolvimento atitudinal dos estudantes, a autonomia, a participação e a cooperação na hora de realizar as tarefas e a forma como eles resolvem os conflitos que surgirem.
- As questões propostas na etapa *Avaliação*, no Livro do Estudante, permitem a autoavaliação dos estudantes e podem ser utilizadas também como avaliação individual. Os comentários dos estudantes e membros da comunidade escolar que participarem da apresentação do protótipo também podem servir como avaliação coletiva do projeto.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

Preparação (página 413)

Calculando a economia na conta de energia de energia elétrica

1. Para o cálculo de economia na conta de energia elétrica, podem-se considerar os dados a seguir: potência média dos chuveiros elétricos de 5 kW e uma família com quatro pessoas e banhos diários com duração de 15 minutos cada um.
2. Utilizando como exemplo as informações definidas na atividade **1**, a energia gasta = potência · tempo no banho = 5 kW · 0,25 h = 1,25 kWh (energia gasta em um banho). Valor do kWh (conta de luz): R$ 0,45.

   Portanto, considerando quatro pessoas, 30 dias no mês e o consumo mensal do chuveiro elétrico de 150 kWh, a economia será de R$ 67,50 mensais.
3. Os estudantes podem mencionar a utilização de materiais recicláveis, como garrafas PET e embalagens de leite, além da redução na emissão de gases de efeito estufa (caso a eletricidade da região seja oriunda de termelétricas).

2 2 3 3 8 3

ISBN 978-85-418-3548-0

2 900002 233834