SÔNIA LOPES SERGIO ROSSO

Editora responsável:

MAÍRA ROSA CARNEVALLE









Evolução e Universo

Área do conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias





SÔNIA LOPES

Bacharel e licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo.
Licenciada em Ciências pela Universidade de São Paulo.
Mestre em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo.
Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo.
Professora universitária aposentada.

SERGIO ROSSO

Licenciado em Ciências pela Universidade de São Paulo. Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo. Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo. Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo. Professor.

Editora responsável: MAÍRA ROSA CARNEVALLE

Bacharel e licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos. Editora.

CIÊNCIAS DA NATUREZA LOPES& ROSSO

Evolução e Universo

Área do conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias

1ª edição

São Paulo, 2020



Elaboração de originais

Artur Guazzelli Leme Silva

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade de São Paulo (SP). Doutor em Ciências no programa: Ciências Biológicas (área de concentração: Bioquímica) pela Universidade de São Paulo (SP). Editor.

Bianca Trama Freitas

Licenciada em Ciências da Natureza para o Ensino Fundamental pela Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades (SP). Mestra em Ciências (Programa de Pós-graduação em Biologia Química) pela Universidade Federal de São Paulo (SP). Doutora em Ciências dos Materiais (área de Química dos Materiais) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (SP). Professora.

Carlos Mariz de Oliveira Teixeira

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo (SP). Licenciado em Física pelo Instituto de Física e pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (SP). Doutor em Ciências no programa: Física pela Universidade de São Paulo (SP). Professor.

Daiane Breves Seriacopi

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo (SP). Mestre em Ciências no Programa: Astronomia pela Universidade de São Paulo (SP). Astrofísica.

Fabio Rizzo de Aguiar

Bacharel em Ciências com habilitação em Química pelas Faculdades Oswaldo Cruz (SP). Licenciado pleno em Química pelas Faculdades Oswaldo Cruz (SP). Doutor em Química pela Universidade do Porto revalidado pela Universidade de São Paulo (SP). Professor.

Graciele Almeida de Oliveira

Bacharel em Química e doutora em Ciências no programa: Ciências Biológicas (área: Bioquímica) pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (SP). Pesquisadora e professora.

Ivo Bernardi de Freitas

Bacharel e licenciado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Mestre em Química na área de Química Inorgânica pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Químico.

Joana Guilares de Aguiar

Bacharel e licenciada em Química pela Universidade Estadual de Campinas (SP). Mestra em Ensino de Ciências no programa: Ensino de Ciências (área de concentração: Ensino de Química) pela Universidade de São Paulo (SP). Doutora em Ciências no programa: Ensino de Ciências (área de concentração: Ensino de Química) pela Universidade de São Paulo (SP). Professora.

Juliana Maia

Licenciada em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (BA). Licenciada em Pedagogia pela Faculdade da Aldeia de Carapicuíba (SP). Mestra em Ensino de Ciências no programa: Ensino de Ciências (área de concentração: Ensino de Química) pela Universidade de São Paulo (SP). Editora.

Lina M. Almeida-Silva

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Bahia (BA). Doutora em Ciências (área de concentração: Zoologia) pela Universidade de São Paulo (SP). Professora.

Nathália Helena Azevedo

Bacharela em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Paulo (SP). Licenciada pelo Programa Especial de Formação Pedagógica em Biologia pelo Centro Universitário Claretiano – CEUCLAR (SP). Mestra em Ciências no programa: Ecologia (área de concentração: Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) pela Universidade de São Paulo (SP). Biologa.

Oliveira-Junior, M. M.

Licenciado em Química pelos Instituto de Química e pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (SP). Mestre em Ensino de Ciências no programa: Ensino de Ciências (área de concentração: Ensino de Química) pela Universidade de São Paulo (SP). Professor.

Patrícia Araújo dos Santos

Bacharela e licenciada em Química pela Universidade de São Paulo (SP). Doutora em Ciências no programa: Ciências Biológicas (área de concentração: Bioquímica) pela Universidade de São Paulo (SP). Editora e professora.

Rodrigo Uchida Ichikawa

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo (SP). Mestre em Ciências no Programa: Tecnologia Nuclear (área de concentração: Tecnologia Nuclear – Materiais) pela Universidade de São Paulo (SP). Doutor em Ciências no Programa: Tecnologia Nuclear (área de concentração: Tecnologia Nuclear – Materiais) pela Universidade de São Paulo (SP). Editor.

Rosana Louro Ferreira Silva

Licenciada em Ciências pela Faculdade de Ciências Exatas e Experimentais da Universidade Mackenzie (SP). Doutor em Educação (área de concentração: Educação – Opção: Ensino de Ciências e Matemática) pela Universidade de São Paulo (SP). Professora universitária.

Tathyana Tumolo

Bacharel em Química pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (SP). Licenciada em Química pela Universidade de Franca (SP). Pós-doutorada pelo Departamento de Bioquímica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (SP). Editora.

Vinicius Roggério da Rocha

Bacharel em Física pela Universidade de São Paulo (SP). Mestre em Ciências no Programa: Meteorologia pela Universidade de São Paulo (SP). Professor.

Edição de texto: Thalita B. C. Encarnação (Coordenação), Andreza C. Souza Silva, Artur Guazzelli Leme Silva, Carlos M. de Oliveira Teixeira, Carolina Rossi, Fabio Rizzo de Aguiar, Izabel Bueno, Jeferson Felix, Juliana Bardi, Juliana de Oliveira Maia, Livia Aceto, Luiz A. de Paula, Maiara Oliveira Soares, Marina M. de Brito, Marina Vieira Santos, Matheus C. Torres, Patrícia A. dos Santos, Pedro Magalhães, Rafaela W. Sobrinho, Rodrigo Uchida Ichikawa, Tathyana C. Tumolo, Tatiani A. G. Donato

Assessoria pedagógica: Daniela Ferrari

Preparação de texto: Fabiana Biscaro, Malvina Tomaz Gerência de *design* e produção gráfica: Everson de Paula

Coordenação de produção: Patricia Costa

Gerência de planejamento editorial: Maria de Lourdes Rodrigues Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite Projeto gráfico: APIS Design, Bruno Tonel, Douglas Rodrigues José

Capa: APIS Design, Bruno Tonel

Foto: Arte computadorizada de um nanorrobô hipotético capaz de interagir com células infectadas. Roger Harris/ Science Photo Library/ Fotoarena

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Adriana Santana, Clayton Renê P. Soares, Eliazar Alves Cavalcanti Junior

Editoração eletrônica: Teclas editorial

Edição de infografia: Giselle Hirata, Priscilla Boffo Coordenação de revisão: Elaine C. del Nero

Revisão: Equipe Moderna, Cecília Kinker, Nancy H. Dias, Renato da Rocha,

Viviane T. Mendes

Coordenação de pesquisa iconográfica: Luciano Baneza Gabarron

Pesquisa iconográfica: Márcia Mendonça

Coordenação de *bureau*: Rubens M. Rodrigues

Tratamento de imagens: Joel Aparecido, Luiz Carlos Costa, Marina M. Buzzinaro **Pré-impressão:** Alexandre Petreca, Everton L. de Oliveira, Marcio H. Kamoto,

Vitória Sousa

Coordenação de produção industrial: Wendell Monteiro

Impressão e acabamento:

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

Lopes, Sônia

Ciências da natureza : Lopes & Rosso / Sônia Lopes, Sergio Rosso ; editora responsável Maíra Rosa Carnevalle. -- 1. ed. -- São Paulo : Moderna, 2020.

Conteúdo: Evolução e universo -- Energia e consumo sustentável -- Água, agricultura e uso da terra --Poluição e movimento -- Corpo humano e vida saudável -- Mundo tecnológico e ciências aplicadas Bibliografia.

1. Biologia (Ensino médio) 2. Física (Ensino médio) 3. Química (Ensino médio) I. Rosso, Sergio. II. Carnevalle, Maíra Rosa. III. Título.

20-36704 CDD-373.19

Índices para catálogo sistemático:

1. Ensino integrado : Livro-texto : Ensino médio 373 19

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

EDITORA MODERNA LTDA.

Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Vendas e Atendimento: Tel. (0__11) 2602-5510
Fax (0__11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2020
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

Apresentação



Conversando com você, estudante,

Estamos vivenciando um momento sem precedentes de integração mundial e de produção e fluxo de informação, promovidos principalmente pelo uso disseminado de tecnologias da comunicação. Nesse cenário, as contribuições das Ciências da Natureza e suas Tecnologias ganham ainda mais importância, trazendo novos dados acerca dos fenômenos naturais e novas interpretações daquilo que já conhecíamos, desvendando fronteiras tecnológicas cada vez mais amplas.

Diante dessa realidade, almejamos uma educação de qualidade amplamente acessível a jovens como você, pautada em dados científicos e no desenvolvimento de senso crítico, fornecendo instrumentos para que você faça escolhas conscientes a fim de melhorar a sua qualidade de vida e a das demais pessoas. Afinal, entender a natureza nos possibilita adotar posturas mais adequadas diante dos enormes desafios do mundo atual.

Por meio desta coleção, vamos analisar como a Química, a Física e a Biologia e suas tecnologias estão integradas na resolução de problemas reais. Nosso objetivo é que você encontre o estímulo para despertar seu olhar para a natureza de modo crítico, analítico, ético e responsável. Para isso, selecionamos temáticas atuais e relevantes que serão abordadas à luz dessas ciências ao longo de cada uma das unidades. Com essas escolhas, procuramos valorizar o desenvolvimento de competências e habilidades fundamentais para sua formação como indivíduo e cidadão de um mundo em constante transformação.

Assim, convidamos você a desfrutar do prazer de abrir os olhos e desvendar a beleza que é entender a natureza e fazer parte dela.

Com carinho,

Os Autores.

Conheça seu livro

Esta obra está dividida em Unidades que abrangem diferentes tópicos e seções. Veja e entenda, a seguir, a estrutura do seu livro e o propósito de cada parte dele.

Abertura de Unidade

Imagens e texto convidam você a conhecer uma problemática atual e interdisciplinar que servirá de desencadeador de ideias a serem trabalhadas na Unidade.

Pense nisso!

Questões que ajudam a estabelecer relações entre o que você já sabe e o que será estudado.



Por que ordenamos a Unidade dessa forma?

Apresenta os conteúdos de cada componente curricular da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias trabalhados na Unidade, evidenciando as relações entre eles e a temática da Unidade, bem como os objetivos de aprendizagem pretendidos.

Por dentro da BNCC

Relação das competências gerais e das habilidades definidas na BNCC para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias e outras áreas do conhecimento que foram mobilizadas na Unidade e em cada um dos Temas e das seções.

Tema

Cada Unidade é
dividida em um número
variável de Temas, nos
quais os conteúdos
foram selecionados
e organizados para
possibilitar sua
compreensão e atuação
sobre a problemática
apresentada na abertura
da Unidade.



Termos e conceitos

Os termos e os conceitos importantes estão destacados em negrito no texto.



O **Boxe** + é composto de informações complementares, principalmente das concernentes a aspectos das culturas tradicionais, como as indígenas e as quilombolas. O **Bloco de notas** traz as definições de grandezas e suas unidades de medida, além de valores de referência diversos.

Fique por dentro

Fonte de ouro e régua do Universo

ZORZETTO, R. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 261, nov. 2017.

Aprenda sobre a formação de elementos químicos com maior número de prótons que o ferro a partir da colisão de estrelas de nêutron. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/fonte-de-ouro-e-regua-do-universo/. Acesso em: 28 ago. 2020.

Fique por dentro

Sugestões comentadas de recursos complementares que vão ajudar você a ampliar seus conhecimentos e se aprofundar nos conteúdos abordados no Tema.



Prática investigativa

Prática investigativa

Propostas de atividades para você investigar situações, construir modelos, interpretar resultados e até planejar os próprios experimentos, considerando a segurança e o descarte ambientalmente correto dos resíduos.

Atividades

Atividades

Uma seleção de atividades – a maioria desenvolvida especialmente para este livro, mas incluindo também questões de vestibulares de todo o país – ajuda a revisar, aplicar, aprofundar e até expandir os conceitos estudados no Tema.

Reflita sobre seu aprendizado!

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?

Reflita sobre seu aprendizado

Momento de identificar as compreensões alcançadas por você e os aspectos de cada Tema que ainda precisam ser mais bem trabalhados.

Reflexões sobre a ciência

Reflexões sobre a ciência

Seção destinada a abordar aspectos da natureza da ciência e dos procedimentos científicos, desenvolvendo também a leitura inferencial.

Pensamento crítico e argumentação

Pensamento crítico e argumentação

Com diferentes propostas de análise de situações cotidianas, esta seção ajuda você a desenvolver o senso crítico e a argumentação – habilidades características da prática científica tão necessárias no contexto atual das *fake news*.

Valores e atitudes

Valores e atitudes

Atividades contextualizadas que ajudam você a refletir, à luz dos novos conhecimentos construídos, acerca de suas atitudes diante de diversas situações, propondo intervenções pessoais e mudanças de postura.

Comunicação

Comunicação

Propostas de atividades em grupo que ajudarão você a desenvolver a criatividade, a atitude cidadã e as habilidades de comunicação e trabalho em equipe. Nelas, você produzirá material relevante ao seu contexto local, com base nos conhecimentos construídos ao longo da Unidade, e o divulgará para a comunidade por meio de tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Revise e amplie!

Revise e amplie!

É o momento para você refletir sobre seu aprendizado, reconhecer conceitos da Unidade que ainda precisam ser mais bem trabalhados, além de buscar aprofundar a aprendizagem sobre a temática, identificando novos aspectos a serem estudados.



Este ícone indica momentos propícios para você retomar o infográfico **Segurança no laboratório**, presente no início de cada volume.

Sumário

UNIDADE 1
Explorando o Universo e a vida 10
Tema 1 Cosmologia12
Como tudo começou? A teoria do Big Bang 13
Modelo cosmológico padrão: matéria escura
e energia escura13
Partículas elementares14
Lei Hubble-Lemaître e a expansão do Universo 14
Cosmologia: visão clássica de Newton
versus visão relativística de Einstein
Relatividade restrita
Noções de relatividade geral: o espaço-tempo
e a teoria de gravitação de Einstein
• Atividades
Tema 2 A formação dos átomos21
A fusão nuclear e a formação
dos núcleos atômicos 21
Constituição atômica
Massa atômica e abundância isotópica23
Espectros atômicos
Tabela periódica e configuração eletrônica 25
A organização da tabela periódica
Distribuição eletrônica por níveis de energia
Distribuição eletrônica por subníveis de energia 28 Propriedades periódicas
• Atividades
Tema 3 Evolução estelar e o Sistema Solar 32
Cores das estrelas
Nascimento e fonte da energia das estrelas 33
Morte das estrelas
Buracos negros
Surgimento do Sistema Solar
Modelos geocêntrico e heliocêntrico
Formação do Sistema Solar
Exploração do Sistema Solar
Zona habitável41
Vida na Terra
• Atividades 42

Tema 4 A química da vida	. 44
Formação de moléculas	. 44
Modelo de ligação química de Lewis	
Teoria da ligação de valência	
Ligação covalente	
Fórmulas químicas e representação de moléculas	
A água como solvente	
Polaridade das ligações covalentes	
Geometria molecular	
Polaridade das moléculas	
Interações intermoleculares	
Propriedades da água em fase líquida	
De moléculas a células	
Atividades	. 55
Tema 5 Origem e evolução	
da vida na Terra	. 57
Teorias da origem da vida	. 57
Os experimentos de Redi	
Controvérsia entre Needham e Spallanzani	
Os experimentos de Pasteur	. 59
Indícios dos primeiros seres vivos	. 60
Como teriam se formado as primeiras células?	. 61
Evolução da célula	. 62
Surgimento dos multicelulares eucariontes	. 64
Boxe +	. 66
Dinâmica da Terra e a evolução biológica	. 66
As ideias de Lamarck	. 67
As ideias de Darwin e Wallace	. 68
Prática investigativa – Jogo presa-predador	. 68
Exemplos de seleção natural	. 70
Evidências da evolução	. 72
Fósseis	. 72
Homologia	
Órgãos ou partes do corpo vestigiais	
Evidências moleculares	
Embriologia comparada	
Atividades	
Reflexões sobre a ciência	
Pensamento crítico e argumentação	. 78
Comunicação	. 81
D 1 1 1	01

7.

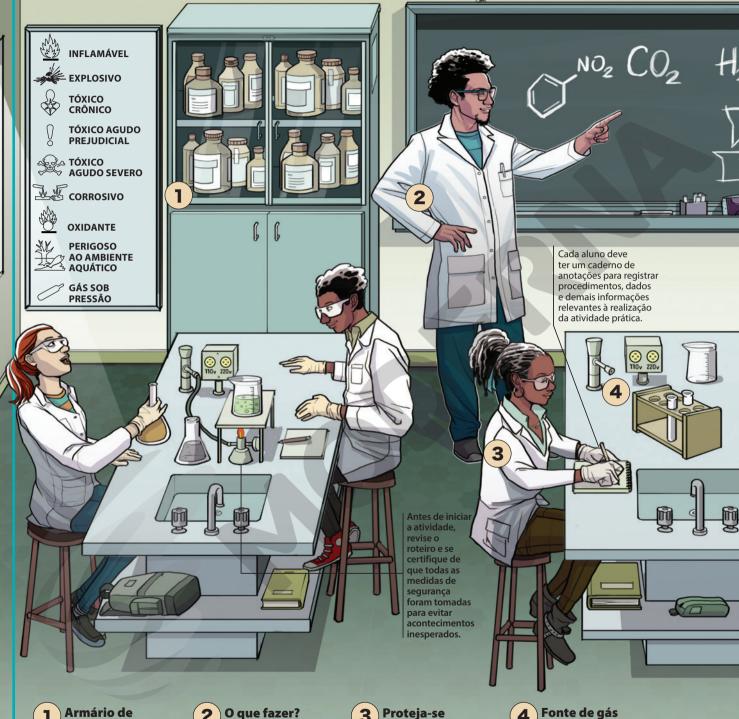
UN		

Humanos, metais e máquinas	. 82
Tema 1 Evolução humana	84
A espécie humana e sua linhagem evolutiva Classificação dos primatas	
Evolução dos Hominini e do gênero Homo Eventos evolutivos	87
Dispersão pelo mundo todo	
A diversificação fenotípica do <i>Homo sapiens</i>	
Tema 2 Populações e comunidades	
 Prática investigativa – Superpopulação 	
é um problema? Conceitos de população e comunidade	
Propriedades de uma população	
Tamanho populacional	
Dinâmica populacional: conceitos e taxas	96
Fatores que afetam o crescimento	00
populacional Estrutura etária	
Ecologia das comunidades	
Distribuição de abundâncias	
Biodiversidade	100
Dinâmica de comunidades:	100
sucessão ecológica	
Interferência humana nas mudanças do planeta O que é o Antropoceno?	
Quando se iniciou o Antropoceno?	
• Atividades	
Tema 3 Metais e seus minérios	
Minerais e minérios	
Metais e a tabela periódica Lantanídeos e actinídeos	
Ligação iônica	
Formação de íons e estabilidade energética	
Os íons e a tabela periódica	
Íons poliatômicos e íons complexos	
Propriedades dos compostos iônicos	
Ligações metálicas	
Propriedades dos metais Ligas metálicas	
Beneficiamento de minérios	
Técnicas de separação de misturas	
Processos metalúrgicos e terras-raras	
• Atividades	114

Tema 4 Processos metalúrgicos	
еxtrativos	116
Fundamentos das reações de oxirredução	116
Pirometalurgia	
Pirometalurgia do ferro	
Hidrometalurgia	
Hidrometalurgia do cobre	
Eletrometalurgia	
Eletrólise ígnea: isolando substâncias simples Refino eletrolítico	
Eletrólise em solução aquosa	
Aspectos quantitativos da eletrólise	
• Atividades	
Tema 5 Leis de Newton, máquinas simples	
e dinâmica do movimento circular	125
O movimento necessita de uma causa?	
Movimento inercial	
Primeira lei de Newton	
Forças	
Força gravitacional ou peso	
Força normal	127
Força de tração	
Força de atrito	
Força elástica	
Segunda lei de Newton	
Terceira lei de Newton	
Máquinas simples Polia fixa	
Polia móvel	
Plano inclinado	
Movimento circular	
Atividades	
Tema 6 Equilíbrio	
Equilíbrio	
Corpo extenso e ponto material	
Equilíbrio de um ponto material	
Momento de uma força	
Vantagem mecânica Equilíbrio de um corpo extenso	
Alavancas	
Atividades	
Reflexões sobre a ciência	
■ Pensamento crítico e argumentação	
■ Valores e atitudes	
■ Revise e amplie!	
Tabela periódica	
Tabela para consulta	
Respostas	
Por dentro da BNCC	
Bibliografia	

Segurança no laboratório

Seja no laboratório, seja na sala de aula, qualquer atividade prática deve ser realizada respeitando as normas básicas de segurança.



Armário de reagentes

É fundamental verificar os símbolos e as informações presentes nos rótulos dos frascos de reagentes e nas fichas de informações de segurança (FISPQ) que devem acompanhar os produtos químicos.

Devemos prestar muita atenção às explicações do professor antes de iniciar uma atividade prática. Se mesmo

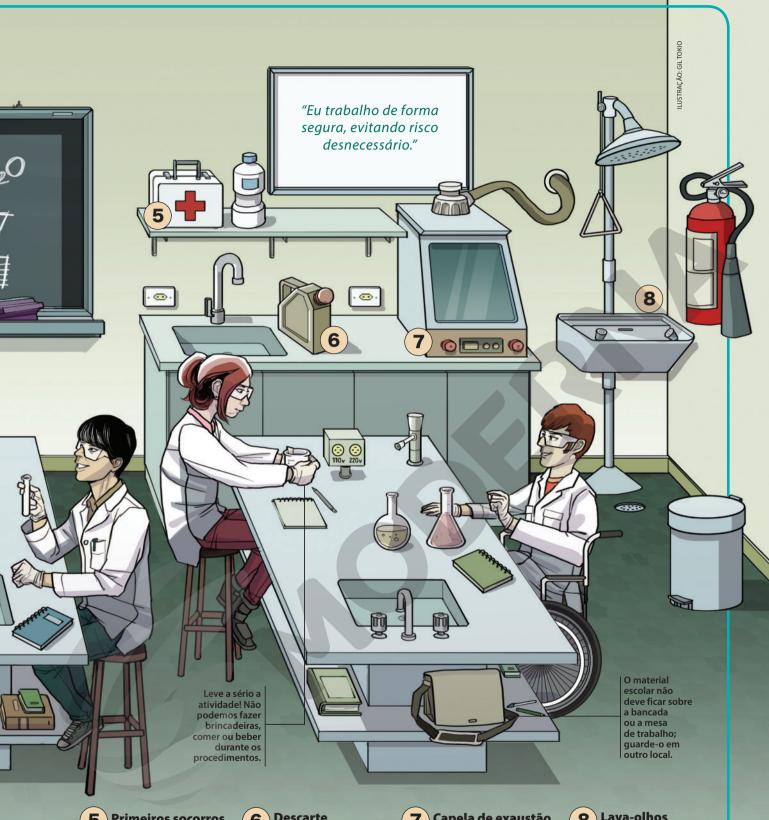
assim houver dúvidas ou acontecer algum imprevisto, comunique-o imediatamente.

Proteja-se

O uso de roupas e equipamentos de proteção adequados é obrigatório durante a atividade prática. Devemos usar calcas compridas, calçados fechados, avental, óculos de proteção e, em alguns casos, luvas. Cabelos longos devem ser presos.

Fonte de gás e de eletricidade

Verifique a voltagem de equipamentos elétricos antes de ligá-los e não manipule substâncias inflamáveis próximo de chamas. Ao final, certifique-se de ter desligado os aparelhos e fechado as saídas de gás.



Primeiros socorros Em caso de acidente, comunique ao professor imediatamente. As substâncias envolvidas deverão ser informadas para orientar o socorro. Lembre-se dos telefones de emergência: 192 (Samu) e 193 (Corpo de Bombeiros).

Descarte de resíduos

Alguns resíduos gerados durante as atividades devem ser tratados antes de serem descartados ou lançados à rede de esgoto. Esses resíduos devem ser separados em recipientes adequados para posterior tratamento.

Capela de exaustão Esse equipamento de proteção coletiva é usado

para manipular as substâncias tóxicas e as reações químicas que podem liberar gases ou vapores tóxicos. O sistema de exaustão impede a passagem desses vapores para o interior do laboratório.

Lava-olhos e chuveiro

Esse equipamento de proteção coletiva deve ser utilizado se produtos químicos entrarem em contato com os olhos ou com o corpo. Sob orientação do professor, lave o local atingido com água em abundância.

Explorando o Universo e a vida

Núcleo de ferro e níquel

Rocha

Oceano

Principalmente gelo

Fonte: NASA. Jet Propulsion Laboratory. Interior

of Europe. Disponível em: https://europa.nasa.gov/

resources/113/interior-of-europa/>. Acesso em: 6 mar. 2020.

A imagem menor, à esquerda, retrata um modelo da estrutura interna de Europa, um dos quatro principais satélites naturais de Júpiter, feito a partir de dados sobre gravidade e campo magnético obtidos pela sonda Galileo entre 1995 e 2003. Uma das características mais marcantes desse satélite é a presença de água. Estima-se que Europa tenha cerca do dobro da quantidade de água que existe na Terra, mesmo sendo um pouco menor que a Lua. Mais interessante ainda é que há fortes evidências de que haja água em fase líquida abaixo da crosta de gelo, embora o satélite esteja distante do Sol, apontando a existência de alguma fonte interna de energia. Todas essas características transformaram Europa em um importante campo de estudo da Astrobiologia nos últimos anos. Atualmente, encontra-se em execução pela agência espacial norte-americana (Nasa) a missão Juno: a sonda foi lançada em 2011 e está desde 2016 orbitando Júpiter com a tarefa de trazer informações do planeta gasoso e seus satélites. É por meio de missões como essas que se obtêm as informações necessárias para estimar a probabilidade de encontrar vida como nós a conhecemos em outros pontos do Universo e de colonizar outros corpos celestes, como está idealizado na imagem de fundo.

Fonte: TBC Mars (Teslarati). Disponível em: https://www.teslarati.com/tbc-mars-teslarati-2/; Simulated View from Europa's Surface. Jet Propulsion Laboratory — Caltech. Disponível em: https://europa.nasa.gov/resources/34/simulated-view-from-europas-surface/.

Acessos em: 15 maio 2020.

 Analise os elementos da página anterior traçando um comparativo entre Europa e a Terra. Com base nele, indique que características deveriam ser observadas e analisadas nas missões destinadas a procurar por vida, tal como a conhecemos, ou possíveis lugares para o estabelecimento de colônias humanas fora da Terra.

:: Por que ordenamos a Unidade dessa forma?

Um dos maiores questionamentos da Ciência é a origem do Universo e da vida. Como tudo começou? Quando? Só existe vida na Terra? Há outras formas de vida no Universo? O que explica a diversidade de seres vivos do planeta? Quais são os prós e os contras do investimento em pesquisa espacial? Essas perguntas são tão amplas que a busca por respostas abrange a união dos esforcos de diversas áreas da pesquisa. Nesta Unidade, vamos analisar alguns desses avanços. O Tema 1 trata da teoria da origem do Universo e das leis físicas que o governam. O Tema 2 discute a formação dos átomos e as características dos elementos químicos. O Tema 3 aborda a evolução estelar e a fonte de energia das estrelas, além do surgimento e da estrutura do Sistema Solar e suas relações com a busca de vida fora da Terra. O Tema 4 trata da formação de moléculas e o papel do solvente água no surgimento das primeiras células. O Tema 5 apresenta as teorias de origem da vida, além de introduzir a evolução dos seres vivos. Ao final da Unidade, propõe-se uma reflexão sobre a artificialidade da distinção entre pesquisa básica e pesquisa aplicada, o valor atribuído aos investimentos em exploração espacial em função dos benefícios trazidos para a sociedade e o uso do pensamento computacional como estratégia na resolução de problemas.

Assim, os objetivos gerais desta Unidade são:

- Compreender que as formas de vida que observamos hoje em nosso planeta, assim como as que esperamos encontrar em nossas explorações espaciais, são resultado de um longo processo natural e espontâneo que ocorreu com crescente ganho de complexidade e foi regido pelas leis da Física e da Química.
- Investigar os níveis de complexidade da organização da matéria, desde a combinação das partículas elementares na origem do Universo até o surgimento dos organismos eucariontes na Terra, passando pela formação de estruturas moleculares em processos que dependem das condições ambientais como temperatura e presença de água, assim como da caraterística de polaridade desse solvente.

Pense nisso!

Registre em seu caderno

- **Tema 1.** Quais são as características do satélite natural Europa semelhantes às de um planeta do Sistema Solar?
- **Tema 2.** Como você explica a necessidade de os cientistas proporem diferentes modelos para a constituição da matéria ao longo dos anos?
- **Tema 3.** Todas as estrelas nascem, modificam-se e morrem. O Sol, estrela do nosso Sistema, também. Considerando as etapas de evolução de uma estrela, o que você acredita que acontecerá com a vida na Terra com a morte do Sol?
- **Tema 4.** Ao investigar corpos celestes, busca-se por água em estado líquido como um dos indícios da possível presença de vida. Por quê?
- **Tema 5.** De acordo com o que se sabe, as características da Terra e as formas de vida permaneceram as mesmas desde o surgimento da vida? Justifique.

Por dentro da BNCC

O trabalho com esta Unidade favorece o desenvolvimento das competências e das habilidades citadas a seguir.

Competências gerais: 1; 2; 4; 5; 6; 7; 9; 10

Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Competências específicas: 1: 2: 3

Habilidades: EM13CNT101; EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT203; EM13CNT204; EM13CNT209; EM13CNT301; EM13CNT302; EM13CNT304; EM13CNT307; EM13CNT308

Área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Competências específicas: 1; 2 Habilidades: EM13CHS103; EM13CHS206

Área de Matemática e suas Tecnologias

Competência específica: 4 Habilidade: EM13MAT405

Área de Linguagens e suas Tecnologias

Competência específica: 1 Habilidades: EM13LGG103; EM13LP16; EM13LP22; EM13LP43



Cosmologia

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2;

Habilidades: EM13CNT201; EM13CNT204: EM13CNT301



Figura 1.1 Os quatro principais telescópios da instalação Very Large Telescope, localizada no deserto do Atacama, Chile (2010). No canto superior direito é possível ver o *laser* que produz o feixe de luz. Esse conjunto de telescópios tem o objetivo de estudar a origem e a evolução do Universo, além de detectar e caracterizar exoplanetas possívelmente habitáveis.

O Universo observável tem bilhões de galáxias, e cada uma abriga bilhões de estrelas. Por sua vez, cada uma dessas estrelas pode ter um sistema planetário. Imagine, então, quantos planetas devem existir no Universo. Esse número tão grande pode nos fazer pensar: será que existem outras formas de vida fora da Terra? Além disso, como o Universo surgiu? Há uma explicação para sua origem? Ele está evoluindo?

As respostas a essas e várias outras perguntas relacionadas ao Universo ainda estão sendo estudadas. Agências espaciais como a National Aeronautics and Space Administration (Nasa), dos Estados Unidos, e a European Space Agency (ESA), uma organização intergovernamental europeia, mantêm alguns equipamentos para esse fim. Em junho de 2019 foi anunciado o mais novo instrumento para detecção de planetas fora do Sistema Solar, ou exoplanetas. Ele foi instalado no complexo Very Large Telescope (Fig. 1.1), localizado no Chile e operado pelo European Southern Observatory (ESO), sediado na Alemanha. Esse instrumento tem como objetivo estudar a origem e a evolução do Universo, além de detectar exoplanetas com água líquida em sua superfície em regiões do espaço onde é possível que ela exista, ou seja, as zonas habitáveis. Isso porque a água é uma substância essencial para a manutenção da vida que conhecemos na Terra. O feixe de luz que pode ser visto na Figura 1.1 é produzido por um *laser* (em destaque, no canto superior direito da imagem), que cria uma "estrela" artificial auxiliando os sistemas ópticos a compensar os efeitos de distorção causados pela atmosfera da Terra.

Neste Tema vamos estudar os conceitos e teorias que nos permitem compreender o Universo.

:: Como tudo começou? A teoria do Big Bang

A **teoria do Big Bang** é atualmente a mais aceita para explicar o surgimento do Universo. Apesar de existirem algumas questões que ela não elucida totalmente, todas as previsões matemáticas e medidas observacionais realizadas até hoje a corroboram. De acordo com essa teoria, o Universo surgiu de uma **singularidade**, ou seja, algo muito pequeno equivalente ao conceito geométrico de um ponto, que não tem dimensão. Ela continha em si todo o conteúdo de matéria e energia do Universo, em um estado inicial de densidade e temperatura muito alto.

Essa singularidade passou então por um processo de expansão (**Fig. 1.2**) inicialmente muito rápido, dando origem ao espaço-tempo e a todo o Universo como hoje o conhecemos. De maneira simplificada, podemos entender a evolução do Universo em cinco fases: o Universo primitivo, a era da luz, a era das trevas, o Universo atual e o futuro distante.

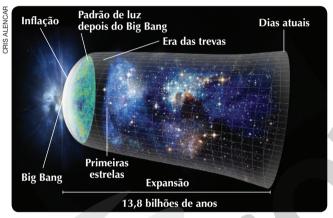


Figura 1.2 Diagrama com a representação temporal do Universo, desde o seu surgimento (Big Bang) até os dias atuais. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Vejamos uma descrição com mais detalhes de cada uma dessas fases.

Universo primitivo: essa fase incluiu o primeiro picossegundo do Universo, ou seja, tudo o que aconteceu entre o Big Bang e a fração de tempo de 10⁻¹² s. Foi durante esse período que ocorreu a inflação do Universo e a separação das quatro forças elementares da Física: fraca, forte, eletromagnética e gravitacional.

Era da luz: essa fase durou pouco menos de 400 mil anos. A maior parte da energia do Universo nesse período era composta de radiação em vez de matéria. Alguns núcleos atômicos, constituídos de prótons e nêutrons, se formaram nos primeiros dois minutos, a maioria composta de hidrogênio, seguido por deutério, hélio e alguns traços de lítio e berílio (inferiores a 1%). Todos os outros átomos representados na tabela periódica foram formados posteriormente, em outra fase, no núcleo de estrelas, no processo de morte delas ou por impactos de raios cósmicos.

Era das trevas: esse período se iniciou logo após a era da luz e durou aproximadamente 1 bilhão de anos. Nessa fase, o Universo esfriou o bastante para que se formassem átomos neutros, ou seja, com os elétrons se juntando aos núcleos atômicos. Com isso, os fótons ("pacotes" individuais de radiação eletromagnética) conseguiram percorrer distâncias bem maiores sem que fossem desviados pela matéria. Os átomos formados nesse período (hidrogênio, deutério, hélio, lítio e berílio) emitiram uma radiação, chamada de radiação cósmica de fundo. O mais incrível é que os astrônomos conseguiram observar essa radiação. É a evidência mais forte que sustenta a teoria do Big Bang. No final da era das trevas surgiram as primeiras galáxias e os primeiros aglomerados de galáxias. O Universo começou a adquirir uma estrutura similar à que observamos hoje.

Universo atual: é o período que se inicia após o primeiro bilhão de anos e se estende até os dias de hoje. Tem idade estimada em 13,8 bilhões de anos. Ao longo desse intervalo de tempo não houve mudanças drásticas na estrutura do Universo como um todo. Ele permanece em expansão, embora em uma escala menor; estrelas nascem, evoluem e morrem; átomos com maior número de prótons que o hélio são continuamente criados nos interiores estelares; e galáxias evoluem, mas sem mudar a conformação do Universo como o conhecemos e conseguimos explicar.

Futuro distante: não sabemos como será o futuro distante do Universo. Componentes importantes como a matéria escura, e principalmente a energia escura, que veremos mais adiante, ainda são pouco conhecidos. Cenários vindouros ainda são verdadeiros mistérios.

Modelo cosmológico padrão: matéria escura e energia escura

A Cosmologia é a área da Astronomia que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo. Ela segue um modelo padrão que trata o Universo em grande escala, chamado de **λCDM**; CDM é a abreviação em inglês para matéria escura fria (*cold dark matter*).

A matéria escura é um componente ainda pouco conhecido, porém extremamente relevante para descrever o funcionamento do Universo. Ela recebe esse nome porque nós não conseguimos enxergá-la. Ela não emite nenhuma radiação eletromagnética, como a luz, nem interage com ela. Mas sabemos que existe, pois exerce força gravitacional do mesmo jeito que a matéria que conhecemos. Quando realizam cálculos acerca do movimento de estrelas, galáxias ou aglomerados de galáxias, os astrônomos conseguem estimar a massa dentro de uma determinada região, no entanto esse valor nunca bate com a massa luminosa observável. Como não sabem de que se trata nem são capazes de enxergar essa matéria,



Figura 1.3 A astrônoma Vera Cooper Rubin (1928-2016) comprovou a existência da matéria escura (Carnegie Institution for Science, 1970).

COM CIÊNCIA WILLIAN RAPHAEL SILVA DE FORMA INDIRETA PORQUE EXISTE CERCA DE 5 VEZES POUCAS PESSOAS SABIAM ELA INTERAGE COM A MATÉRIA ONDE ELAS ESTAVAM. MAIS MATÉRIA ESCURA DO VISÍVEL POR MEIO DA GRAVIDADE ALÉM DISSO, TINHA UMA PENA TUCA, TIRA ESTE QUE A MATÉRIA VISÍVEL PRETA NA CENA DO CRIME. DISFARCE. EU INTERESSANTE I ASSIM COMO A GENTE FNTÃO SEÎ QUE É VOCÊ COMO OS CIENTISTAS DE FORMA INDÍRETA FU SABE, DE FORMA ÎNDÎRETA QUE UMA ONÇA PASSOU POR DESCOBRIRAM A POSSO DESCOBRIR QUEM IATÉRIA ESCURA SE PEGOLI MINHAS GOIARAS MEU NOME NÃO NÁ PRA VER ? QUE ELA DEÍXOU.

Figura 1.4 Na tirinha, o bugio Caco concluiu de modo indireto que o tucano Tuca roubou suas goiabas.

eles criaram o termo **matéria escura**. Ela é a responsável por exercer a atração gravitacional extra necessária para explicar o movimento de estrelas e galáxias. Portanto, a matéria escura é determinada de forma indireta, ou seja, sua detecção não é feita observando diretamente a matéria escura, mas sim outras partículas que indicam a sua existência. A tirinha (**Fig. 1.4**), por exemplo, mostra como o bugio Caco chegou a uma conclusão de forma indireta. A existência da matéria escura foi provada em 1978 pela astrônoma estadunidense Vera Cooper Rubin (**Fig. 1.3**).

Outro elemento importante do modelo cosmológico padrão é a **energia escura**. Do mesmo modo que a matéria escura, a energia escura é um componente do Universo cujos efeitos são observáveis, porém sua natureza ainda é desconhecida. Sabemos que o Universo está se expandindo com uma velocidade acelerada, e foi dado o nome de energia escura à energia responsável por essa aceleração.

Além disso, não sabemos se existe uma relação entre a matéria escura e a energia escura. Elas podem ser fenômenos totalmente independentes.

O modelo cosmológico padrão indica que cerca de 68% do Universo é composto de energia escura, aproximadamente 27% é composto de matéria escura e apenas 5% é composto da matéria que conhecemos, ou seja, tudo o que conseguimos observar, como planetas, estrelas, galáxias etc.

Partículas elementares

De acordo com o chamado modelo padrão, toda a matéria que conhecemos no Universo, ou seja, os 5% que podemos observar, é composta de três tipos de partículas elementares: quarks, léptons e partículas mediadoras. Quarks são partículas que podem se combinar para formar prótons e nêutrons, por exemplo – os prótons e nêutrons são formados por três quarks. Já um exemplo de lépton são os elétrons. E, quando as partículas elementares interagem entre si – pois, como vimos, elas podem se combinar formando prótons ou nêutrons –, temos as partículas mediadoras, responsáveis por essas interações. A interação eletromagnética, por exemplo, tem como partícula mediadora o fóton.

:: Lei Hubble-Lemaître e a expansão do Universo

A luz, que é uma radiação eletromagnética, pode ser decomposta em uma distribuição de frequências ou comprimentos de onda chamada de espectro eletromagnético. Nós conseguimos fazer essa decomposição passando a luz branca através de um prisma (**Fig. 1.5**), por exemplo.



Figura 1.5 Luz branca atravessando um prisma e sendo decomposta nas cores do arco-íris.

Por meio do espectro, podemos obter informações relacionadas à temperatura do corpo que está emitindo a radiação, ou até mesmo de sua composição química.

Quando observamos o espectro de uma estrela, vemos um espectro contínuo com todas as cores e, sobrepostas a ele, várias linhas escuras de absorção (**Fig. 1.6**). Entretanto, se a estrela estiver se aproximando da Terra, essas linhas espectrais acabam sendo deslocadas para comprimentos de onda menores, ou seja, para o lado azul do espectro visível, e por isso esse efeito é chamado de **desvio para o azul**.

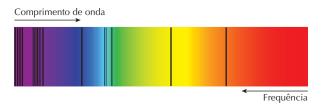


Figura 1.6 Espectro de absorção do Sol.

Efeito similar ocorre no caso das estrelas que estão se afastando da Terra, com a diferença de que os comprimentos de onda observados são maiores do que aqueles esperados. Portanto, o efeito é classificado como **desvio para o vermelho**. Mais detalhes sobre espectroscopia serão vistos no Tema 2.

Dados observacionais obtidos desde a década de 1920 de objetos fora da nossa galáxia mostravam desvios significativos para o vermelho. Observações posteriores comprovaram esses resultados e revelaram que esse desvio aumentava quanto mais distante estava o objeto.

Ainda na década de 1920, o padre e astrônomo belga Georges Lemaître (1894-1966) explicou que os desvios para o vermelho aconteciam porque o Universo estava se expandindo. Ao se expandir, todos os corpos do Universo que não estão ligados gravitacionalmente se afastam uns dos outros e, portanto, é possível observar o desvio para o vermelho em seus espectros.

O trabalho de Lemaître não foi bem divulgado para os outros astrônomos do mundo, pois foi publicado em francês e em uma revista científica com pouca repercussão. Alguns anos mais tarde, o astrônomo estadunidense Edwin Powell Hubble (1889-1953) apresentou um artigo com conclusões semelhantes às de Lemaître. Porém, como publicou em inglês e em uma revista bem conhecida no meio acadêmico, os créditos do estudo acabaram sendo atribuídos somente a ele. Tornou-se então conhecida a chamada lei de Hubble, que em 2018 foi renomeada pela União Astronômica Internacional como **lei Hubble-Lemaître**, expressa por:

$$v = H_0 D$$

em que v representa a velocidade em km s⁻¹ de afastamento do objeto, H_0 é um valor constante, conhecido como constante de Hubble, e D indica a distância entre o observador e o objeto, dada usualmente em Mpc (megaparsec). O valor da constante de Hubble mudou ao longo das últimas décadas e depende de parâmetros ainda não bem estabelecidos. Atualmente, o valor utilizado e que se encontra em concordância com as observações de grandes telescópios é de $H_0 = 74 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

O parsec (pc) é uma unidade de medida de distância usada em Astronomia que possui a seguinte correspondência: $1 \text{ pc} \simeq 3 \cdot 10^{16} \text{ m ou } 1 \text{ Mpc} \simeq 1 \cdot 10^{6} \text{ pc.}$ Outra unidade de medida muito usada é o ano-luz, que corresponde à distância percorrida pela luz em um ano: $1 \text{ ano-luz} \simeq 9,5 \text{ trilhões de km.}$ Portanto, a correspondência entre o parsec e o ano-luz é: $1 \text{ pc} \simeq 3,26 \text{ anos-luz.}$

Com base nessas correspondências e na distância de aproximadamente 99 parsecs entre a Terra e a estrela de Magalhães, a mais brilhante do Cruzeiro do Sul, quanto tempo um fóton emitido por essa estrela demora para chegar à Terra?

A luz, no vácuo, viaja a uma velocidade constante. Logo, considerando o meio entre as estrelas como vácuo, podemos dizer que a distância da estrela de Magalhães em anos-luz indica um valor direto de quanto tempo a radiação emitida por ela demora para chegar à Terra. Sabendo que 1 parsec equivale a aproximadamente 3,26 anos-luz, temos:

$$d = 99 \cdot 3,26 : d \approx 323$$
 anos-luz

Ou seja, um fóton emitido pela estrela de Magalhães demora em torno de 323 anos para chegar à Terra.

Cosmologia: visão clássica de Newton versus visão relativística de Einstein

Em 1687, o físico inglês Isaac Newton (1643-1727) compôs, com base nos trabalhos de cientistas que o antecederam, uma lei para explicar o movimento dos astros, baseada na gravidade. Newton universalizou o conceito de gravidade determinando que a força que puxa um objeto para o centro da Terra tem a mesma natureza da força que mantém a Lua em órbita em torno da Terra, chamada de **força gravitacional**. O modelo de Newton, válido até os dias atuais, foi generalizado pelo físico alemão Albert Einstein (1879-1955), em 1915.

Quando pensamos em como descrever o movimento de diferentes corpos que estão sob efeito da força gravitacional, é natural considerarmos o trabalho de Newton. Porém, quando tratamos de escalas muito pequenas (como na Física Quântica) ou muito grandes (como no Universo em larga escala), precisamos tomar alguns cuidados.

O estudo da Cosmologia parte de um princípio fundamental, chamado de **princípio cosmológico**. De acordo com ele, observadas em escalas suficientemente grandes, as propriedades do Universo são as mesmas em qualquer região.

Pode parecer uma afirmação simples, porém várias implicações importantes derivam do princípio cosmológico, por exemplo:

- As leis da Física devem ser as mesmas em qualquer região do Universo.
- As distribuições de matéria e energia, em larga escala (escalas maiores do que 250 milhões de anos-luz), devem ser as mesmas.
- O Universo não tem bordas e, portanto, também não tem um centro.

Quando tentamos aplicar as leis desenvolvidas por Newton para o Universo em grande escala, deparamos com alguns problemas. Isso não quer dizer que Newton estivesse errado, ou que suas equações não sejam válidas. Podemos considerar as leis de Newton como aproximações muito boas para explicar fenômenos físicos em situações em que:

- A velocidade relativa entre o observador e o objeto observado seja pequena (isto é, muito inferior a 0,001% da velocidade da luz).
- A escala considerada seja pequena (isto é, muito inferior a 0,001% do tamanho de um ano-luz).

Para escalas maiores do que essas, as leis de Newton precisam de um fator de correção que foi desenvolvido por Einstein (Fig. 1.7) em sua teoria da relatividade restrita e geral, conforme veremos a seguir. Já nas escalas de tamanho às quais estamos acostumados na Terra, e para objetos que viajam nas velocidades a que estamos habituados em nosso planeta, essa correção de Einstein é absolutamente desprezível, o que nos permite continuar aplicando as equações de Newton mesmo quando estamos tratando do movimento de planetas ao redor do Sol.

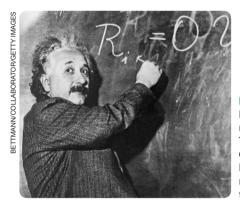


Figura 1.7 Albert Einstein em aula no Instituto de Tecnologia da Califórnia, em 1931. Einstein foi um dos maiores físicos de todos os tempos.

:: Relatividade restrita

Para compreender a teoria da relatividade restrita, vamos imaginar que estamos dentro de um trem em que não há janelas, ou que elas estejam todas fechadas. Sabemos que o meio de transporte está parado em relação ao chão no momento em que entramos nele, e somos capazes de sentir o momento em que ele começa a se mover, já que esse movimento inicial é acelerado.

Ao chegar a determinado valor de velocidade, vamos supor que a aceleração se anule e, portanto, a velocidade, a partir desse momento, se mantém constante. Se o trem não apresentar fricção com os trilhos ou, melhor ainda, se for um trem-bala magnético que desliza perfeitamente sem nenhum tipo de vibração, uma criança que tenha entrado dormindo em um de seus vagões e acorde apenas quando sua velocidade já estiver constante será incapaz de determinar, sem olhar para fora, se o trem está se movimentando ou parado em relação ao mundo externo.

Quando temos dois sistemas referenciais, como o trem e a plataforma do nosso exemplo, ambos com velocidade constante, podemos considerar que qualquer um dos dois está em movimento ou parado sem que haja variação nas equações de movimento. Ou seja, quem estiver dentro do trem pode imaginar que ele está parado e que a Terra está se movimentando abaixo dele.

Um fenômeno curioso pode ser observado quando levamos em conta que a velocidade da luz é constante em um meio homogêneo (c) e que nada pode atingir velocidade superior à da luz, que é de aproximadamente

300.000 km s⁻¹. Vamos imaginar que o nosso trem esteja viajando rapidamente, muito mais que qualquer trem convencional, e que sua velocidade corresponda à metade da velocidade da luz. Consideremos agora que um fóton de luz esteja sendo emitido pelo farol localizado na parte dianteira do trem (**Fig. 1.8**). Com que velocidade esse fóton seria observado por alquém fora do trem?



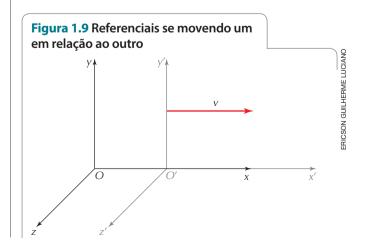
Figura 1.8 Um observador parado na plataforma observa um trem se movimentando com velocidade \vec{v}_{trem} e um fóton emitido a uma velocidade \vec{v}_{luz} pelo farol do trem.

De acordo com a Mecânica clássica, teríamos de somar a velocidade do trem (\vec{v}_{trem}) à velocidade com que o fóton (\vec{v}_{luz}) está sendo emitido. Porém, isso implicaria uma velocidade maior que a da luz. Como o fóton é radiação eletromagnética na forma de luz, ele não pode viajar a uma velocidade maior que sua própria velocidade máxima. É por isso que quando começamos a estudar velocidades altas, comparáveis à velocidade da luz, a Física clássica precisa de alguns ajustes.

Albert Einstein foi uns dos primeiros físicos a estudar esse tipo de fenômeno, no início do século XX, e elaborou os dois importantes postulados a seguir.

- Princípio da relatividade: as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais movendo-se com velocidade constante.
- Constância da velocidade da luz: a luz viaja com uma velocidade constante c no vácuo, independentemente da velocidade da fonte de emissão.

Referencial inercial é o referencial de um corpo que continuará em repouso ou em movimento retilíneo uniforme se nenhuma força atuar sobre ele ou se a resultante das forças que atuarem sobre ele for nula.



Para entender as correções que precisam ser feitas nas leis clássicas da Física quando estamos em uma velocidade alta, vamos imaginar que o referencial *O* apresentado na **Figura 1.9** seja o referencial da pessoa parada na plataforma de trem, e o referencial *O'* seja o referencial do trem, sendo *v* a velocidade entre eles.

Na Mecânica clássica, a transformação para a posição entre os dois referenciais mostrados na **Figura 1.9** seria simplesmente:

$$x = x - vt$$

Mas, para considerarmos os efeitos da relatividade de Einstein, precisamos aplicar o chamado **fator de Lorentz**, dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Assim, a transformação da posição entre os dois referenciais, considerando o fator de Lorentz, é dada por:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

em que *c* representa a velocidade da luz. Podemos observar que, se *v* for desprezível em relação a *c*, essa equação se torna equivalente à transformação clássica de referenciais. Porém, quando o valor de *v* se aproxima do *c*, essa correção passa a ser importante.

Além da coordenada x, em que há o componente não nulo da velocidade, a transformação de Lorentz também precisa ser aplicada no tempo, resultando em:

$$t = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Os efeitos da relatividade de Einstein podem também ser levados em consideração se pensarmos em um intervalo de tempo Δt , o que nos dá:

$$\Delta t_{\text{movimento}} = \frac{\Delta t_{\text{repouso}}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Essa equação representa a **dilatação do tempo**. Isso quer dizer que um intervalo de tempo de 1 s para o observador em repouso é diferente do intervalo de tempo de 1 s para quem está em movimento. No nosso exemplo do trem, quando o relógio do observador na plataforma marcar 10 s, o relógio do passageiro do trem marcará, nesse mesmo intervalo:

$$\Delta t = \frac{10}{1 - (0.5c)^2/c^2} :: \Delta t \approx 11.5 \text{ s}$$

Logo, é como se o tempo passasse mais devagar para quem está em movimento em altas velocidades.

Já para um comprimento na direção x, a transformação de Lorentz é dada por:

$$\Delta x_{\rm movimento} = \Delta x_{\rm repouso} \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Ainda pensando no nosso trem, um adesivo de 1 m de comprimento colado horizontalmente na lateral de um de

seus vagões será visto pela pessoa na plataforma, quando o trem estiver em movimento, com a seguinte medida:

$$\Delta x_{\text{movimento}} = 1 \cdot \sqrt{1 - (0.5c)^2/c^2} :: \Delta x_{\text{movimento}} \simeq 0.87 \text{ m}$$

A equação obtida representa a contração do espaço.

Os efeitos da relatividade restrita de Einstein implicam que, para um observador em movimento com uma velocidade comparável à da luz, porém menor que esta, o tempo passará mais devagar (dilatação do tempo) e o espaço percorrido será menor (contração do espaço) que para um observador com referencial de velocidade nula.

Vamos aplicar os conceitos apresentados a uma situação na qual seja possível observar a dilatação do tempo, considerando uma nave que viaje com 90% da velocidade da luz, ou seja, com velocidade de 0,9 · c. Digamos que, para um observador na Terra, um astronauta dentro dessa nave tenha passado um ano viajando. Quanto tempo terá transcorrido de acordo com o referencial do astronauta?

Aplicando a equação de dilatação do tempo, temos:

$$\Delta t = \frac{1 \text{ ano}}{1 - (0.9c)^2/c^2} :: \Delta t \simeq 2.3 \text{ anos}$$

Logo, o astronauta terá viajado por aproximadamente 2 anos e 4 meses, de acordo com seu referencial.

Agora, vamos ver outra situação na qual é possível observar a contração do tempo, considerando uma sonda que partiu da Terra com uma velocidade igual a 0,8 · c e percorreu 5 anos-luz, de acordo com o referencial da Terra. Supondo que essa sonda possua um sistema capaz de medir a distância percorrida, qual será a distância mostrada por esse sistema?

Aplicando a seguinte equação de contração do tempo:

$$\Delta x_{\text{movimento}} = 5 \cdot \sqrt{1 - (0.8c)^2/c^2} :$$

 $\Delta x_{\text{movimento}} = 3 \text{ anos-luz}$

Para a sonda, a distância percorrida terá sido de apenas 3 anos-luz.

Noções de relatividade geral: o espaço-tempo e a teoria de gravitação de Einstein

No início do século XX, Einstein fez uma reformulação da teoria gravitacional elaborada por Isaac Newton. Essa reformulação é chamada de **teoria da relatividade geral**.

Para entender o funcionamento dessa teoria, seria necessário que conseguíssemos imaginar quatro dimensões espaciais simultâneas, e essa não é uma tarefa simples. Estamos acostumados a viver em um mundo tridimensional, com altura, largura e profundidade.

Mas vamos tentar, imaginando primeiro um mundo bidimensional, como se fôssemos pequenas formigas andando sobre um lençol bem esticado, sem noção alguma de que existe altura. Esse lençol bem esticado é uma analogia para o chamado **espaço-tempo**.

Um corpo, quando está presente no espaço-tempo e possui massa, causa uma curvatura nesse espaço-tempo. O movimento de outros corpos próximos a ele se dá no espaço-tempo curvo.

Vamos imaginar que nosso lençol seja agora a superfície de uma cama elástica. Quando uma formiga caminha sobre uma cama elástica, não produz praticamente nenhuma deformidade perceptível. Se jogarmos uma bola de tênis em cima dessa cama elástica, ela causará uma deformação maior, mas talvez não o suficiente para ser percebida pela formiga.

Agora, imagine que no centro da cama elástica seja posicionada uma pesada bola de boliche (**Fig. 1.10**). A deformação da cama elástica será grande o bastante para abarcar uma ampla região ao redor dessa bola. Se a bola de tênis e a formiga estiverem nessa região, certamente rolarão na direção da bola de boliche.



Figura 1.10 Representação esquemática da deformação da superfície de uma cama elástica com uma bola de tênis e uma bola de boliche.

O Universo funciona de maneira análoga. Um corpo de grande massa, como o Sol, por exemplo, deforma todo o espaço-tempo ao redor, de modo a afetar o movimento de corpos menores à sua volta, como a Terra. Por sua vez, a Terra também tem massa e altera o espaço-tempo ao seu redor, e por essa razão temos o movimento orbital da Lua. O exemplo da cama elástica nos permite observar apenas a distorção em duas dimensões, mas, quando pensamos no Universo, precisamos imaginar a distorção nas dimensões espaciais e temporal.

Todos os corpos presentes no Universo causam uma distorção no espaço-tempo, e, quanto maior a massa do objeto, maior é essa distorção.

Um curioso efeito desse fenômeno é que ele altera o movimento da luz. A luz pode descrever caminhos curvos em determinadas situações. A **Figura 1.11** exemplifica esse efeito.

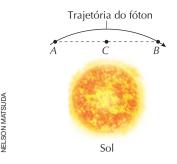


Figura 1.11
Representação
esquemática de um
fóton sendo desviado
por influência do Sol.
(Imagem sem escala;
cores-fantasia.)

Nessa figura, a luz sofre um desvio em virtude da distorção do espaço-tempo causada pelo Sol, em vez de seguir a linha reta ligando os pontos A e B, passando por C. O Sol faz com que a trajetória da luz não passe pelo ponto C, mas que descreva uma curva, exemplificada pela linha sólida. Esse fenômeno ocorre porque o espaço-tempo ao redor do Sol se deforma. O efeito na figura está exagerado para que seja ilustrativo, pois o desvio da luz provocado pelo Sol é praticamente imperceptível.

O Sol, no contexto do Universo, é um corpo de massa pequena. Existem estrelas que têm mais de uma centena de vezes a massa do Sol. Quando observamos distâncias grandes o suficiente, podemos ver claramente o efeito do desvio do caminho da luz (**Fig. 1.12**) por causa da massa de gigantescos sistemas formados por bilhões de estrelas, como as **galáxias** ou aglomerados de galáxias. Buracos negros massivos também são capazes de produzir intensas deflexões nas trajetórias dos raios luminosos.



Figura 1.12 Deformação do espaço-tempo por causa da influência de um corpo extremamente massivo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fique por dentro

Teoria da relatividade: como eclipse solar no Ceará há 100 anos transformou Einstein em celebridade mundial COSTA, C. *BBC News*, 24 maio 2019.

Descubra a relação do eclipse que ocorreu em Sobral, no Ceará, com a comprovação da teoria da relatividade geral. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48296017>. Acesso em: 14 maio 2020.

É por causa do desvio do caminho da luz que conseguimos observar uma galáxia mesmo que ela esteja atrás de outros corpos. Isso porque a luz é desviada em direções diferentes, percorrendo um caminho curvo até chegar à Terra. Esse efeito recebe o nome de **lente gravitacional**.

Registre em seu caderno

- 1. Quais são as principais evidências observacionais para a existência da matéria escura e da energia escura, respectivamente?
- 2. (PUC-Campinas) Andrômeda é uma galáxia distante 2,3 · 106 anos-luz da Via-Láctea, a nossa galáxia. A luz proveniente de Andrômeda, viajando a velocidade de $3.0 \cdot 10^5 \text{ km s}^{-1}$, percorre a distância aproximada até a Terra, em km, igual a:

a) $4 \cdot 10^{15}$

c) 2 · 10¹⁹

e) $9 \cdot 10^{23}$

b) 6 · 10¹⁷

d) 7 · 10²¹

- 3. Determine a distância média de uma galáxia que se encontra em afastamento da Terra com velocidade de 384 km s⁻¹. Considere $H_0 = 74$ km s⁻¹ Mpc⁻¹.
- 4. (UFRGS-RS) Considere as afirmações abaixo, acerca da Teoria da Relatividade Restrita.
 - I. O tempo não é absoluto, uma vez que eventos simultâneos em um referencial inercial podem não ser simultâneos se observados a partir de outro referencial inercial.
 - II. Segundo a lei relativística de adição de velocidades, a soma das velocidades de dois corpos materiais nunca resulta em uma velocidade acima da velocidade da luz.
 - III. As leis da natureza não são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movimentam com velocidade uniforme.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.

d) Apenas II e III.

b) Apenas II.

e) I, II e III.

- c) Apenas I e II.
- 5. (FGV-SP) A nave New Horizons, cuja foto é apresentada a seguir, partiu do Cabo Canaveral em janeiro de 2006 e chegou bem perto de Plutão em julho de 2015. Foram mais de 9 anos no espaço, voando a 21 km s⁻¹. É uma velocidade muito alta para nossos padrões aqui na Terra, mas muito baixa se comparada aos 300.000 km s⁻¹ da velocidade da luz no vácuo.



Considere uma nave que possa voar a uma velocidade igual a 80% da velocidade da luz e cuja viagem dure 9 anos para nós, observadores localizados na Terra. Para um astronauta no interior dessa nave, tal viagem duraria cerca de

a) 4,1 anos.

c) 6,5 anos.

e) 20,5 anos.

b) 5,4 anos.

d) 15 anos.

6. (UEL-PR) Os múons são partículas da família dos léptons, originados pela desintegração de partículas píons em altitudes elevadas na atmosfera terrestre, usualmente a alguns milhares de metros acima do nível do mar. Um múon típico, movendo-se com velocidade de 0,998c, realiza um percurso de aproximadamente 600 m durante seu tempo de vida média de 2·10⁻⁶ s. Contudo, o tempo de vida média desse múon, medido por um observador localizado no sistema de referência da Terra, é de $30 \cdot 10^{-6}$ s.

Com base nos conhecimentos sobre a teoria da relatividade, analise as seguintes afirmativas.

Considere a velocidade da luz $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

- I. Essa discrepância de valores é explicada pelo aumento do tempo de vida média da partícula no sistema de referência da Terra, por um fator de Lorentz no valor aproximado de 15 para a velocidade dada.
- II. No sistema de referência da Terra, um múon com essa velocidade percorre cerca de 9.000 m.
- III. No sistema de referência da Terra, um múon com essa velocidade percorre cerca de 3.000 m.
- IV. Observações e medidas desse tipo confirmam previsões relativísticas.

Com base nos conhecimentos em Física, assinale a alternativa que contém todas as afirmativas corretas.

a) I e IV.

c) III e IV.

e) I, II e IV.

b) II e III.

d) I, II e III.

7. (UFRN) Em abril de 2007, foi anunciada a descoberta de um planeta extrassolar distante cerca de 20 anos--luz da Terra. Por ter características semelhantes às do nosso planeta, ele já vem despertando o interesse de missões espaciais tripuladas, dedicadas à procura de vida extraterrestre. Imagine que, com a missão de realizar pesquisas sobre a possibilidade de existência de vida naquele planeta, um astronauta seja enviado numa espaçonave com velocidade v = 0.8c (c é a velocidade da luz no vácuo). Suponha que o astronauta, de 30 anos de idade, deixe na Terra um irmão gêmeo e que ambos irão medir o tempo da viagem.

Dados:

- $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$, sendo Δt o intervalo de tempo medido no referencial da Terra e Δt ' o intervalo de tempo medido no referencial da espaçonave.
- Considere que o fator de Lorentz é $\gamma = 10/6$ e que são desprezíveis os tempos de aceleração e desaceleração da espaçonave, durante as jornadas de ida e de volta, e o tempo de permanência do astronauta naquele planeta.

A partir da situação descrita, responda:

- a) Qual dos gêmeos medirá o maior tempo da viagem de ida e volta? Justifique sua resposta com base na teoria da relatividade especial.
- b) Se, para o gêmeo que ficou na Terra, o tempo que seu irmão levou para ir ao outro planeta e de lá voltar foi de 50 anos, que idade terá cada um dos irmãos quando o gêmeo astronauta retornar à Terra?

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- 8. (Uninorte-AM) Uma das evidências a favor da teoria do Big Bang, que explica a origem do Universo, foi observada pelo cientista Edwin Hubble (1889--1953). No ano de 1929, ele formulou a lei de Hubble, com base no fato de que todas as galáxias estão se afastando da Terra, ou seja, o Universo está em expansão. A lei de Hubble é dada pela equação $v = H \cdot d$, em que H é a constante de Hubble – igual a 15,3 · 10^{-19} s⁻¹, aproximadamente –, v é a velocidade com a qual uma galáxia ou quasar está se afastando da Terra e d, a distância da galáxia ou quasar até a Terra. Considere-se um quasar, um corpo extremamente luminoso e muito massivo, que está se afastando da Terra com velocidade suposta constante de $2.0 \cdot 10^8$ m s⁻¹. Com base nessas informações, pode-se afirmar que o intervalo de tempo decorrido desde a origem do quasar até hoje, ou seja, a idade do Universo, em anos, é da ordem de
 - a) 10⁸.
- c) 10¹⁰.
- e) 10¹².

- **b)** 10⁹.
- d) 10¹¹.
- 9. (Unesp) Instituído pela Organização das Nações Unidas, 2005 foi o Ano Mundial da Física, em que se comemorou o centenário dos trabalhos revolucionários publicados por Albert Einstein, o mais importante cientista do século XX (segundo a revista norte-americana Time). Na teoria da relatividade especial, de Einstein, objetos que se movem com velocidade v em relação a um referencial inercial têm o tempo dilatado por um fator γ, para um observador em repouso nesse referencial. A tabela mostra valores de γ para diversos módulos da velocidade v, representados em múltiplos da velocidade da luz c (ou c = 3 · 108 m s⁻¹).

v	γ
0,000 <i>c</i>	1,000
0,100 <i>c</i>	1,005
0,200 <i>c</i>	1,021
0,400 <i>c</i>	1,091
0,600 <i>c</i>	1,250
0,800 <i>c</i>	1,667
0,900 <i>c</i>	2,294
0,998 <i>c</i>	15,82
0,999 <i>c</i>	22,37
c	∞

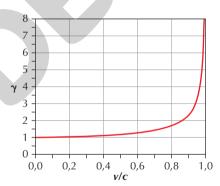
Segundo esse modelo, pede-se:

a) Qual a velocidade, em m s⁻¹, que deve ser atingida pelo objeto para que a dilatação do tempo seja de apenas 0,5%? Comente como este resultado

- explica por que as pessoas não percebem os efeitos da dilatação do tempo no seu dia a dia.
- b) Se para o objeto passaram-se 10 minutos, quantos minutos se passaram para um observador no referencial inercial que vê o objeto se movimentando à velocidade de 0,600c?
- 10. (UFRN) André está parado em relação a um referencial inercial, e Regina está parada em relação a outro referencial inercial, que se move com velocidade (vetorial) constante em relação ao primeiro. O módulo dessa velocidade é v.

André e Regina vão medir o intervalo de tempo entre dois eventos que ocorrem no local onde esta se encontra. (Por exemplo, o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que um pulso de luz é emitido por uma lanterna na mão de Regina e o instante em que esse pulso volta à lanterna, após ser refletido por um espelho.)

A teoria da relatividade restrita nos diz que, nesse caso, o intervalo de tempo medido por André $\Delta t_{\rm André}$ está relacionado ao intervalo de tempo medido por Regina $\Delta t_{\rm Regina}$ através da expressão: $\Delta t_{\rm André} = \gamma \cdot \Delta t_{\rm Regina}$. Nessa relação, a letra gama γ denota o fator de Lorentz. O gráfico abaixo representa a relação entre γ e v/c, na qual c é a velocidade da luz no vácuo.



ERICSON GUILHERME LUCIANO

Imagine que, realizadas as medidas e comparados os resultados, fosse constatado que $\Delta t_{\rm Andr\'e}=2\Delta t_{\rm Regina}.$ Usando essas informações, é possível estimar que, para se obter esse resultado, a velocidade v teria de ser aproximadamente

- a) 50% da velocidade da luz no vácuo.
- b) 87% da velocidade da luz no vácuo.
- c) 105% da velocidade da luz no vácuo.
- d) 20% da velocidade da luz no vácuo.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 5; 6 Habilidades: EM13CNT101; EM13CNT201; EM13CNT209; EM13CNT301

Fique por dentro

Fonte de ouro e régua do Universo

ZORZETTO, R. *Pesquisa Fapesp*, São Paulo, n. 261, nov. 2017.

Aprenda sobre a formação de elementos químicos com maior número de prótons que o ferro a partir da colisão de estrelas de nêutron. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/fonte-de-ouro-e-regua-do-universo/>.

Isótopos e massas atômicas

A simulação ilustra, por meio de modelos submicroscópicos, como calcular a massa atômica de alguns elementos químicos da tabela periódica com base na abundância isotópica. Além disso, é possível construir núcleos de diversos isótopos.

Disponível em: https://
phet.colorado.edu/sims/
html/isotopes-and-atomic-mass/latest/isotopes-and-atomic-mass_pt_BR.html>.

Mulheres cientistas tiveram papel fundamental na descoberta de elementos químicos

Conheça as cientistas que contribuíram para a construção da tabela periódica atual.

Disponível em: http://cfq.
org.br/noticia/cientistasmulheres-tiveram-papelfundamental-na-descobertade-elementos-quimicos/>.
Acessos em: 12 jun. 2020.

A formação dos átomos

Estudamos no Tema anterior que o Universo teria surgido da rápida expansão de uma singularidade, que continha a matéria e a energia presentes em um estado de altas densidade e temperatura. Após alguns segundos do início do processo de expansão, teria havido uma queda na temperatura que permitiu a formação de núcleos atômicos. Ao atingir cerca de 3.500 K, os núcleos atômicos interagiram com partículas de carga elétrica oposta, os elétrons, formando átomos. O que difere um átomo de outro e como essa diferença está relacionada com as propriedades da matéria?

:: A fusão nuclear e a formação dos núcleos atômicos

A progressiva expansão com consequente resfriamento do Universo tornou propícia a combinação de diferentes tipos de *quarks*, levando à formação de prótons (núcleo do átomo de hidrogênio, 1_1 H) e nêutrons, ainda no período conhecido como era da luz, após o Big Bang. Cerca de três minutos do início do Universo a temperatura era de 11,6 \cdot 10 9 K. Nessa condição a colisão entre prótons e nêutrons livres levou à **nucleossíntese**, ou seja, formação de núcleos atômicos mais complexos – agregados entre próton(s) e nêutron(s) – por meio de um processo denominado **fusão nuclear**. Os núcleos mais abundantes nessa fase foram: o deutério (D ou 1_1 H), com um próton e um nêutron; e o hélio, com dois prótons e um ou dois nêutrons (3_1 He e 4_2 He, respectivamente).

O físico alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005) realizou cálculos demonstrando que a energia das estrelas provém da reação de fusão nuclear na qual se convertem núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. Durante essa reação, parte da massa é transformada em energia, de acordo com a equação da relatividade, e é suficiente para fazer a estrela brilhar por bilhões de anos. No Sol, por exemplo, a cada segundo, 4 milhões de toneladas de matéria são convertidas em energia. Nesse processo, além dos prótons e nêutrons, estão envolvidas partículas elementares, como os elétrons (e⁻), e antipartículas, como os pósitrons (e⁺). Alguns desses processos podem ser representados da seguinte forma.

Geração de núcleos de ${}_{2}^{4}$ He: ${}_{1}^{1}$ H \longrightarrow ${}_{2}^{4}$ He + $2e^{+}$ + Energia

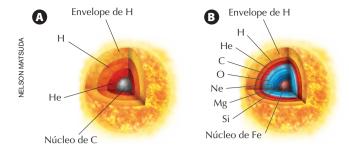
Aniquilação matéria antimatéria: e⁺ + e[−] → Energia

Como núcleos de hidrogênio estão sendo convertidos em núcleos de hélio, chega um momento em que o hidrogênio se esgota. Quando isso ocorre, se a estrela tiver massa suficiente, tem início a fusão de núcleos de hélio gerando núcleos de carbono (C), importantes para o desenvolvimento da vida como nós a conhecemos.

$$3^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + e^{+} + e^{-} + \gamma$$

Quando o hélio se esgota, se a estrela tiver massa suficiente, os núcleos de carbono se fundem e formam núcleos de oxigênio (O). Dependendo da massa da estrela, a cadeia de reações nucleares pode prosseguir até a formação de núcleos de ferro (Fe).

Mas nem todas as estrelas conseguem fazer fusão nuclear até a síntese de ferro, pois isso exige uma massa dezenas de vezes maior que a massa do Sol. Estrelas de menores massas, como o Sol, só chegam até a formação de carbono. A **Figura 2.1 A** representa o estágio final de uma estrela de aproximadamente três massas solares, e a **Figura 2.1 B**, uma estrela de mais de dez massas solares. Nas imagens estão indicadas as camadas da estrutura estelar e os núcleos atômicos que passam por fusão nuclear em cada uma delas.



Fonte: ARANY-PRADO, L. I. À luz das estrelas. 2004. Disponível em: https://ciencianautas.com/wp-content/uploads/2017/01/%C3%80-luz-das-estrelas.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2020.

Figura 2.1 Representação esquemática do interior de estrelas pouco antes de chegarem às etapas finais de sua evolução. As faixas indicadas com a identidade dos núcleos atômicos correspondem às regiões em que eles passam por fusão, formando núcleos com maior número de partículas. Na parte externa, há o envelope de H que representa a camada de hidrogênio que não está sendo fusionado. (A) Estrela de cerca de três massas solares. (B) Estrela de mais de dez massas solares. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Quando a estrela esgota totalmente sua fonte de energia e termina sua evolução, ela espalha seus núcleos atômicos no meio interestelar, e novas estrelas e planetas podem ser formados a partir desse material.

Apenas traços dos núcleos de lítio, berílio e boro foram produzidos no Big Bang, e eles não são produzidos nas estrelas por fusão nuclear. Eles são formados em decorrência da colisão de partículas – aceleradas em eventos como a explosão de estrelas – com energia suficiente para fragmentar núcleos atômicos, especialmente de carbono, nitrogênio (N) e oxigênio, presentes, por exemplo, no meio interestelar e na atmosfera de planetas. Esse processo é conhecido como espalação nuclear.

Outros processos devem ocorrer para que sejam formados núcleos com maior número de prótons que os núcleos de ferro. Alguns exemplos são: a fusão por meio de captura de nêutrons (que pode acontecer pela captura lenta – processo-s – ou pela captura rápida – processo-r), e a fusão por meio da captura de prótons (processo-p). Esses processos costumam acontecer em regiões com prótons e nêutrons de alta energia em abundância, como em explosões de estrelas massivas ao final de sua vida, fenômeno denominado de **supernova**.

:: Constituição atômica

Os átomos são constituídos de partículas subatômicas, como prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons foram identificados nos estudos do físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), publicados em 1919. Os nêutrons, embora previstos em diversas pesquisas e trabalhos experimentais desenvolvidos por tantos outros cientistas da época, foram identificados pelo físico britânico James Chadwick (1891-1972), em 1932. Os elétrons foram identificados e caracterizados graças aos trabalhos do físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940) de 1904 e do físico estadunidense Robert Millikan (1868-1953) de 1909.

Esses estudos demonstraram que prótons (p^+), nêutrons (n^0) – ambos constituintes do núcleo atômico – e elétrons (e^-) – distribuídos na eletrosfera do átomo – apresentam massas e cargas diferentes entre si, e que essas propriedades influenciam a estrutura e o comportamento de um átomo.

Os valores relativos de massa e de carga para essas três partículas subatômicas estão mostrados na **Tabela 2.1**. Embora seja possível medir a massa das partículas em gramas, é mais comum utilizar a unidade de massa atômica unificada (u), que equivale a $1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg.

Tabela 2.1 Carga e massa relativas de partículas subatômicas						
Partícula Carga Massa (u)						
Próton (p ⁺)	+1	1,0				
Nêutron (nº)	0	1,0				
Elétron (e ⁻)	-1	0,00054				

Fonte: IUPAP. *Symbols, units, nomenclature and fundamental constants in physics*. 1987 Revision. Disponível em: https://iupap.org/wp-content/uploads/2014/05/A4.pdf. Acesso em: 12 jun. 2020.

Observe que a massa de um elétron é cerca de 2 mil vezes menor que a massa das partículas nucleares. Isso está de acordo com a interpretação de Rutherford para os resultados experimentais obtidos nos estudos acerca da estrutura atômica que indicaram que praticamente toda a massa do átomo concentra-se em seu núcleo.

Mas o que diferencia um tipo de átomo do outro, se todos são formados pelos mesmos tipos de partícula? A resposta para essa pergunta reside no conceito de **elemento químico**, que mudou ao longo do tempo.

As primeiras concepções sobre átomos e elementos eram fruto de reflexões filosóficas e foram introduzidas pelos atomistas gregos na Antiguidade. Demócrito, no século 5 a.C., já propunha que a matéria fosse feita de pequenas partes indivisíveis (os átomos), que, combinadas de forma adequada, produziriam as propriedades macroscópicas observadas. O químico francês Antoine Laurent-Lavoisier (1743-1794) compreendia os elementos químicos como as últimas substâncias que se poderia obter por análises químicas – o que em termos atuais seriam as substâncias simples. O químico inglês John Dalton (1766-1844) associou a ideia de elementos químicos a átomos; ele enfatizava que as propriedades que caracterizavam os elementos químicos eram resultado das massas dos átomos, e foi o primeiro a propor um método para determinar as massas atômicas relativas dos elementos químicos.

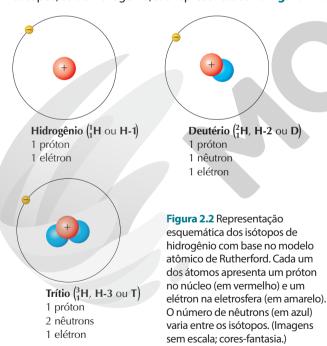
Todo conhecimento alcançado se deve às complexas pesquisas realizadas e ao trabalho colaborativo entre cientistas, assim como à existência de controvérsias. Note, portanto, a complexidade da construção da Ciência, já que ao longo dos séculos a visão acerca da Natureza e a perspectiva da Ciência se modificam.

Atualmente, chamamos de elementos químicos os conjuntos de diferentes tipos de átomos caracterizados por seus números de prótons, e não mais por suas massas.

Essa quantidade é referenciada como número atômico, simbolizado por Z. Assim, todo átomo com sete prótons no núcleo (Z = 7), por exemplo, pertence ao elemento químico nitrogênio (N) e pode ser representado por 7N.

Essa definição tem relação principalmente com dois trabalhos: o de 1913 do físico britânico Henry Moseley (1887-1915) e o de 1919 do químico inglês Francis W. Aston (1877-1945). Moseley, analisando a emissão de raios X por átomos bombardeados por feixes de elétrons em alta velocidade, observou que a frequência da radiação emitida era característica de cada tipo de átomo e se relacionava ao número de cargas positivas no núcleo atômico. Aston, utilizando um equipamento construído por ele – denominado espectrógrafo de massas – na busca de uma explicação sobre a inexatidão das massas atômicas determinadas pelos químicos da época, verificou a existência de uma variedade de átomos de mesmas propriedades químicas, mas com diferentes massas atômicas, os quais chamou de isótopos. Ou seia, em termos atuais entende-se que isótopos são átomos de um mesmo elemento químico com o mesmo número de prótons, mas diferentes números de nêutrons.

Dois dos isótopos de carbono, por exemplo, podem ser representados como ¹¹₆C e ¹²₆C ou como C-11 e C-12, respectivamente. Essa notação enfatiza a soma do número de prótons e de nêutrons, quantidade conhecida como **número** de massa, simbolizado por A. Note que os isótopos são, portanto, átomos do mesmo elemento químico, mas com diferentes números de massa. Mais isótopos de carbono encontrados na natureza são C-13 e C-14. Outros exemplos de isótopos, os de hidrogênio, são representados na Figura 2.2.



Alguns isótopos são instáveis, ou seja, de forma espontânea os núcleos desses átomos passam por um processo chamado decaimento, gerando um isótopo diferente ou, ainda, um átomo de outro elemento químico. Por exemplo, átomos de carbono-14, produzidos continuamente no bombardeio da atmosfera terrestre por raios cósmicos, são instáveis. Esses isótopos acabam sendo incorporados pelos organismos vivos por meio de etapas do ciclo do carbono. Com o passar do tempo esses átomos se transformam em átomos de outro elemento químico, nitrogênio-14 (14/2N). Tal redução na quantidade total de ¹⁴C pode ser quantificada e, dessa forma, utilizada em pesquisas geológicas para datação de fósseis e materiais arqueológicos, sendo uma técnica muito usada para materiais de até cerca de 50 mil anos.

Massa atômica e abundância isotópica

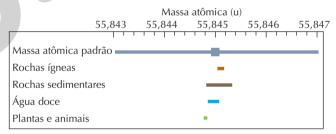
Os isótopos ocorrem na natureza em proporções variadas. Por exemplo, o elemento químico boro (B) é encontrado na forma de boro-10 (10B, massa igual a 10,013 u) e boro-11 (11B, massa igual a 11,009 u) na proporção de 19,9% e 80,1%, respectivamente. Uma consequência da abundância isotópica variável é o fato de o valor da massa atômica (m_a) dos elementos químicos ser a média ponderada das massas atômicas dos isótopos:

$$m_{\rm a}(B) = \frac{(10,013\,\mathrm{u}\cdot 19,9) + (11,009\,\mathrm{u}\cdot 80,1)}{100} = 10,81\,\mathrm{u}$$

Fonte: ROYAL Society of Chemistry. Disponível em: https://www.rsc.org/ periodic-table/element/5/boron>. Acesso em: 12 jun. 2020.

Observe que o valor final é mais próximo de 11 que de 10, em razão da maior abundância do isótopo do boro-11.

A abundância isotópica não é constante no Universo e pode variar inclusive de um ponto a outro do planeta. Em cálculos mais precisos, isso deve ser levado em conta, o que torna mais adequado se referir a faixas de massa atômica em vez de considerar um valor único. A Figura 2.3 apresenta o exemplo do elemento químico ferro, presente na natureza como uma mistura de quatro isótopos: ⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe e ⁵⁸Fe, dos quais o mais abundante é o de número de massa 56.



Fonte consultada: WIESER, M. E.; COPLEN, T. B. Atomic weights of the elements 2009. Pure and Applied Chemistry, Genebra, v. 83, 2011.

Figura 2.3 Massa atômica dos isótopos do elemento químico ferro em amostras de fontes variadas. As barras indicam que há uma variedade de massas possíveis para esse elemento químico, em razão da existência de isótopos.

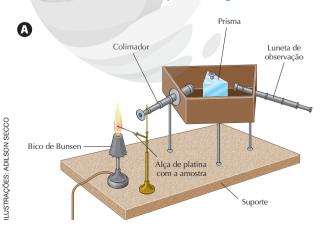
A massa atômica padrão para o elemento químico ferro é 55,845 u. Observe que ela não representa bem a massa atômica dos isótopos de ferro encontrados em rochas ígneas ou em plantas e animais. Ou seja, cada ambiente favorece preferencialmente um tipo de isótopo em detrimento de outro.

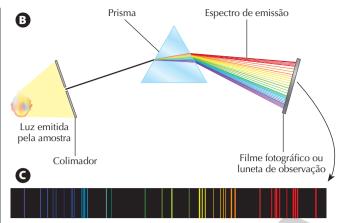
Em 1961, na Conferência da União Internacional de S Química Pura e Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC), em acordo com a União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP), foi adotado o carbono-12 (12C) como padrão na medida de massa atômica dos demais elementos químicos. Antes, o padrão era o oxigênio. Assim, uma unidade de massa atômica, 1 u, corresponde a $\frac{1}{12}$ da massa atômica do átomo de carbono-12 e equivale a aproximadamente 1,66 \cdot 10⁻²⁴ g. Note que as massas atômicas são medidas relativas.

:: Espectros atômicos

De forma simplificada, átomos do mesmo elemento químico apresentam propriedades químicas e físicas similares. Algumas delas estão relacionadas à distribuição dos elétrons em cada átomo. O estudo desses arranjos eletrônicos é a base para a caracterização de diversos materiais. Um exemplo dessas propriedades é a emissão de luz pelos fogos de artifício, fabricados geralmente com uma mistura contendo sais metálicos. No momento de sua queima rápida, os íons metálicos que compõem o material recebem energia na forma de calor, que é transformada em movimentação de elétrons na eletrosfera. Essa movimentação normalmente produz a emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas, no caso a luz, com uma coloração que é característica dos elementos químicos presentes no material.

A partir do conhecimento de que a cor emitida após o aquecimento é característica de cada elemento químico, dois alemães, o químico Robert Bunsen (1811-1899) e o físico Gustav Kirchhoff (1824-1887), realizaram experimentos com o objetivo de desenvolver um método preciso de identificação das substâncias que apresentavam essa propriedade. Nesses experimentos, uma pequena amostra de substância purificada, formada por determinado elemento químico de interesse, era vaporizada na chama de um queimador desenvolvido por Bunsen (aparato conhecido hoje como bico de Bunsen), até que o vapor emitisse luz (Fig. 2.4 A). A luz emitida pela amostra atravessa o colimador, e os raios luminosos são transformados em um feixe de raios paralelos. O feixe passa através do prisma e é decomposto, podendo ser observado com o auxílio de uma luneta ou um filme fotográfico (Fig. 2.4 B). O resultado é um espectro de linhas característico do elemento químico (Fig. 2.4 C).





Fontes: FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. *Química Nova na Escola*, n. 3, 1996. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc03/historia.pdf; PENN STATE UNIVERSITY. *Periodic table of the elements*. Disponível em: http://chemistry.bd.psu.edu/jircitano/periodic4.html Acessos em: 12 jun. 2020.

Figura 2.4 (A) Esquema do espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff. **(B)** Representação esquemática da emissão de luz pela amostra até a detecção da luz decomposta. **(C)** Espectro de linhas correspondente à emissão do elemento químico bário. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Os experimentos de Bunsen e Kirchhoff mostraram que os vapores gerados a partir das substâncias purificadas produziam um espectro com linhas de diversas cores, separadas por regiões escuras, diferente do espectro formado a partir da luz solar, por exemplo, em que as cores decompostas aparecem de forma contínua.

Como cada elemento químico apresenta um espectro distinto, o método criado por Bunsen e Kirchhoff tornou possível diferenciá-los qualitativamente, além de possibilitar a investigação da composição das estrelas. No entanto, os modelos atômicos propostos até então não eram capazes de explicar os espectros descontínuos observados para os elementos químicos. Neste contexto, mas já no início do século XX, outros modelos atômicos eram propostos e, mesmo apresentando determinadas limitações, inspiravam e serviam de referências para novos estudos sobre os espectros. Os trabalhos do fisico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) e do matemático inglês John William Nicholson (1881-1955), por exemplo, certamente colaboraram para que Niels Bohr (1885-1962), físico dinamarquês, pudesse apresentar seu modelo em 1913, o qual foi bem-sucedido e aceito na época.

Dois anos mais tarde, em 1915, o físico alemão Arnold Sommerfeld (1868-1951) e colaboradores apresentaram extensões ao modelo de Bohr a fim de corrigir certas limitaçoes existentes. O modelo de Bohr-Sommerfeld apresentava então as seguintes características:

- Um elétron se move em órbita circular estável em torno do núcleo de um átomo, que se encontra no estado de menor energia (Fig. 2.5 A).
- A energia do elétron em uma determinada órbita é constante. Quanto mais distante do núcleo, maior sua energia.

- Existe um número limitado de órbitas nas quais um elétron pode se situar. Elas são denominadas estados estacionários (mais conhecidos como níveis de energia ou camadas eletrônicas). Quando um elétron recebe energia (por exemplo, por
- meio de aquecimento ou corrente elétrica), ele salta para uma órbita mais distante do núcleo, de maior energia (Fig. 2.5 B).
- Quando um elétron libera a energia adquirida na forma de radiação eletromagnética ou calor, ele retorna a sua órbita original (Fig. 2.5 C).

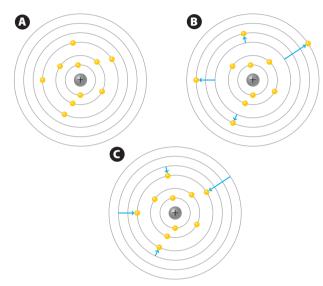


Figura 2.5 Representação esquemática do modelo atômico proposto por Bohr-Sommerfeld, em que as esferas amarelas representam os elétrons, a esfera cinza com o sinal de (+) representa o núcleo, os círculos cinza representam as órbitas e as setas azuis indicam as mudanças de órbitas. (A) Átomo no estado fundamental, ou seja, de mais baixa energia. (B) Os elétrons mudam para órbitas mais afastadas do núcleo ao absorver energia. (C) Ao liberar essa energia, os elétrons retornam à órbita original. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Quando um ou mais elétrons saltam para órbitas de maior energia, dizemos que os elétrons (ou o átomo) estão no **estado excitado**. O estado de menor energia é chamado estado fundamental. O movimento dos elétrons de uma órbita para outra é chamado de transição eletrônica.

A energia absorvida ou liberada por um elétron ao mudar de órbita corresponde à diferença entre os níveis de energia dessas órbitas. Como existem algumas órbitas possíveis, há somente alguns valores de energia possíveis. Assim, diz-se que essa energia é quantizada. De acordo com o conceito de quantização, introduzido pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), os elétrons absorvem e liberam energia em valores determinados denominados quanta. Considerando que ocorre a atração eletrostática núcleo-elétron, o modelo de Bohr exigia um rompimento com a Física Clássica, admitindo que o eletromagnetismo clássico não era válido na escala atômica. Ou seja, por esse modelo o elétron não entraria em colapso com o núcleo, já que teria energia constante enquanto se desloca em sua órbita.

Esse modelo também explicou o comportamento de emissão de luz dos elementos químicos: o espectro de emissão de dado elemento químico é descontínuo, pois os elétrons liberam energia de forma quantizada. Podemos entender melhor a relação desse modelo atômico com os espectros de emissão se retomarmos o experimento de Bunsen e Kirchhoff. Nele, a energia, em forma de calor, fornecida pela chama é suficiente para que os elétrons passem a uma órbita de maior energia. Essa energia é liberada na forma de luz quando o elétron retorna ao estado fundamental. Quando a luz emitida pela amostra passa pelo colimador e atravessa o prisma, ela é decomposta em determinado número de linhas espectrais, em que cada linha representa a transição de órbita de um elétron, com energia definida (Fig. 2.6).

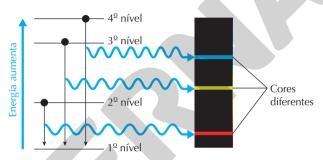


Figura 2.6 Representação esquemática parcial de um diagrama de níveis de energia (à esquerda) e do espectro de emissão proveniente das transições eletrônicas de um átomo. O primeiro nível (de menor energia) é o mais próximo do núcleo atômico. A linha vermelha corresponde, portanto, à luz emitida pelo elétron que retorna do segundo para o primeiro nível de energia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os conhecimentos relacionados à emissão de radiação eletromagnética característica dos diversos elementos químicos são ferramentas fundamentais para o entendimento da origem e da evolução do Universo, sobretudo para a determinação da composição química elementar dos mais diversos objetos astronômicos existentes no espaço. Os pesquisadores podem estudar, por exemplo, como os elementos químicos são formados no interior das estrelas e como eles se distribuem nas galáxias e permitem a formação de planetas e até da vida.

:: Tabela periódica e configuração eletrônica

Em um átomo, a quantidade de prótons no núcleo é igual à quantidade de elétrons na eletrosfera. Como estudamos, os elétrons podem ocupar regiões a diferentes distâncias do núcleo atômico. Seria possível agrupar os elementos químicos de acordo com características comuns de organização dos elétrons em seus átomos?

A organização da tabela periódica

Ao longo do século XIX, muitos pesquisadores buscaram formas de organizar os elementos químicos conhecidos

na época, com base nas massas atômicas. Por volta de 1870, o químico russo Dmitri I. Mendeleev (1834-1907) e o químico alemão J. Lothar Meyer (1830-1895) apresentaram, de forma independente, a classificação mais completa e bem-sucedida até então. Eles mostraram que, ao organizar os elementos químicos em ordem crescente de massa atômica, as propriedades variavam gradativamente ao longo dessa ordem, e se observava a repetição regular e periódica das propriedades. Ambos fizeram tabelas com lacunas, sugerindo que havia elementos químicos ainda não conhecidos, mas os estudos de Mendeleev foram além dos de Meyer ao prever propriedades desses elementos químicos (Fig. 2.7). Ele resumiu esses estudos em uma lei,

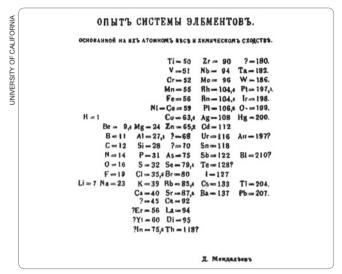


Figura 2.7 Tabela periódica proposta por Mendeleev em 1869. Os espaços marcados com interrogações representam elementos químicos que ele deduziu que existissem, mas que eram desconhecidos na época.

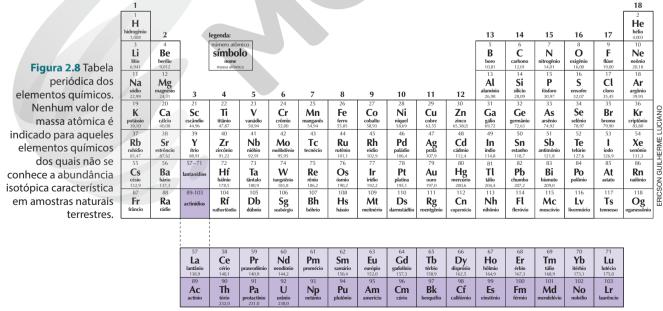
que pode ser citada da seguinte forma: "As propriedades físicas e químicas dos elementos químicos variam periodicamente quando organizados em ordem crescente de suas massas atômicas".

Embora constituísse grande avanço em relação a outros sistemas de organização dos elementos químicos, a tabela periódica de Mendeleev apresentava algumas inconsistências, que ficavam evidentes à medida que novos elementos químicos se tornavam conhecidos e a Química se desenvolvia. Por exemplo, a massa atômica do argônio (39,948 u) é maior que a do potássio (39,098 u). Com os elementos guímicos organizados de acordo com o aumento das massas atômicas, o argônio – um gás presente na atmosfera da Terra – faria parte do grupo do lítio, do sódio e do rubídio - metais presentes em rochas e solo -, ou seja, elementos químicos que apresentam propriedades distintas e não poderiam ser ordenados segundo o critério proposto por Mendeleev e Mayer. Esse foi apenas um dos casos que mostraram a necessidade de se estabelecer um novo critério para organizar a tabela periódica.

Com os avanços nas teorias atômicas no início do século XX e a definição de elemento químico em função do número atômico, foi proposta uma nova organização dos elementos químicos na tabela periódica, em ordem crescente de número atômico, resolvendo parte das inconsistências observadas na tabela de Mendeleev.

Atualmente, a tabela periódica agrupa 118 elementos químicos, organizados como mostra a **Figura 2.8**.

A tabela periódica apresenta diversas informações, comumente explicitadas em uma legenda, muito embora a quantidade de informações e a posição delas possam variar de uma versão da tabela periódica para outra.



Fonte consultada: IUPAC. Periodic table of the elements. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2018/12/IUPAC_Periodic_Table-01Dec18.jpg. Acesso em: 12 jun. 2020.

Grupos e períodos

Na tabela periódica (**Fig. 2.8**), as linhas verticais são chamadas grupos, enquanto as linhas horizontais são chamadas períodos. Elementos químicos do mesmo grupo apresentam propriedades semelhantes, e elas variam de forma mais ou menos gradativa ao longo de cada período. Os grupos 1, 2 e 13 a 18 são chamados de elementos químicos representativos e os grupos 3 a 12, de elementos químicos de transição. Apesar de o hidrogênio estar posicionado no grupo 1, ele não pertence a nenhum dos grupos, pois compartilha propriedades em comum com vários deles. Destacamos a seguir características de alguns desses grupos.

- Grupo 1, metais alcalinos: apresentam temperaturas de fusão e ebulição baixas em relação à maioria dos metais (entre cerca de 27 °C e 180 °C, a 1 atm). A denominação provém de *al kali*, nome árabe para uma planta de cujas cinzas se obtêm compostos de potássio e que era muito apreciada para a fabricação de sabão.
- Grupo 17, halogênios: o nome desse grupo significa "geradores de sal" e faz referência à abundância desses elementos guímicos em sais marinhos.
- Grupo 18, gases nobres: elementos químicos desse grupo são muito pouco reativos e, por isso, são encontrados na natureza geralmente como átomos isolados.
 Somente na década de 1960 foi sintetizado o primeiro composto com um gás nobre na composição, o hexafluoroplatinato de xenônio (XePtF₆).

Na década de 1930, a tabela periódica apresentava os elementos químicos ordenados até o número atômico 92 (urânio, U), quase todos encontrados na natureza, com exceção do tecnécio (Tc), o primeiro elemento químico artificialmente sintetizado.

O surgimento de novas tecnologias, como os aceleradores de partículas, tornou possível obter diversos elementos químicos artificiais. Por essa razão, hoje em dia, 118 elementos são reconhecidos pela IUPAC.

Distribuição eletrônica por níveis de energia

Desde que se descreveu o elétron como uma partícula subatômica, físicos e químicos buscaram compreender como os elétrons se distribuem na eletrosfera e como essa distribuição afeta as propriedades dos átomos.

Baseando-se em trabalhos do químico alemão Richard Abegg (1869-1910) sobre a importância de um grupo de 8 elétrons na estrutura dos átomos, em 1916 o químico estadunidense Gilbert Lewis (1875-1946) propôs que a capacidade dos átomos de se ligar com outros formando, por exemplo, moléculas poderia ser explicada se os elétrons envolvidos nas ligações químicas se apresentassem em número par. Ele os dispôs nos vértices de um cubo e introduziu, a partir desse modelo cúbico, uma notação, conhecida como símbolos de Lewis e utilizada até os dias atuais. Nessa notação, são escritos os símbolos dos elementos químicos e, ao redor deles, são representados os

elétrons da **camada de valência** (a camada mais externa do átomo) por meio de pontos organizados aos pares. No modelo cúbico de Lewis, os elétrons são dispostos inicialmente à máxima distância possível, a fim de representar uma situação de menor repulsão eletrônica (**Fig. 2.9**).

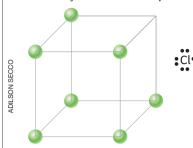


Figura 2.9
Representação
esquemática dos
elétrons da camada de
valência do átomo de
cloro segundo o modelo
cúbico de Lewis e, à
direita, o símbolo de
Lewis correspondente.
(Imagem sem escala;
cores-fantasia.)

A **Figura 2.10** mostra os símbolos de Lewis e sua relação com a tabela periódica. A representação dos átomos como cubos, para Lewis, não implicava dizer que essa fosse a forma geométrica dos átomos; tratava-se somente de uma maneira de representar sua configuração eletrônica. Um dos problemas mais evidentes do modelo de Lewis, no entanto, é que ele sugeria que os elétrons estavam parados nos vértices de um cubo, conhecimento que pôde ser aprimorado por meio de modelos atômicos propostos alguns anos mais tarde.

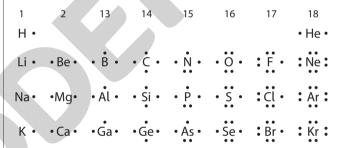


Figura 2.10 Esquema relacionando os símbolos de Lewis de alguns elementos químicos representativos à sua posição na tabela periódica.

O químico estadunidense Irving Langmuir (1881-1957) aprimorou o modelo de Lewis e calculou a quantidade máxima de elétrons em cada nível de energia, sendo as camadas mais internas (iniciando pelo nível 1, camada K) ocupadas antes que os níveis mais externos. Esses cálculos foram confirmados para os elementos representativos, chegando aos valores indicados na **Tabela 2.2**.

Tabela 2.2 Distribuição dos elétrons nos níveis de energia							
Nível	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	М	N	0	Р	Q
Número máximo de elétrons	2	8	18	32	32	18	8

Fonte consultada: KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Tradução: Flávio M. Vichi e Solange A. Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

Observe a seguir as configurações eletrônicas de alguns elementos químicos representativos da tabela periódica, do 2° ao 7° período (**Tab. 2.3**).

Tabela 2.3 Configuração eletrônica dos elementos químicos do grupo 1								
Distribuição eletrônica por camadas								
Período	Elemento químico	К	L	М	N	0	Р	Q
2	Li	2	1					
3	Na	2	8	1				
4	К	2	8	8	1			
5	Rb	2	8	18	8	1		
6	Cs	2	8	18	18	8	1	
7	Er	2	Q	10	22	10	Q	1

Fonte consultada: LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. Tradução: Henrique E. Toma, Koiti Araki e Reginaldo C. Rocha. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 1999.

Observe que o número de elétrons na camada de valência é o mesmo para todos os elementos químicos do grupo. A investigação da configuração eletrônica de diferentes elementos químicos mostrou que o número de elétrons de valência estava relacionado às propriedades semelhantes apresentadas pelos elementos químicos de um mesmo grupo. A distribuição eletrônica também nos ajuda a compreender a formação dos períodos da tabela periódica: os átomos dos elementos químicos que fazem parte de um mesmo período apresentam o mesmo número de camadas eletrônicas ocupadas.

O conhecimento acerca dos modelos atômicos e da distribuição dos elétrons continuou em um processo de desenvolvimento e refinamento, levando à melhor compreensão das propriedades apresentadas pelos elementos químicos, especialmente os de transição.

Distribuição eletrônica por subníveis de energia

No período de 1920 a 1930, os espectros atômicos estavam sendo estudados por diversos cientistas. Esses estudos revelaram que as linhas do espectro descontínuo eram formadas, na verdade, por conjuntos de linhas mais finas muito próximas umas das outras. Em 1926, com base no trabalho do físico francês Louis de Broglie (1879-1955) - que se valia das teorias de Einstein e de Planck para explicar o comportamento da matéria como partícula e como radiação, conhecido como dualidade onda-partícula -, o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) propôs uma nova descrição matemática para o átomo de hidrogênio, utilizando a mecânica ondulatória para descrever o comportamento dos elétrons por meio de funções de onda (Ψ). Ao mesmo tempo que Schrödinger, outros físicos trabalharam na descrição do átomo quântico. Um deles foi o físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976) que em 1927 formulou o princípio da incerteza, segundo o qual não seria possível determinar com a mesma precisão simultaneamente a velocidade e a posição dos elétrons ao redor do núcleo. Na mesma época, o físico alemão Max Born (1882-1970) propôs que o quadrado da função de onda poderia ser associado à probabilidade de se encontrar o elétron em determinada região ao redor do núcleo (interpretação estatística da mecânica quântica). Assim, os elétrons não estariam distribuídos em órbitas fixas, mas em regiões ao redor do núcleo, denominadas **orbitais**, nas quais a probabilidade de eles estarem é maior. Os orbitais eletrônicos podem ser considerados soluções matemáticas da equação descrita por Schrödinger. Graficamente, a representação dos orbitais pode ser obtida calculando-se o quadrado do módulo das funções de onda, |Ψ|² (Fig. 2.11).

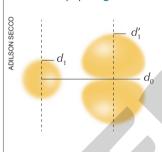


Figura 2.11 Representação esquemática de dois orbitais com energias diferentes. O centro da figura corresponde ao núcleo (d_0) , região em que a probabilidade de encontrar um elétron é nula. Afastando-se do núcleo, ao longo da linha pontilhada, a probabilidade volta a ser nula aproximadamente em d_1 e d'_1 . (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Um conjunto de orbitais forma um **subnível** de energia, ao qual pode ser associada uma das linhas mais finas observadas nos espectros atômicos. Cada um dos níveis de energia previstos no modelo de Bohr-Sommerfeld é subdividido em até quatro subníveis, representados pelas letras **s**, **p**, **d** e **f**, contendo, respectivamente, 1, 3, 5 e 7 orbitais, e cada orbital comporta no máximo dois elétrons. Para determinar a configuração eletrônica de um átomo no estado fundamental, sem precisar realizar cálculos matemáticos, pode-se utilizar o **diagrama das diagonais**, no qual a ordem de energia dos subníveis é indicada pelas setas (**Fig. 2.12**).

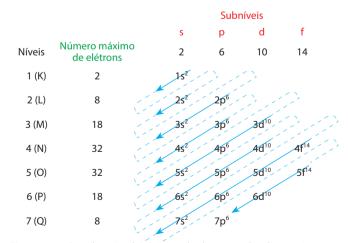


Figura 2.12 Distribuição eletrônica pelo diagrama das diagonais. A soma do número de elétrons dos subníveis (s, p, d, f) corresponde ao número máximo de elétrons nos respectivos níveis de energia (de K a Q). A distribuição dos elétrons segue o sentido definido pelas setas azuis na diagonal.

Esse diagrama também é conhecido como diagrama de Pauling, em referência ao químico estadunidense Linus Carl Pauling (1901-1994), um dos primeiros a aplicar à Química os conceitos da Mecânica Quântica.

A sequência apresentada a seguir corresponde à ordem crescente de energia dos orbitais, conforme descrita no diagrama das diagonais.

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p

Observa-se que o subnível 4s apresenta energia inferior à do subnível 3d. Assim, na distribuição eletrônica, o 4s é preenchido primeiro, embora corresponda a uma camada mais afastada do núcleo. Compare a distribuição eletrônica dos elementos químicos cloro e ferro na **Figura 2.13**.

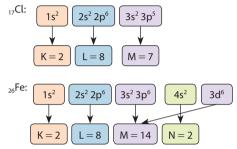


Figura 2.13 Distribuição eletrônica em subníveis e níveis de energia dos átomos dos elementos químicos cloro e ferro.

O ferro é considerado um elemento químico de transição. Os elementos químicos de transição possuem uma subcamada d ou f parcialmente preenchida.

Também é possível determinar por procedimento semelhante a configuração eletrônica de íons. A transferência de elétrons dos átomos para a formação de íons envolve a camada de valência, ou seja, o nível mais afastado do núcleo. Compare as configurações eletrônicas do ânion cloreto ($_{17}$ Cl $^-$) e do cátion ferro(II) ($_{26}$ Fe $^{2+}$) apresentadas na **Figura 2.14** com as mostradas na **Figura 2.13**.

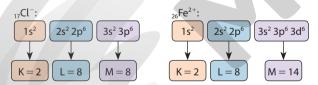


Figura 2.14 Distribuição eletrônica em subníveis e níveis de energia dos íons cloreto e ferro(II).

Observa-se que, no ânion cloreto, o elétron recebido ocupa um subnível na camada de valência (M). No cátion ferro(II), os dois elétrons foram retirados da camada de valência (N), e não do subnível 3d. Com a formação do íon, o subnível 4s da camada de valência ficou vazio, por isso ele não é representado na distribuição eletrônica.

Determinar a configuração eletrônica dos átomos auxilia na compreensão e predição das ligações químicas que eles podem formar. Esse conhecimento é importante para estudar a composição das substâncias que constituem nosso planeta e que deram origem aos primeiros organis-

mos vivos, mas também tem aplicação direta na síntese de novos materiais, na produção e armazenamento de energia, no desenvolvimento de fármacos, entre outras.

Propriedades periódicas

Átomos de elementos químicos com configurações eletrônicas similares – e, por consequência, propriedades semelhantes – estão representados no mesmo grupo da tabela periódica. Essas propriedades se repetem em intervalos regulares, após cada período da tabela, e são, por isso, denominadas propriedades periódicas. Elas se dividem em propriedades atômicas – as quais impactam nas propriedades das substâncias simples, formadas apenas por átomos de um mesmo elemento químico –, propriedades químicas e propriedades físicas. Estas últimas são as que variam de forma menos regular com o número atômico.

Densidade

A densidade de um material a uma dada temperatura corresponde à razão entre a massa e o volume desse material. Essa propriedade física da matéria aumenta, no grupo, com o aumento do número atômico. Com relação ao período, a tendência observada é o aumento da densidade dos grupos 1 e 18 em direção ao centro do bloco dos elementos químicos de transição. Para exemplificar, os metais mais densos são o ósmio e o irídio.

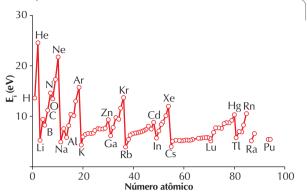
Energia de ionização

Quando se transfere energia a um átomo (por aquecimento, por exemplo), os elétrons podem absorvê-la, passando para níveis mais energéticos que os do seu estado fundamental, como prevê o modelo de Bohr-Sommerfeld. Se a energia transferida for suficiente, é possível vencer a atração entre um elétron de uma camada mais externa e o núcleo, removendo o elétron do átomo, transformando-o em um cátion. Essa energia é chamada **energia de ionização** (*E*_i).

O valor da energia de ionização – medida em elétron-volt (eV) – depende de quão afastado o elétron está do núcleo e, consequentemente, da força de atração entre eles. A energia de ionização é determinada experimentalmente com o átomo na fase gasosa e no estado fundamental. A fase gasosa é considerada referência porque nela os átomos ficam isolados, com o mínimo possível de interferências mútuas. Assim, a energia necessária para retirar o elétron é igual à energia com a qual o elétron é atraído pelo núcleo.

A energia necessária para retirar o elétron mais externo do átomo é chamada primeira energia de ionização. A segunda energia de ionização é a energia necessária para retirar o segundo elétron mais externo, ou seja, o elétron mais externo do cátion formado na primeira etapa, e assim sucessivamente. A energia de ionização varia de acordo com o número atômico, como mostra o gráfico da **Figura 2.15**.

Figura 2.15 Primeira energia de ionização *versus* número atômico



Fonte: ATKINS, P.; DE PAULA, J. *Physical chemistry*. 7. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2003.

Na tabela periódica, em determinado período, a energia de ionização tende a aumentar à medida que cresce o número atômico. Em um mesmo grupo, a energia de ionização tende a diminuir com o aumento do número atômico. Isso acontece por causa da carga nuclear efetiva, que corresponde à força resultante de interação elétrons-núcleo, que considera a força de atração do núcleo e a repulsão dos elétrons das camadas mais internas. Quanto maior a carga nuclear efetiva, maior a energia necessária para vencer a força de atração entre elétron e núcleo e ionizar o átomo. A remoção de um ou mais elétrons, por aumentar a carga nuclear efetiva, faz com que o raio do cátion seja menor que o raio do átomo correspondente.

Na **Tabela 2.4** são apresentados os valores aproximados para as três primeiras energias de ionização dos elementos químicos do primeiro e segundo períodos da tabela periódica.

A segunda energia de ionização de um átomo é sempre maior que a primeira. Ou seja, mais energia é necessária para remover um elétron de um íon com carga positiva que de um átomo. Além disso, a remoção de elétrons de camadas mais próximas ao núcleo do átomo demanda mais energia que remover elétrons da camada de valência. Por exemplo, a remoção do primeiro elétron do átomo de berílio requer 9,3 eV, e cerca de duas vezes mais energia é necessária para remover o segundo elétron da camada de valência. Já para remover o terceiro elétron do berílio que está na camada mais interna e, portanto, mais próxima do núcleo, é necessário cerca de 16 vezes mais energia que na primeira ionização.

Tabela 2.4	Energias de ionização de alguns
	elementos auímicos

Z	Elemento químico	1ª energia de ionização (eV)	2ª energia de ionização (eV)	3ª energia de ionização (eV)				
1	Н	13,6	_	_				
2	He	24,6	54,4	_				
3	Li	5,4	75,6	122,4				
4	Ве	9,3	18,2	153,9				
5	В	8,3	25,2	37,9				
6	C	11,3	24,4	47,9				
7	N	14,5	29,6	47,4				
8	0	13,6	35,1	54,9				
9	F	17,4	35,0	62,7				
10	Ne	21,6	41,0	63,4				

Fonte: LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis, 2010.

Afinidade eletrônica

ADILSON SECCO

Os átomos também podem receber elétrons, tornando-se íons negativos (ânions). Nesse caso, energia é liberada pelo átomo e pode ser medida. Essa energia é chamada **afinidade eletrônica** (E_{ae}). Assim como a energia de ionização, essa propriedade é determinada em átomos na fase gasosa e é geralmente medida em elétrons-volt, como no exemplo a seguir.

$$Cl(g) + 1 e^{-} \longrightarrow Cl^{-}(g)$$
 $E_{ae} = 3.61 \text{ eV}$

Essa representação indica que um átomo de cloro libera 3,61 elétron-volts ao receber um elétron, transformando-se no ânion cloreto, uma nova espécie química.

A afinidade eletrônica indica a tendência do átomo em receber o elétron e formar ânions. Quanto maior a afinidade eletrônica, maior a tendência de um átomo a receber elétrons. O ganho de elétrons aumenta as repulsões elétron-elétron; consequentemente, o **raio do ânion** é maior que o raio do átomo correspondente. Na tabela periódica, a afinidade eletrônica varia praticamente da mesma forma que a energia de ionização.

Existem outras propriedades que seguem o padrão de organização dos elementos da tabela periódica, como raio atômico e temperatura de fusão e ebulição. Além disso, a tabela periódica compila informações sobre a configuração eletrônica, o que pode ser útil para identificarmos que tipos de substância podem ser formados por determinados elementos químicos. Por esse motivo, saber acessar as informações contidas na tabela periódica contribui para a compreensão dos mais variados processos sob o ponto de vista da composição da matéria.

Atividades

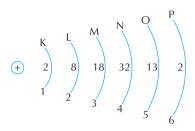
- Os íons de cobre são utilizados em fogos de artifício para obter a cor azul durante as explosões. Com base no modelo de Bohr-Sommerfeld, explique por que ocorre a emissão da cor observada.
- 2. O flúor, na forma de íons F⁻, é importante para a saúde bucal porque ajuda a prevenir o surgimento de cáries. Sabendo que o flúor tem número atômico 9,

Registre em seu caderno



- identifique na tabela periódica qual dos elementos químicos, no estado eletricamente neutro, apresenta a mesma configuração eletrônica do ânion F^- .
- 3. Com base nos conhecimentos relativos à formação dos elementos químicos, explique por que a massa atômica associada a cada elemento químico não é representada por um valor exato.

4. A ilustração a seguir representa a distribuição por níveis de energia dos elétrons em um átomo. Analise-a e responda ao que se pede.



- a) Quantos elétrons tem o átomo representado?
- b) Quantos prótons tem o átomo representado?
- c) Qual é o seu número atômico?
- d) Consulte a tabela periódica para verificar a que elemento químico o átomo corresponde. Como a organização da tabela periódica facilita a localização dos elementos químicos nela?
- 5. A caracterização da composição química de estrelas se baseia na observação de linhas espectrais obtidas a partir da observação espacial. O espectro atômico relacionado ao elemento químico hidrogênio apresenta quatro linhas. Sabendo que há apenas um elétron na eletrosfera do hidrogênio, como explicar a partir do modelo atômico de Bohr as múltiplas linhas do espectro obtido?



Representação do espectro de emissão atômica do hidrogênio.

Fonte: PENN STATE UNIVERSITY. Periodic table of the elements.

Disponível em: http://chemistry.bd.psu.edu/jircitano/periodic4.html>. Acesso em: 14 jun. 2020.

- 6. O modelo atômico passou por diversas alterações ao longo da história e até hoje é motivo de discussão. O que isso revela sobre a construção da Ciência e sua relação com a tecnologia e o momento histórico?
- 7. A distribuição dos elétrons na eletrosfera fornece informações importantes sobre o átomo. A seguir, são apresentadas duas configurações eletrônicas para o átomo de magnésio (Z = 12).

A: 1s² 2s² 2p⁶ 3s²

B: 1s² 2s² 2p⁶ 3s¹ 3p¹

A respeito dessas configurações, são feitas as seguintes afirmações:

- I. "A" representa a configuração eletrônica do estado fundamental.
- II. "B" representa a configuração eletrônica correspondente a um estado excitado.

- III. A passagem de "A" para "B" ocorre com absorção de energia.
- IV. "B" representa um íon de magnésio.

As afirmações corretas são:

a) I e II.

c) II e IV.

e) III e IV.

b) I, II e III.

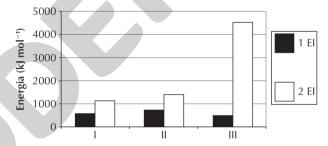
d) I, II e IV.

- 8. Leia o trecho a seguir e responda às questões.
 - [...] A temperatura extrema na qual o núcleo da Terra se formou há mais de 4 bilhões de anos teria eliminado completamente qualquer metal precioso [tais como o platina e ródio] da crosta rochosa e o depositado no núcleo [...].

Fonte: FAPESP. Metais extraterrestres. Agência Fapesp. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/metais-extraterrestres/11233/. Acesso em: 13 jun. 2020.

Que propriedade provavelmente está relacionada ao movimento dos referidos metais preciosos citados em direção ao núcleo terrestre? Com base nas propriedades periódicas, elementos de que grupo e período devem ser encontrados no núcleo da Terra?

9. (Unifesp) O gráfico apresenta as primeiras e segundas energias de ionização (1 EI e 2 EI) para os elementos sódio, magnésio e cálcio, indicados como I, II e III, não necessariamente nessa ordem.



Dentre esses elementos, aqueles que apresentam os maiores valores para a primeira e para a segunda energia de ionização são, respectivamente,

- a) cálcio e magnésio.
- d) magnésio e sódio.
- b) cálcio e sódio.
- e) sódio e magnésio.
- c) magnésio e cálcio.
- 10. Determine a configuração eletrônica por níveis de energia dos primeiros 20 elementos químicos da tabela periódica. Com os resultados, elabore um gráfico com o número de elétrons de valência no eixo das ordenadas e o número atômico no eixo das abscissas. Você observa alguma regularidade? Discuta com os colegas de que maneira esse gráfico poderia se relacionar com a disposição dos elementos químicos na tabela periódica.

Reflita sobre seu aprendizado!



Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Evolução estelar e o Sistema Solar

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 4; 5; 6 Habilidades: EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT209; EM13CNT301



Figura 3.1 Imagem do céu estrelado capturada na região Centro-Oeste do Brasil. (Pirenópolis, GO, 2019).

As estrelas que podemos ver na **Figura 3.1** são esferas gigantescas de gases em forma de plasma que brilham por estarem muito quentes. A luz de algumas delas demora tanto tempo para chegar à Terra que, em certos casos, elas nem existem mais no momento em que as observamos. Mas por que uma estrela deixaria de existir? É isso que veremos neste Tema ao estudarmos a evolução das estrelas. Além disso, vamos estudar os modelos propostos para explicar o nosso Sistema Solar.

:: Cores das estrelas

Se possível, instale em um *smartphone* ou *tablet* um aplicativo com a função de "mapa estelar". Com esse tipo de aplicativo, você pode apontar o aparelho para o céu e saber o nome das estrelas e planetas que se encontram naquela direção. Girando o dispositivo, em tempo real, as estrelas mostradas na tela mudam. Em uma noite, de preferência com poucas nuvens, vire o dispositivo para o céu e identifique algumas

estrelas. Tente perceber se há diferença na coloração delas. Em determinados aplicativos há, na representação gráfica da estrela, a indicação da sua coloração.

No meio da constelação de Escorpião (**Fig. 3.2**), visível no hemisfério sul nos meses de inverno, por exemplo, podemos ver a olho nu uma estrela avermelhada conhecida como "coração do Escorpião", exatamente por sua cor. Seu nome, na verdade, é Antares. E, às vezes, também vemos estrelas mais azuladas, como as famosas Três Marias, da constelação de Órion. Mas por que estrelas têm cores diferentes?

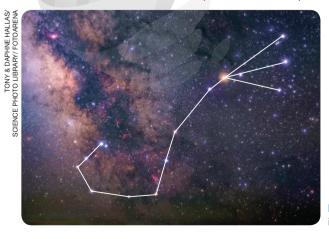


Figura 3.2 Constelação de Escorpião. As linhas imaginárias se assemelham à forma de um escorpião.

A cor das estrelas depende da temperatura de sua superfície. Estrelas mais frias têm cor mais próxima dos tons de vermelho, enquanto estrelas mais quentes têm cor mais próxima dos tons de azul. Isso está relacionado ao fato de a intensidade máxima da radiação emitida estar mais ou menos próxima de uma determinada região do espectro eletromagnético. Veja, por exemplo, as barras de metal na **Figura 3.3**. À medida que a temperatura do metal aumenta, sua cor passa de vermelha para alaranjada.

A **Figura 3.4** mostra a cor de estrelas com diferentes temperaturas. Estrelas vermelhas são mais frias, como Antares, que tem cerca de 2.500 K de temperatura superficial. Já o Sol tem cerca de 5.800 K e apresenta a cor branca (como se constata por fotos feitas do espaço), apesar de ser visto como amarelo, alaranjado ou avermelhado no céu



Figura 3.3 Conforme a temperatura da barra de metal aumenta, ela se torna alaranjada.

terrestre quando está próximo ao horizonte, o que se deve à dispersão dos raios na atmosfera. As estrelas azuis têm superfície mais quente ainda; as Três Marias, por exemplo, têm cerca de 30.000 K de temperatura superficial.

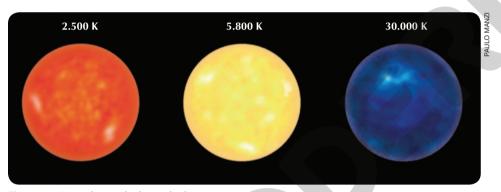


Figura 3.4 A cor da estrela depende da sua temperatura.

:: Nascimento e fonte da energia das estrelas

As estrelas nascem em regiões formadas por imensas nuvens de gás (na maior parte hidrogênio e hélio) e poeira denominadas nebulosas. Em razão da força gravitacional, as partículas que formam as nuvens se atraem gravitacionalmente e se concentram formando um gigantesco disco. No centro do disco existe uma massa esférica que chamamos de **protoestrela**. Cada vez mais a protoestrela

se compacta levando a um aumento vertiginoso de sua temperatura interna, o que faz que com que se inicie a fusão nuclear de átomos de hidrogênio. Com o início do processo de fusão e a energia liberada, a compactação cessa e a esfera de gás entra em equilíbrio, ficando estável. Podemos dizer, então, que é nesse momento que a estrela nasce. Assim, por meio da fusão nuclear, as estrelas produzem sua própria energia e, consequentemente, seu brilho (Fig. 3.5). Com a teoria da relatividade, publicada em 1905 e 1915, Albert Einstein mostrou que a eficiência máxima de produção de energia ocorre quando a matéria é aniquilada, ou seja, quando a massa é transformada em energia. E esse fenômeno obedece à seguinte equação:

$$E = m \cdot c^2$$

em que m é a massa aniquilada e c é a velocidade da luz.

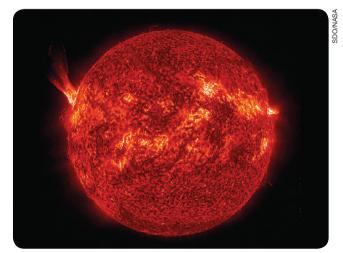


Figura 3.5 Imagem do Sol registrada pela sonda Solar Dynamics Observatory (2015) e colorida artificialmente.

Em 1920, depois da publicação da teoria da relatividade, o físico inglês Arthur Eddington (1882-1944) propôs que essa equação poderia explicar a fonte da energia do Sol, mas não conseguiu desenvolvê-la completamente, pois o estudo da estrutura dos átomos era muito recente. Finalmente, em 1938, o físico alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005) desenvolveu a teoria da fusão nuclear e explicou como ela poderia fazer as estrelas brilharem. Por esse estudo recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1967.

Todas essas conclusões nos permitem realizar estimativas sobre quanto tempo o Sol ainda brilhará, por exemplo. Supondo que ele converterá cerca de 10% de sua massa de hidrogênio em hélio, ao longo de sua vida, e sabendo que 75% do Sol é composto de hidrogênio, cálculos mostram que o Sol deve brilhar por cerca de 10 bilhões de anos.

:: Morte das estrelas

O fim de cada estrela vai depender de sua massa inicial. Quanto maior a massa da estrela, mais rapidamente ela executará as reações termonucleares, reduzindo seu tempo de vida. Quanto menor a massa da estrela, mais tempo ela viverá. Na **Figura 3.6** são mostrados diferentes estágios da evolução das estrelas. É importante lembrar que estamos usando os termos *nascer*, *viver* e *morrer* apenas como analogia, uma vez que as estrelas são entidades abióticas.

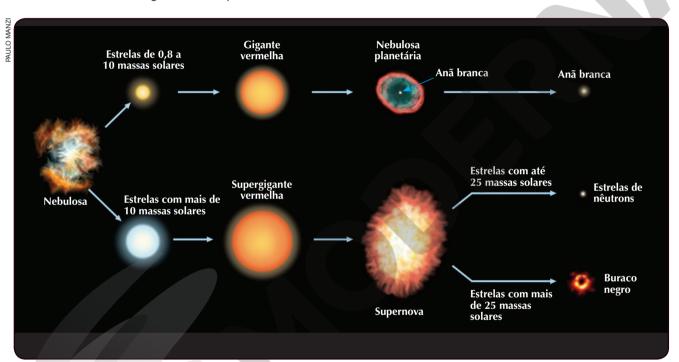


Figura 3.6 Estágios evolutivos de estrelas de massas diferentes. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Estrelas que iniciam sua vida com 0,8 a 10 massas solares convertem hidrogênio em hélio durante cerca de 10 bilhões de anos. Quando essa queima se encerra, ela não fica mais em equilíbrio, e a gravidade faz com que seu núcleo comece a se contrair. Em uma camada fina ao redor do núcleo, o hidrogênio continua se fundindo em hélio. A súbita contração do núcleo aquece as camadas exteriores a ele, fazendo com que elas se expandam. Como a estrela fica maior em tamanho, sua temperatura superficial diminui e ela se torna vermelha. Nessa fase, dizemos que a estrela é uma **gigante vermelha**. Quando o Sol virar uma gigante vermelha, ele engolirá Mercúrio e Vênus, e a radiação solar na Terra será tão grande que a temperatura atingirá cerca de 700 °C, evaporando os oceanos, talvez até mesmo a Terra, extinguindo qualquer tipo de vida que poderá ainda existir no planeta. Mas isso só acontecerá em bilhões de anos no futuro.

O núcleo da gigante vermelha fica cada vez mais quente até atingir uma temperatura de 100.000.000 °C e começa a converter hélio em carbono. Quando a queima do hélio se encerra, a estrela novamente perde o equilíbrio, mas dessa vez de modo irreversível. O núcleo volta a se contrair e as camadas externas voltam a se expandir, mas a temperatura no centro não atinge o valor necessário para fundir o carbono.

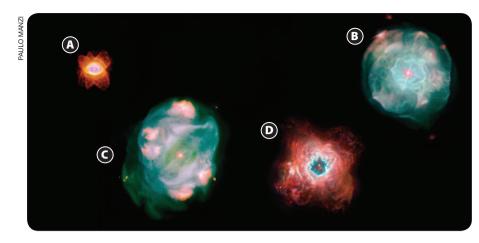


Figura 3.7
Representações
esquemáticas de
nebulosas planetárias
registradas pela Wide
Field Planetary Camera
2, uma câmera instalada
no telescópio espacial
Hubble. (A) He 2-47.
(B) IC 4593. (C) NGC 5307.
(D) NGC 5315. (Imagens
sem escala; cores-fantasia.)

Essas instabilidades expulsam as camadas exteriores da estrela, restando apenas o núcleo compacto de carbono, que chamamos de **anã branca**, e uma estrutura gasosa, como se fosse uma nuvem, ao seu redor. Essa estrutura final, formada pela anã branca mais a estrutura gasosa, é chamada de **nebulosa planetária** (**Fig. 3.7**). Somente depois de muito tempo, os gases se dispersam, restando apenas a anã branca.

As estrelas que iniciam sua vida com mais de dez massas solares evoluem de modo bem mais rápido. Uma estrela de 30 massas solares, por exemplo, passa 5 milhões de anos na fase estável de conversão de hidrogênio em hélio.

Essas estrelas também passam por diversos processos de contração e expansão, inclusive pela fase de **supergigante vermelha**, que é similar à fase da gigante vermelha, mas conseguem ir bem mais longe que as estrelas menos massivas, e fundem elementos químicos em seus núcleos até o ferro.

Depois do ferro, a estrela não consegue mais fundir nenhum elemento. Dessa forma, não existe nada que equilibre a gravidade. A estrela entra em colapso e explode, virando uma **supernova** (**Fig. 3.8**). A energia liberada nessa explosão é tão grande que o brilho pode ser maior que o de uma galáxia inteira com 200 bilhões de estrelas. É nessa explosão que os outros elementos da tabela periódica depois do ferro são formados. Os mecanismos físicos que geram uma explosão dessa magnitude ainda estão sendo estudados por simulações em supercomputadores e por observações astronômicas, que indicam estarem relacionados à intensa produção de partículas subatômicas no colapso gravitacional, os neutrinos.

Em estrelas de até aproximadamente 25 massas solares, o que resta no centro da supernova é uma **estrela de nêutrons** (**Fig. 3.9**). Elas são extremamente compactas e densas e combinam os prótons e os elétrons para produzir nêutrons.

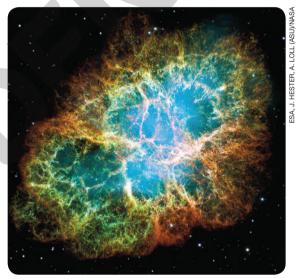


Figura 3.8 Exemplo de uma supernova: nebulosa do Caranguejo. A imagem final foi obtida por meio de outras 24 diferentes imagens captadas pela Wide Field Planetary Camera 2, do telescópio Hubble (imagens captadas em 1999 e 2000).

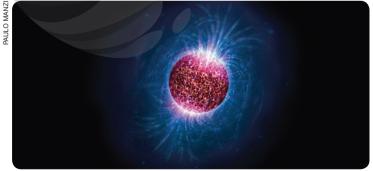


Figura 3.9 Representação artística de uma estrela de nêutrons.

Em estrelas com mais de 25 massas solares, o que resta no centro da supernova é um **buraco negro**.

Buracos negros

Buracos negros são objetos que concentram uma massa muito grande em um espaço tão pequeno que é considerado adimensional. Imagine, por exemplo, toda a massa do Sol concentrada na ponta de um alfinete. A densidade de um buraco negro é infinitamente maior.

Por ter uma concentração tão grande de massa, podemos imaginar o efeito do buraco negro pensando na analogia da cama elástica. É como se ele furasse a malha da cama elástica, de modo que tudo o que caísse na direção desse furo não pudesse mais voltar para o lugar onde estava. Ou seja, tudo o que cai num buraco negro não tem chance alguma de sair, e isso inclui até mesmo radiação. No interior de um buraco negro, é como se o tempo não existisse. O nome buraco negro deve-se ao fato de que toda radiação que se aproxima é absorvida por ele, de modo que não pode ser observado diretamente.

Buracos negros são formados após a morte de estrelas massivas. Embora toda a sua massa esteja estritamente concentrada em um ponto, a chamada singularidade, os buracos negros apresentam o chamado **horizonte de eventos**, uma região no espaço na qual a gravidade é tão forte que até a luz fica presa ali dentro. O horizonte de eventos varia com a massa do buraco negro. Um buraco negro que tivesse a massa do Sol, por exemplo, teria um horizonte de eventos do tamanho aproximado do diâmetro da Terra.

Em 2019, astrônomos conseguiram obter a primeira imagem ao redor de um buraco negro (**Fig. 3.10**), o chamado **disco de acreção**. Foi um marco histórico que permitiu comprovar toda a teoria existente sobre buracos negros. Essa imagem, contudo, não é do buraco negro em si, pois ele não emite luz. A parte avermelhada da imagem está relacionada aos fenômenos que ocorrem com a matéria quando ela está extremamente próxima ao horizonte de eventos.



Figura 3.10
Primeira imagem
obtida da região
ao redor de um
buraco negro.

:: Surgimento do Sistema Solar

Modelos geocêntrico e heliocêntrico

Todo o nosso conhecimento do Sistema Solar e das estruturas do Universo não é novo. Ele foi desenvolvido durante um longo período de nossa história e com bastante dificuldade em vários momentos. Envolveu desde observações a olho nu até observações com telescópios, realizadas a partir do século XVII, chegando à fotografia, e medidas diretas feitas por sondas espaciais enviadas para passar próximo de todos os planetas, por meio de missões iniciadas no século XX.

Um astrônomo e teólogo alemão crucial no desenvolvimento do conhecimento sobre o Sistema Solar foi Johannes Kepler (1571-1630). Ele desenvolveu um modelo que considerava as órbitas dos planetas elípticas, e não circulares. Com base em seus estudos, Kepler criou três leis do movimento planetário para explicar o movimento dos planetas em torno do Sol. Seu modelo de Sistema Solar é o **modelo heliocêntrico**, chamado assim por apresentar o Sol ao centro com os planetas girando ao redor. Porém, Kepler não foi o primeiro a considerar um modelo heliocêntrico. Houve, antes dele, o trabalho de um cônego, médico e astrônomo polonês chamado Nicolau Copérnico (1473-1543). Em um manuscrito de 1503, Copérnico retomou as ideias do matemático e astrônomo grego Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) sobre o modelo heliocêntrico. Com base em suas observações,

Aristarco afirmava que a Terra e os planetas giravam em torno do Sol (**Fig. 3.11**), contrapondo-se ao **modelo geocêntrico**, que situava a Terra no centro no Universo. A proposta geocêntrica foi desenvolvida por diversos pensadores da Antiguidade, como Aristóteles, Ptolomeu e vários outros, que procuravam descrever um modelo que explicasse a organização dos corpos celestes de acordo com a filosofia, cultura, religião e contexto sociopolítico da época.

Copérnico reuniu sua obra em seis volumes e a chamou de *Sobre as revoluções dos corpos celestes*. Seus escritos influenciaram outros estudiosos da mecânica celeste, como Kepler e o italiano Galileu Galilei (1564-1642).

Galileu, por sua defesa do heliocentrismo, foi condenado à prisão domicilar perpétua. Isso porque, na Europa da Idade Média, a Igreja Católica impunha muitos de seus interesses e credos. Seus tribunais de inquisição condenaram diversos cientistas que se contrapunham à visão religiosa geocêntrica da época. Também Giordano Bruno (1548-1600) foi condenado à morte na fogueira; ele foi responsável

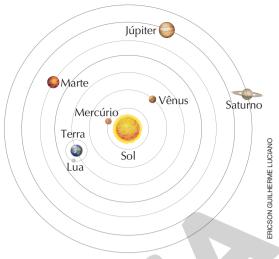


Figura 3.11 Sistema planetário heliocêntrico segundo Copérnico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

por expandir o heliocentrismo copernicano, assumindo que as estrelas eram sóis, como o nosso, muito distantes. Somente em 1992, a Igreja Católica, por meio do papa João Paulo II, reconheceu seu erro no julgamento de Galileu, aceitando a visão não geocêntrica.

Se atualmente podemos ter acesso a conhecimentos sobre o Sistema Solar, os ciclos solares, o solo da Lua, a Via Láctea e outras galáxias, a composição do solo de Marte, a água existente em um dos satélites naturais de Júpiter, entre tantos outros, devemos a todos os astrônomos, matemáticos e físicos que desafiaram poderes e limites para ampliar e aprofundar os estudos sobre o Universo, pois foi com eles que tudo começou.

Características do Sistema Solar

Hoje, sabemos que nosso Sistema Solar é composto de uma estrela central, o Sol, ao redor do qual orbitam oito planetas e outros corpos, como planetas-anões, satélites, asteroides e cometas. Somando as massas de todos os elementos do Sistema Solar, o Sol representa 99,87% da massa total.

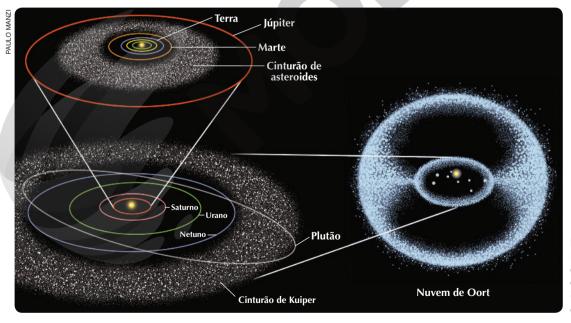


Figura 3.12 Representação de elementos e órbitas do Sistema Solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando falamos em distâncias entre planetas, costumamos adotar uma unidade de medida diferente do quilômetro, que é a **unidade astronômica** (ua). Ela equivale aproximadamente à distância entre a Terra e o Sol, ou seja: 1 ua = 150 milhões de km. Na **Figura 3.12**, representamos a disposição dos principais elementos do Sistema Solar. Na parte mais interna, num raio de aproximadamente 4 ua, estão os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, além de um cinturão de asteroides, que são pequenos

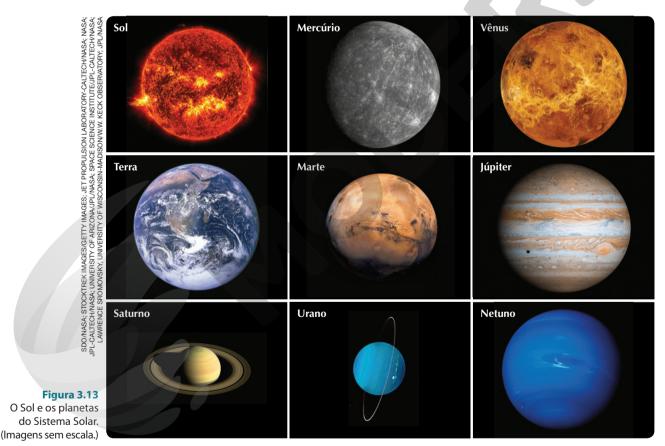
corpos rochosos de diversos tamanhos e formas. Esses planetas mais internos são rochosos, pequenos e têm baixa massa comparados aos planetas mais externos. São compostos principalmente de elementos químicos refratários, que não se fundem ou evaporam facilmente, e podem ou não ter satélites. Mercúrio e Vênus não têm satélites; a Terra tem apenas um, a Lua; e Marte tem dois, Phobos e Deimos.

Na região mais externa, entre 5 ua e 30 ua, estão os planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, nessa ordem, com suas dezenas de satélites. Esses planetas externos são gasosos, ou seja, não têm uma superfície sólida, e são compostos principalmente de hidrogênio e hélio, mas têm um núcleo sólido, possivelmente metálico. Por esse motivo, eles são menos densos que os internos, mesmo apresentando massas maiores. A densidade média do planeta Saturno, por exemplo, é de aproximadamente 0,7 g cm⁻³. Esse valor está abaixo da densidade da água líquida, que é de 1 g cm⁻³. Isso quer dizer que, se fosse possível colocar Saturno em uma bacia gigante com água, ele boiaria.

Além da órbita de Netuno, entre 30 ua e 50 ua, existe um cinturão formado por corpos menores, chamado de cinturão de Kuiper. Ele é maior que o cinturão mais interno e é composto de milhões de corpos formados de rochas, gelo e gases congelados. É nele que está localizado o planeta-anão Plutão. Nesse cinturão, já foram detectadas dezenas de planetas-anões semelhantes a Plutão.

Indo mais além, entre 30.000 ua e 100.000 ua, há uma região preenchida por um gigantesco reservatório de cometas que levam centenas de milhares de anos para completar sua órbita em torno do Sol. Essa região é chamada de nuvem de Oort. O Sistema solar acaba nos limites externos da nuvem de Oort, no momento em que a radiação solar perde sua intensidade, se difunde e se mistura com o espaço entre as estrelas.

Na Figura 3.13, temos o Sol e os planetas que formam o Sistema Solar.



Formação do Sistema Solar

Diversos cientistas desenvolveram hipóteses para explicar a formação do Sistema Solar. A teoria mais aceita atualmente é a da **nebulosa solar primitiva (NSP)** (**Fig. 3.14**), proposta, primeiramente, pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) em 1755 e desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon Laplace (1749-1827) em 1796.

Essa teoria pressupõe que o Sistema Solar foi formado, como um todo, a partir de uma **nuvem interestelar de gás e poeira** há 4,6 bilhões de anos, sendo os planetas e os demais corpos o que restou da formação do Sol.

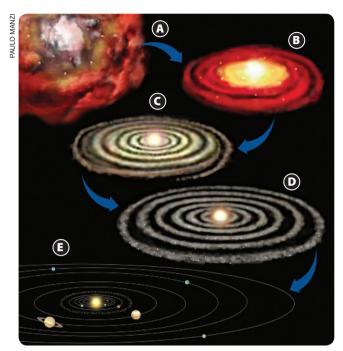


Figura 3.14 Representação esquemática da teoria da nebulosa solar primitiva (NSP). **(A)** Contração. **(B)** Formação do protossol. **(C)** Formação de um disco de gás e poeira. **(D)** Acreção. **(E)** Formação dos planetas do Sistema Solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nessa nuvem atuaram duas forças contrárias: a força da gravidade, que fez com que ela se contraísse (**Fig. 3.14 A**), e a força devida à pressão do gás, que fez com que se expandisse. Quando essas duas forças entravam em equilíbrio, a nuvem se estabilizava e nada acontecia. Entretanto, a nuvem passava a se contrair, se o equilíbrio fosse rompido por algum agente externo – por exemplo, uma perturbação gravitacional fora do sistema que estava se formando, como a explosão de uma supernova nas proximidades ou outra estrela em formação. O acúmulo de matéria passou a atrair cada vez mais o material ao redor, aumentando ainda mais a contração.

A energia gerada pela contração gravitacional aumentou a agitação térmica das partículas que compunham a nuvem, acarretando um aumento da temperatura. Com o tempo, a pressão e a temperatura na região central da nuvem começaram a aumentar de tal maneira que ela passou a brilhar e formar o embrião do Sol, que chamamos de **protossol** (**Fig. 3.14 B**).

A velocidade de rotação da nuvem aumentou à medida que ela diminuiu seu tamanho. Essa rotação provocou a formação de um disco de gás e poeira (**Fig. 3.14 C**) que se estendeu em volta do protossol. Nesse disco iniciou-se o processo de **acreção** (**Fig. 3.14 D**), que consiste na colisão dos grãos de poeira que formam aglomerados de matérias cada vez maiores. Esses foram os embriões dos planetas, ou os chamados **protoplanetas**.

Com o tempo, tanto o protossol como os protoplanetas limparam os seus arredores agregando corpos menores

presentes na região, tomando cada vez mais a forma do atual Sistema Solar (**Fig. 3.14 E**). Quando o centro do protossol atingiu a temperatura de 15 milhões de graus Celsius, começou um processo de fusão nuclear, em que átomos de hidrogênio se fundiram para formar átomos de hélio. Isso determinou o nascimento do Sol.

A matéria que não colidiu na formação do Sol e dos planetas ficou aglutinada nos asteroides e cometas, mas grande parte dela ficou concentrada no cinturão de Kuiper e na nuvem de Oort.

A teoria da nuvem solar primitiva permite explicar várias características do Sistema Solar, como: os planetas estarem no mesmo plano, órbitas circulares, rotação no mesmo sentido da translação, formação de dois grupos de planetas etc. Atualmente, diversos outros estudos são realizados para aprimorar esse modelo. No entanto, essa teoria forma a base para compreensão não somente do nosso Sistema Solar, mas de outros sistemas planetários.

Exploração do Sistema Solar

A exploração espacial teve início na Guerra Fria (1945-1991). A tensão entre os Estados Unidos e a antiga União Soviética fez com que não fossem poupados esforços de ambas as partes em uma competição para determinar quem conquistaria o espaço primeiro. Esse foi provavelmente o período em que houve o maior desenvolvimento de tecnologias de exploração espacial.

Principais programas espaciais

A União Soviética foi a primeira nação a conseguir colocar um objeto em órbita ao redor da Terra. O satélite **Sputnik 1** (**Fig. 3.15**) foi lançado em 4 de outubro de 1957 e orbitou a Terra por três semanas, tempo de duração das suas baterias, e caiu de volta para a atmosfera dois meses depois, desintegrando-se.



Figura 3.15 Modelo do satélite Sputnik 1, o primeiro objeto humano a ser colocado em órbita ao redor da Terra. Possuía aproximadamente 58 cm de diâmetro.

O Sputnik 1 era formado por um corpo esférico com diâmetro de aproximadamente 58 cm e quatro antenas de rádio externas. Além do seu feito histórico, ele enviou para a Terra dados referentes às camadas mais altas da nossa atmosfera.

Pouco mais de um mês após o lançamento do Sputnik 1, os soviéticos lançaram o Sputnik 2. Essa segunda sonda espacial era composta de uma base de formato cônico, com diâmetro de 2 m, e alguns sensores a mais do que a Sputnik 1, como um sistema de telemetria, um sistema de controle de temperatura e outros instrumentos científicos. Porém, o grande diferencial do Sputnik 2 foi a presença de uma cabine projetada para levar um ser vivo, e a cadela Laika foi a escolhida para essa missão. O intuito na época era testar os efeitos do lançamento e da órbita em seres vivos, tendo em mente o posterior envio de seres humanos.

O Sputnik 2 foi lançado em 3 de novembro de 1957, e estima-se que Laika tenha sobrevivido por apenas algumas horas no espaço. As baterias duraram 4 dias, e depois de 162 dias em órbita ao redor do planeta, em 14 de abril de 1958, a sonda retornou para a atmosfera. Alguns debates éticos surgiram na época, já que não havia planos para trazer Laika com vida de volta para a Terra, nem maneiras de mensurar o sofrimento pelo qual o animal passaria no espaço.

Outra grande conquista soviética durante a corrida espacial aconteceu em 12 de abril de 1961 quando o astronauta Yuri Gagarin (1934-1968) foi mandado para fora da Terra. Ele foi o primeiro ser humano a sair da atmosfera terrestre e orbitar o planeta, por 108 minutos.

Um dos programas espaciais mais famosos dos Estados Unidos, que competiu com a União Soviética durante a corrida espacial, foi o **programa Apollo**. Ele teve início em 1961 e durou 11 anos. Um de seus objetivos finais era levar o homem à Lua. Vários profissionais contribuíram para o sucesso das missões do programa Apollo, mas podemos destacar alguns deles, como a matemática Katherine Johnson (1918-2020) (**Fig. 3.16 A**), que desempenhou papel fundamental nos cálculos das trajetórias de ida e volta da Lua, e a cientista da computação Margaret Hamilton (1936-) (**Fig. 3.16 B**), que liderou a equipe responsável pelo desenvolvimento do sistema de navegação usado nas missões.





Figura 3.16 (A) Katherine Johnson, matemática responsável pelos cálculos de trajetórias das missões Apollo. **(B)** Margaret Hamilton ao lado de uma pilha de papéis com o código-fonte do *software* de navegação que desenvolvera.

Das missões do programa Apollo, a **missão Apollo 11** foi a primeira a conseguir levar seres humanos até a superfície da Lua: o comandante Neil Armstrong (1930-2012), o comandante Michael Collins (1930-) e o piloto Buzz Aldrin (1930-).

Eles partiram do Centro Espacial Kennedy, na Flórida (Estados Unidos), em 16 de julho de 1969, e chegaram à Lua quatro dias depois. Enquanto Collins ficou no módulo de comando em órbita lunar, Armstrong e Aldrin desceram até a superfície da Lua no módulo de pouso. Os astronautas permaneceram na superfície lunar por volta de duas horas e coletaram cerca de 21 kg de rochas para estudos na Terra, além de deixarem importantes experimentos científicos na superfície.

Depois da Apollo 11, foram realizadas outras missões Apollo, e um total de 12 astronautas pisaram na superfície lunar (**Fig. 3.17**), assim como as missões Skylab, que colocaram uma estação espacial temporária em órbita, para experimentos científicos, além do desenvolvimento do ônibus espacial, aposentado em 2011, que ajudou na instalação e na manutenção do telescópio espacial Hubble.

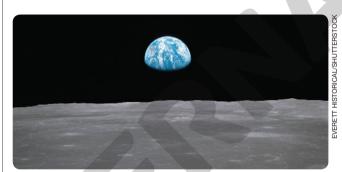


Figura 3.17 Terra vista da superfície da Lua em fotografia captada pela missão Apollo 11, primeira missão tripulada à Lua, em 20 de julho de 1969.

Exploração espacial no século XXI

No ano de 2003 a Nasa enviou a Marte dois veículos não tripulados idênticos chamados **Spirit** e **Opportunity** (**Fig. 3.18**) e, em 2012, o Curiosity. Eles pousaram em diferentes localidades do planeta, com o objetivo principal de estudar o solo marciano. Os veículos foram muito bem-sucedidos em determinar a composição das camadas mais superiores da superfície de Marte, detectando inclusive evidências da presença de água. O Spirit permaneceu ativo até março de 2010 e o Opportunity, até junho de 2018. O Curiosity ainda está em atividade.



Figura 3.18 Reprodução artística do veículo robótico Opportunity.

Atualmente, não são apenas os Estados Unidos que contam com um programa espacial. A sonda **Rosetta** (**Fig. 3.19**), desenvolvida pela Agência Espacial Europeia (European Space Agency, ESA), ficou famosa em 2014 por ser a primeira sonda a orbitar o núcleo de um cometa, estudar sua atividade enquanto se aproximava do Sol e ter um módulo seu pousando nesse cometa.

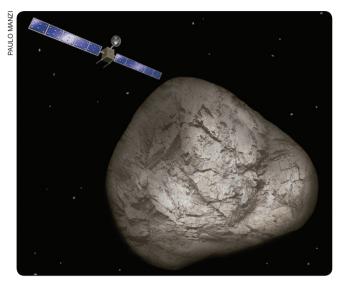


Figura 3.19 Representação artística da sonda Rosetta próxima do cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Na imagem é possível observar os grandes painéis de captação de energia solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Além disso, com cooperação internacional foi construída a Estação Espacial Internacional (International Space Station, ISS) (**Fig. 3.20**). Ela é um satélite habitável que, entre várias funções, serve como um importante laboratório para o estudo do comportamento biológico em condições de gravidade zero e sem a proteção da atmosfera e do campo magnético terrestre.

A ISS tem participação financeira e de desenvolvimento científico de diversos países, como Canadá, Japão, Rússia, Estados Unidos e dos países participantes da Agência Espacial Europeia – Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Itália, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido. O Brasil participou como membro no passado, mas não faz parte do projeto atualmente.



Figura 3.20 Estação Espacial Internacional orbitando o planeta Terra (2010).

:: Zona habitável

No que se refere à busca de vida no Sistema Solar, o planeta Marte sempre esteve no imaginário popular, e não só em livros e filmes de ficção. Graças a cientistas que vêm estudando nosso vizinho e ao avanço da nossa tecnologia, sabemos que há bilhões de anos Marte foi bem parecido com a Terra. Por causa do grande efeito estufa que ele sofria, havia água líquida em sua superfície, o que é fundamental para a vida como a conhecemos. Atualmente, essa situação é bem diferente. Em 2018, cientistas detectaram água líquida 1,5 km abaixo de uma camada de gelo próxima ao polo sul de Marte. Embora essa água seja altamente salinizada e com intensas concentrações de magnésio, cálcio e sódio, talvez ela possa abrigar vida, como a de microrganismos extremófilos.

Um fato que beneficia a procura de vida no Sistema Solar é a proximidade dos planetas e luas, que nos permite enviar sondas e veículos não tripulados para colher amostras e fazer experimentos. Provavelmente até consigamos pisar em Marte um dia e realizar pesquisas lá mesmo. Porém, em relação aos exoplanetas, que são planetas fora do Sistema Solar, essa situação é completamente diferente.

Para aumentar as chances de encontrar vida, como a conhecemos, fora do Sistema Solar, tentamos escolher os exoplanetas mais parecidos com a Terra, ou seja, rochosos, de tamanho semelhante e localizados dentro do que ficou estabelecido como **zona habitável** ou **zona de habitabilidade**: uma região do espaço, ao redor da estrela de um sistema planetário, onde pode haver um planeta cuja temperatura possibilite a existência de água líquida em sua superfície. Se o planeta estiver muito perto da estrela, a temperatura será muito alta e a água estará em forma de vapor. Se o planeta estiver muito distante da estrela, a temperatura será muito fria e a água estará congelada. Na zona habitável do Sistema Solar, representada na **Figura 3.21**, está apenas a Terra.

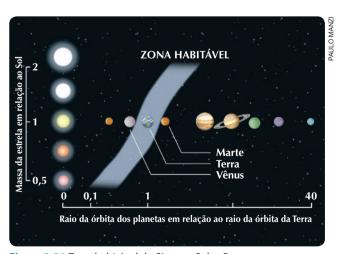


Figura 3.21 Zona habitável do Sistema Solar. Por enquanto, somente a Terra se encontra dentro dela. Futuramente, quando o Sol se tornar uma gigante vermelha, a zona habitável vai se deslocar para regiões mais afastadas do Sistema Solar. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O tamanho da Terra também é importante para a habitabilidade, pois, se ela fosse menor, não teria campo gravitacional suficiente para reter os gases atmosféricos. E, se fosse maior, teria um campo gravitacional muito grande, criando uma atmosfera muito densa, o que reduziria a incidência da luz solar na superfície.

Vida na Terra

A vida na Terra depende de compostos de carbono, o que só é possível dentro dos limites de variação de temperatura que ocorrem na Terra.

De acordo com a Nasa, vida como a conhecemos, baseada em carbono e água, talvez possa ser encontrada em Marte e Europa (uma das luas de Júpiter). Ambos estão fora da zona habitável, mas a presença de água líquida abaixo de camadas de gelo nesses dois corpos celestes foi comprovada. O gelo protege a água líquida da evaporação.

Em Marte, o gelo se forma em um dos polos e, além disso, há vales que indicam a possibilidade de ter existido água no passado.

No caso da lua Europa, o satélite todo é recoberto por uma espessa camada de gelo. Água líquida em grandes quantidades, formando um enorme oceano sob o gelo, foi detectada. Nesse caso, a água se mantém líquida, mesmo com a luz solar escassa nessa região do Sistema Solar, graças à interação gravitacional entre Júpiter e Europa. Essa interação causa um efeito semelhante à interação entre Terra e Lua, que dá origem às marés na Terra. Só que, no caso daqueles, a interação promove forças de maré muito maiores e intensas, deformando as próprias rochas e o núcleo, com liberação de calor no interior do satélite Europa.

Todos esses dados nos levam a pensar que é bem possível que não estejamos sozinhos no Universo.

Figue por dentro

Observando as cores das estrelas – UFMG

PIRES, H. D. L. Observatório Astronômico Frei Rosário. ICEx – Física, Universidade Federal de Minas Gerais.

Veja, nesse texto, mais informações sobre as cores das estrelas e por que elas têm cores tão variadas. Disponível em: http://www.observatorio.ufmg.br/dicas01.htm.

Acesso em: 3 jun. 2020.

Atividades

Registre em seu caderno



- 1. Quais planetas compõem o Sistema Solar?
- **2.** Por que as estrelas que vemos a olho nu apresentam diferentes cores?
- **3.** Descreva de forma resumida o processo de evolução das estrelas.
- 4. Qual é a fonte de energia das estrelas?
- **5.** Pesquise e responda em seu caderno: O que é um diagrama HR? Qual sua importância?
- 6. Neste Tema vimos que uma unidade astronômica (ua) corresponde à distância média entre a Terra e o Sol, cuja medida é de aproximadamente 1,5 · 10⁸ km. Qual seria esse valor medido em anos-luz? E em parsecs?
- 7. Suponha que uma estrela emita energia (E) a uma potência de 2 · 10²⁶ W. Nesse processo, essa estrela converte cerca de 5% de sua massa de hidrogênio em hélio ao longo de sua vida. Aproximadamente quanto tempo é necessário para que ela "consuma todo esse combustível"? Considere que apenas 1% da massa de hidrogênio se funde para formar hélio e se converte em energia, que a massa da estrela é de 4 · 10³⁰ kg e lembre-se de que a potência (P) pode ser calculada por P = E/Δt. Adote c = 3 · 10⁸ m s⁻¹.
- 8. (Unesp) O brilho de uma estrela percebido pelo olho humano, na Terra, é chamado de magnitude aparente da estrela. Já a magnitude absoluta da estrela é a magnitude aparente que a estrela teria se fosse observada a uma distância padrão de 10 parsecs (1 parsec é aproximadamente 3 · 10¹³ km). As magnitudes aparente e absoluta de uma estrela são muito úteis para determinar sua distância ao planeta Terra. Sendo m a magnitude aparente e M a magnitude absoluta de uma estrela, a relação entre m e M é dada aproximadamente pela fórmula $M = m + 5 \cdot \log_3 (3d^{-0.48})$, onde d é a distância da estrela em parsecs. A estrela Rigel tem aproximadamente magnitude aparente 0,2 e magnitude absoluta −6,8. Determine a distância, em quilômetros, de Rigel ao planeta Terra.
- 9. (Enem) Nas discussões sobre a existência de vida fora da Terra, Marte tem sido um forte candidato a hospedar vida. No entanto, há ainda uma enorme variação de critérios e considerações sobre a habitabilidade de Marte, especialmente no que diz respeito à existência ou não de água líquida. Alguns dados comparativos entre a Terra e Marte estão apresentados na tabela.

Planeta	Terra	Marte			
Distância do Sol (km)	149 milhões	228 milhões			
Massa (em relação à terrestre)	1,00	0,18			
Aceleração da gravidade (m s ⁻¹)	9,8	3,7			
Composição da atmosfera	Gases predominantes: Nitrogênio (N) e Oxigênio (O₂)	Gás predominante: Dióxido de carbono (CO₂)			
Temperatura média	288 K (+15 °C)	218 K (−55 °C)			

Com base nesses dados, é possível afirmar que, dentre os fatores abaixo, aquele mais adverso à existência de água líquida em Marte é sua

- a) grande distância ao Sol.
- b) massa pequena.
- c) aceleração da gravidade pequena.
- d) atmosfera rica em CO₂.
- e) temperatura média muito baixa.
- 10. (Enem) A cor de uma estrela tem relação com a temperatura em sua superfície. Estrelas não muito quentes (cerca de 3.000 K) nos parecem avermelhadas. Já as estrelas amarelas, como o Sol, possuem temperatura em torno dos 6.000 K; as mais quentes são brancas ou azuis porque sua temperatura fical acima dos 10.000 K.

A tabela apresenta uma classificação espectral e outros dados para as estrelas dessas classes.

Estrelas da Sequência Principal									
Classe Espectral	Temperatura	Luminosidade	Massa	Raio					
O5	40 000	5 · 10⁵	40	18					
ВО	28 000	2 · 10 ⁴	18	7					
AO	9 900	80	3	2,5					
G2	5 770	1	1	1					
МО	3 480	0,06	0,5	0,6					

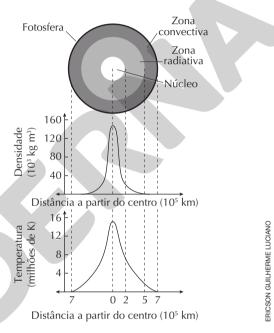
Temperatura em Kelvin.

Luminosidade, massa e raio, tomando o Sol como unidade.

Disponível em: https://www.zenite.nu Acesso em: 1º maio 2010 (adaptado).

Se tomarmos uma estrela que tenha temperatura 5 vezes maior que a temperatura do Sol, qual será a ordem de grandeza de sua luminosidade?

- a) 20.000 vezes a luminosidade do Sol.
- b) 28.000 vezes a luminosidade do Sol.
- c) 28.850 vezes a luminosidade do Sol.
- d) 30.000 vezes a luminosidade do Sol.
- e) 50.000 vezes a luminosidade do Sol.
- 11. (OBA) A figura a seguir representa um corte através do meio do Sol. O gráfico do meio traz a densidade, e o de baixo a temperatura do Sol em função da distância até o seu centro, de acordo com o modelo solar padrão.



Analisando os gráficos, avalie as seguintes afirmativas:

- 1. A zona radiativa, por ser mais espessa, concentra quase toda a massa do Sol.
- A massa do Sol está uniformemente distribuída em seu interior.
- 3. Entre 200.000 km e 500.000 km do centro, a temperatura do interior do Sol decresce cerca de 5 milhões de Kelvin.
- **4.** Segundo o modelo solar padrão, a temperatura do núcleo do Sol não chega a 16 milhões de Kelvin.

Assinale a única alternativa abaixo que está correta.

- a) As afirmativas 1 e 3 estão corretas.
- b) As afirmativas 2 e 4 estão corretas.
- c) As afirmativas 3 e 4 estão corretas.
- d) Somente a afirmativa 4 está correta.

Reflita sobre seu aprendizado!



Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 5; 6

Habilidades: EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT209; EM13CNT307

Fique por dentro

Moléculas em exposição

EMSLEY, J. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.
O livro aborda uma série de mitos e curiosidades relacionados a várias substâncias do cotidiano, grande parte delas

composta de moléculas. **Geometria molecular**

O simulador permite construir modelos moleculares que podem ser rotacionados e obter informações como o ângulo entre as ligações e o nome da geometria. Disponível em: https:// phet.colorado.edu/sims/html/molecule-shapes/latest/molecule-shapes_pt BR.html>.

Nanovacinas contra a covid-19

Jornal da USP no ar, jun. 2020.

A entrevista descreve como proteínas automontadas, análogas às proteínas do vírus Sars-Cov-2, podem ser ancoradas em nanopartículas para serem empregadas como vacinas. Disponível em: https://jornal.usp.br/ciencias/ nanovacinas-em-producaona-usp-podem-ser-mais-eficientes-contra-a-covid-19/>.

Acessos em: 24 jun. 2020.

A química da vida

A água é considerada uma substância essencial para a vida na Terra. Os cientistas a associam também ao surgimento da vida como a conhecemos, e por isso muitas pesquisas relacionadas à busca por vida fora do nosso planeta procuram evidências da presença de água em diferentes corpos celestes. Essa estratégia é conhecida na Nasa como *Follow the water* (siga a água). Acredita-se atualmente que as primeiras moléculas de água no Universo tenham sido formadas há mais de 13 bilhões de anos, quando átomos de hidrogênio que haviam sido gerados após o Big Bang se ligaram a átomos de oxigênio gerados no colapso das primeiras estrelas.

A grande maioria dos átomos dos elementos químicos tende a formar ligações entre si, dando origem às diversas substâncias e materiais que existem. O entendimento de como os átomos estão ligados, bem como da ocorrência de interações entre as espécies químicas, ajuda a compreender as propriedades das substâncias, como no exemplo da **Figura 4.1**.

Figura 4.1 Inseto da espécie

Culex pipiens, de cerca de
5 mm de comprimento,
pousado na superfície da água.
Por causa da tensão superficial,
uma das propriedades dos
líquidos relacionadas às
interações entre as espécies
químicas, insetos como esse
conseguem permanecer e andar
sobre a superfície da água
sem afundar.



:: Formação de moléculas

Muitas substâncias apresentam estruturas chamadas moléculas, sendo, portanto, denominadas **substâncias moleculares**. A busca por uma explicação do ponto de vista químico para o surgimento da vida passa por procurar entender a formação de moléculas e como elas se organizam a ponto de formarem agregados supramoleculares, o que pode ter dado origem à primeira célula.

Embora um conceito de molécula já existisse no século XVIII, o conceito atual e o entendimento de como e por que as moléculas se formam são do século XX, fruto da contribuição de diversos pesquisadores. As teorias sobre ligações químicas são limitadas pelo conhecimento que se tem da estrutura dos átomos. Apesar de uma descrição mais precisa da estrutura eletrônica dos átomos só ter sido possível com a elaboração do modelo atômico quântico dez anos mais tarde, a colocação dos elétrons nos vértices de um cubo, proposta por Lewis em 1916, ainda hoje tem utilidade para um primeiro entendimento das ligações químicas em moléculas.

Modelo de ligação química de Lewis

Os trabalhos de Abegg, Lewis e Langmuir apresentados no Tema 2 estão na base do que ficou conhecido como regra do octeto: dois átomos, ao se ligarem, passam a apresentar oito elétrons na camada de valência (ou apenas dois, caso seja a camada de valência K), adquirindo a configuração de um gás nobre no estado fundamental.

Em 1923 Lewis propôs, com base em observações experimentais, que a ligação entre dois átomos fosse representada como um par de elétrons compartilhado. O modelo de emparelhamento eletrônico de Lewis explicava a valência dos átomos e as proporções

com que se ligavam a outros átomos para formar substâncias. Observe os exemplos da **Figura 4.2**.

Figura 4.2 Símbolos de Lewis para os elementos químicos flúor (F), hidrogênio (H) e enxofre (S). A ligação entre H e F produz a molécula de fluoreto de hidrogênio e entre H e S, a molécula de sulfeto de hidrogênio.

Nesses exemplos, note que tanto o flúor quanto o enxofre terão sua camada de valência completada com oito elétrons ao se ligarem a átomos de hidrogênio, mas as proporções entre os átomos serão diferentes. No caso do hidrogênio há uma exceção ao octeto, pois a camada de valência é completada com dois elétrons.

O modelo de Lewis apresenta limitações ao não explicar, por exemplo, por que são formados pares de elétrons. Além disso, o octeto da camada de valência também apresenta exceções, como: átomos muito grandes (a partir do 3º período) podem acomodar mais de oito elétrons em sua camada de valência, enquanto alguns átomos menores (do 2º período) podem se tornar estáveis com menos de oito elétrons.

Teoria da ligação de valência

Atingir a configuração eletrônica de um gás nobre em sua camada de valência não é a razão da estabilidade adquirida pelos átomos que se ligam.

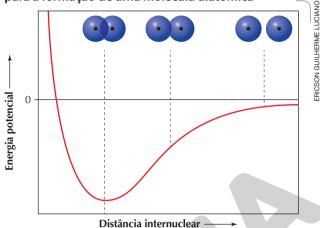
Quando dois átomos de hidrogênio se aproximam, o núcleo de cada um deles, além de atrair o elétron de sua eletrosfera, atrai também o elétron do átomo vizinho. Mas os dois núcleos também se aproximam, e, por apresentarem a mesma carga, ocorre repulsão eletrostática entre eles e também entre os dois elétrons.

A aproximação entre os dois átomos é acompanhada de uma variação de energia potencial do sistema – essa energia é resultante da atração elétron-núcleo dos átomos. Observe a **Figura 4.3**, que representa graficamente essa variação de energia quando se aproximam dois átomos do mesmo elemento químico, por exemplo, dois átomos de hidrogênio.

Em certo intervalo de valores de distância internuclear ocorre uma superposição significativa dos orbitais dos átomos de hidrogênio, aumentando a probabilidade de os dois elétrons serem encontrados na região entre os dois núcleos. É importante destacar que a qualquer distância internuclear essa probabilidade existe, mesmo que com valores próximos de zero.

Note na **Figura 4.3** que existe uma certa distância entre os núcleos de hidrogênio na qual a energia potencial do sistema é mínima: a essa distância tanto as forças eletrostáticas atrativas quanto as repulsivas estão equilibradas, e a **ligação química** entre os átomos é estabelecida – no exemplo, há formação da molécula de gás hidrogênio. O sistema atinge, assim, a estabilidade. Mas, quanto mais os átomos se aproximam, maior a repulsão elétron-elétron e núcleo-núcleo, o que causa um aumento da energia potencial do sistema, diminuindo sua estabilidade.

Figura 4.3 Perfil da variação de energia potencial para a formação de uma molécula diatômica



A região azul representa a região de probabilidade de se encontrar o elétron e o ponto preto central representa o núcleo atômico. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central.

Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto.
13. ed. São Paulo: Pearson. 2016.

É importante perceber que ambas as forças, atrativas e repulsivas, existem em qualquer distância entre os átomos representada no gráfico, embora suas intensidades variem. Comparada ao valor da energia potencial dos átomos de hidrogênio isolados, a energia potencial da molécula formada é menor, o que torna esse sistema mais estável do que os átomos isolados.

Embora não seja suficiente para predizer com certeza se uma ligação química será formada, a **estabilidade energética** sugere uma razão para a formação das ligações químicas. Considerando que a energia potencial igual a zero se associa aos átomos infinitamente separados, a energia potencial mínima alcançada pelo sistema corresponde à quantidade de energia liberada quando a ligação química se forma, chamada **energia de ligação**. Tanto essa energia quanto a distância internuclear, ou **comprimento de ligação**, podem ser calculadas teoricamente e determinadas experimentalmente.

A ideia de que as ligações químicas são formadas pela superposição de orbitais atômicos é a base da teoria da ligação de valência, elaborada por Linus Pauling a partir de 1927, com base nos trabalhos de dois físico-químicos alemães, Walter Heitler (1904-1981) e Fritz Wolfgang London (1900-1954). A teoria propõe que, nessa interação, os orbitais atômicos permanecem essencialmente inalterados, embora os orbitais de um átomo possam combinar-se entre si, criando um novo conjunto de orbitais, denominados **orbitais híbridos**, para melhor interagir com o outro átomo. A hibridização de orbitais é comumente empregada para explicar as propriedades das ligações químicas em moléculas orgânicas.

Ligação covalente

Ainda utilizando o exemplo da formação da molécula de gás hidrogênio, conforme representa a **Figura 4.3**, a atração elétron-núcleo e a superposição dos orbitais dos átomos que se aproximam levam ao deslocamento da

densidade eletrônica. Assim, a uma determinada distância entre os átomos, ambos os núcleos atraem simultaneamente e com a mesma intensidade os dois elétrons de valência, resultando em um agrupamento de átomos formado pelo compartilhamento do par de elétrons, de acordo com o modelo proposto por Lewis. Para se referir a esse tipo de ligação, Langmuir utilizou o termo covalência; assim, ela é chamada **ligação covalente**. Os átomos que interagem para formar moléculas estão unidos por meio dessa ligação.

Considerando que cada orbital atômico comporta, no máximo, dois elétrons, podemos perceber que a ideia da superposição de orbitais de Pauling complementa o modelo de compartilhamento de pares de elétrons de Lewis. Os pares de elétrons compartilhados que participam de uma ligação covalente são considerados indistinguíveis, ou seja, os elétrons deixam de pertencer a apenas um dos átomos, tornando-se parte da molécula como um todo.

Outro modelo que tem sido utilizado para descrever as ligações covalentes empregando a Mecânica Quântica é chamado de **teoria dos orbitais moleculares**. Nele se propõe que na formação das moléculas os orbitais atômicos de ambos os átomos se combinam, formando um novo conjunto de níveis energéticos, os orbitais moleculares. Cálculos rigorosos usando os dois modelos quânticos de ligação fornecem resultados similares.

Fórmulas químicas e representação de moléculas

Podemos representar as ligações covalentes por meio dos símbolos de Lewis, organizados de modo que indiquem o compartilhamento do par de elétrons. Essa representação é chamada fórmula de Lewis, ou fórmula eletrônica. Veja na **Tabela 4.1** outras representações que podem ser usadas, como a fórmula estrutural plana e a fórmula molecular.

Note que na **fórmula estrutural** cada par de elétrons compartilhado na ligação é representado por um traço,

colocado entre os símbolos dos elementos químicos. Para escrever a **fórmula molecular**, note que também se utiliza o símbolo dos elementos químicos que formam o composto, mas acompanhado de um índice. Nas fórmulas moleculares os índices indicam a proporção entre os átomos; nas moléculas eles indicam também a quantidade absoluta dos átomos na molécula.

Determinação de fórmulas moleculares

As fórmulas químicas podem ser obtidas experimentalmente, determinando-se primeiro a proporção em massa de átomos que constituem a substância e, depois, calculando o número de átomos que correspondem a essa massa, por meio de suas massas atômicas.

Sabendo a proporção entre os átomos que formam uma molécula, podemos escrever sua fórmula empírica ou **fórmula mínima**, indicando os menores números inteiros possíveis. Entretanto, diferentes compostos podem apresentar a mesma fórmula mínima. Podemos determinar a fórmula molecular desses compostos com base na fórmula mínima, mas para isso precisamos conhecer também o valor da **massa molecular relativa** (M_r). Ela representa a soma das massas atômicas relativas dos átomos que formam uma molécula. Observe no exemplo a seguir, para a molécula de NH₃, como ela pode ser calculada:

$$M_r(NH_3) = 14.0 \text{ u} + 3 \cdot 1.0 \text{ u} = 17.0 \text{ u}$$

Sabendo, por exemplo, que a massa molecular relativa de um composto desconhecido de fórmula mínima CH₂O é 180,0 u, como a sua fórmula molecular pode ser determinada?

Primeiro, calcula-se M_r usando a fórmula mínima (etapa I) e, depois, determina-se a relação entre a massa molecular do composto e a que foi calculada com base na sua fórmula mínima (etapa II):

(I)
$$M_r(CH_2O) = 12.0 \text{ u} + 2 \cdot 1.0 \text{ u} + 16.0 \text{ u} = 30.0 \text{ u}$$

(II) $\frac{180.0 \text{ u}}{20.0 \text{ u}} = 6$

Tabela 4.1 Representações de moléculas de diferentes substâncias								
Nome da substância	Fórmula eletrônica	Fórmula eletrônica Fórmula estrutural plana						
Gás hidrogênio	н:н	H — H (um par de elétrons compartilhado: ligação simples)	H ₂					
Gás oxigênio	Ö :: Ö	O — O (dois pares de elétrons compartilhados: ligação dupla)	O ₂					
Gás nitrogênio	:N::N:	N ≡ N (três pares de elétrons compartilhados: ligação tripla)	N_2					
Tetraclorometano	:ċi: :ċi:ċ:ċi: :ċi:	Cl Cl — C — Cl Cl	CCl₄					

Fonte consultada: RUSSEL, J. B. *Química geral*. Tradução: Márcia Guekezian. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1994. Então, a fórmula molecular desse composto é $6 \cdot (CH_2O)$, ou seja, $C_6H_{12}O_6$. Um dos compostos que têm essa fórmula molecular é a glicose, um glicídio.

Existem diversos compostos que apresentam a mesma fórmula molecular, mas propriedades distintas. A identificação de qual ou quais compostos estão presentes em uma amostra, especialmente quando eles possuem a mesma fórmula molecular, é feita com o uso de técnicas e equipamentos analíticos.

Moléculas orgânicas

Por décadas, cientistas vêm estudando amostras de rochas de origem espacial, formadas há bilhões de anos, e que caem na Terra regularmente, os meteoritos. Por exemplo, já nos anos 1980, foi mostrado que o meteorito de Murchison, encontrado na Austrália, estava repleto de moléculas orgânicas complexas, até mesmo capazes de formar estruturas parecidas com protocélulas quando colocadas em água. Esses trabalhos vêm se desenvolvendo com a melhoria das técnicas químicas de análise, permitindo a avaliação da diversidade química dessas rochas de uma forma sem precedentes. Por exemplo, em 2019, foram identificadas algumas das moléculas base da vida, como os glicídios: ribose, arabinose e xilose, os quais possuem fórmula molecular C₅H₁₀O₅ (logo, fórmula mínima CH₂O). Aminoácidos também já foram identificados em outros estudos, inclusive de amostras coletadas pela sonda Stardust do cometa Wild 2, e trazidas para a Terra. Estudos como esses, envolvendo a presença de aminoácidos em meteorito, vêm sendo desenvolvidos por vários pesquisadores, como é o caso da astrobióloga portuguesa Zita Martins (1979-). A maior parte das moléculas identificadas, incluindo esses glicídios, é classificada como moléculas orgânicas (Fig. 4.4).

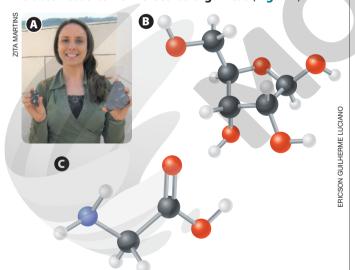


Figura 4.4 (A) A astrobióloga portuguesa Zita Martins junto a alguns fragmentos de meteoritos (Lisboa, 2017). (B) Modelo da molécula de ribose. (C) Modelo da molécula de glicina, o mais simples dos aminoácidos. Nesse tipo de representação, comumente chamado modelo de esferas e bastões, os átomos são representados por esferas e as ligações covalentes, por bastões. Na imagem, os átomos de carbono estão representados pelas esferas cinza-escuras, os de oxigênio, pelas vermelhas, o de nitrogênio, pela azul e os de hidrogênio, pelas brancas. (Imagens sem escala; cores-fantasia)

A detecção de ribose em material de origem extraterrestre pode auxiliar nos estudos que buscam entender a origem da vida no planeta Terra, já que determinados átomos que formam esse glicídio ligam-se covalentemente a átomos de determinadas espécies químicas (como bases nitrogenadas) para formar as moléculas de ácido ribonucleico (RNA). O RNA apresenta diferentes funções em uma célula, entre elas a de orientar a produção de proteínas, e a exemplo da ribose também é classificado como um composto orgânico.

Diferenciando compostos orgânicos e inorgânicos

Uma das primeiras propostas de distinção entre compostos orgânicos e inorgânicos foi realizada por volta de 1777 pelo químico sueco Torbern Olof Bergman (1735-1784). De acordo com Bergman, os compostos extraídos de organismos vivos seriam classificados como orgânicos, enquanto os compostos inorgânicos seriam aqueles obtidos de minerais.

Muitos estudiosos, incluindo o químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), propuseram que os compostos orgânicos necessitavam de uma condição especial para serem formados, a qual somente seria alcançada nos organismos vivos. Para alguns estudiosos tal condição especial estava relacionada ao caráter dinâmico e à complexidade de composição dos organismos. Essa corrente de pensamento ficou conhecida como **teoria da força vital**, e, graças a sua abrangência e complexidade, levou muito tempo para ser superada no meio científico.

A análise dos produtos de combustão de compostos obtidos de fontes naturais permitiu verificar que esses materiais continham átomos do elemento químico carbono em sua composição. Desse conhecimento, surgiu uma nova definição para compostos orgânicos, que é utilizada até hoje. Esse termo se refere a uma classe de substâncias cujas unidades estruturais (por exemplo, moléculas) apresentam átomos de carbono ligados ou não entre si e a átomos de outros elementos químicos como hidrogênio, oxigênio, enxofre, cloro e nitrogênio.

Entretanto, apenas a presença de átomos de carbono não deve ser considerada suficiente para definir um composto como orgânico. Existem compostos que são formados por carbono, mas apresentam propriedades físico-químicas semelhantes às de compostos inorgânicos e, por isso, se enquadram melhor nesta classificação. Como exemplos desses casos temos os gases dióxido de carbono (CO_2) e cianeto de hidrogênio (HCN). De forma geral, todos os compostos não classificados como orgânicos são classificados como compostos inorgânicos.

Representação de cadeias carbônicas

Em 1858, o químico alemão Friedrich August Kekulé von Stradonitz (1829-1896) propôs que o carbono era tetravalente, o que equivale a dizer, em termos atuais, que o átomo de carbono se liga a outros átomos por meio de quatro ligações covalentes. Veja o caso do tetraclorometano na **Tabela 4.1**.

Kekulé foi também um dos primeiros a criar representações gráficas de moléculas orgânicas, enfatizando a capacidade dos átomos de carbono de se ligarem entre si, formando as chamadas **cadeias carbônicas**. Elas podem apresentar até milhares de átomos de carbono ligados sucessivamente, dando origem a uma grande variedade de compostos orgânicos. O modo como as cadeias estão estruturadas pode explicar muitas das propriedades dos compostos orgânicos, e representá-las pode auxiliar na compreensão de tais propriedades.

Uma das representações mais utilizadas é a **fórmula estrutural plana**, na qual cada traço corresponde a um par de elétrons compartilhado entre os átomos que formam a molécula. As fórmulas estruturais apresentadas na **Tabela 4.1** são exemplos desse tipo de representação.

É comum também representar os átomos de hidrogênio ligados a cada carbono omitindo os traços. Esse tipo de representação pode ser feito por meio da **fórmula estrutural plana parcialmente condensada** ou, ainda, da **fórmula estrutural plana totalmente condensada**. Nesse caso, também não são evidenciados os traços que representam as ligações covalentes entre os átomos de carbono.

Como há a possibilidade de serem formadas longas cadeias carbônicas, a **fórmula estrutural plana simplificada** pode facilitar a representação dos compostos orgânicos. Nela são evidenciadas apenas as ligações existentes entre átomos de carbono por meio de traços (sem o símbolo do elemento químico) e a presença de átomos diferentes de carbono.

Observe a seguir como a molécula de álcool alílico pode ser representada por meio desses tipos de fórmula estrutural.

Macromoléculas

Existem moléculas orgânicas formadas por centenas ou até mesmo milhares de átomos e são, por isso, consideradas macromoléculas. Elas tanto podem ser sintetizadas em organismos vivos quanto produzidas em laboratório. Muitas macromoléculas conhecidas como polímeros apresentam uma unidade estrutural que se repete ao longo de toda a molécula, por meio da qual é possível identificar os monômeros, que são os reagentes que dão origem ao polímero.

Como exemplo de polímero pode-se citar o polipropileno. Ele é produzido em laboratório por meio de reações nas quais milhares de moléculas de propeno (nesse caso, o monômero) são ligadas umas às outras. Forma-se então uma longa cadeia carbônica, que é representada pela sua unidade repetidora, como mostra a imagem a seguir.

$$\begin{array}{ccccc} \mathsf{CH_3} & \mathsf{CH_3} & \mathsf{CH_3} \\ | & | & | \\ \mathsf{CH_2} = \mathsf{CH} & -\mathsf{CH_2} - \mathsf{CH} - & & & & & \\ & & & & & & & \\ \mathsf{Mon\^{o}mero} & \mathsf{Unidade\ estrutural} & & \mathsf{Representa\~{c}\~{a}\~{o}\ para} \\ \mathsf{que\ se\ repete} & & \mathsf{o\ polipropileno} \end{array}$$

Nessa representação, *n* indica que a unidade se repete diversas vezes, mas esse valor não é uma constante.

Alguns dos principais constituintes de uma célula são macromoléculas. Entre elas incluem-se ácidos nucleicos, polissacarídeos e proteínas, as quais têm propriedades essenciais para a existência da vida como a conhecemos. Essas macromoléculas também se formam pela ligação entre determinados monômeros, um processo que aumenta a organização do sistema e requer energia para ocorrer.

O elemento químico carbono é o principal constituinte das macromoléculas biológicas encontradas aqui na Terra. Algumas moléculas formadas por esse elemento químico são encontradas também no meio interestelar, por isso na busca por formas de vida em outros corpos celestes procura-se identificar também moléculas que sejam formadas por átomos de carbono. Essa estratégia é conhecida na Nasa como *Follow the carbon* (siga o carbono).

Alguns cientistas, entretanto, questionam se formas alternativas de vida poderiam ser baseadas no elemento químico silício (Si), por ser o que apresenta propriedades químicas mais semelhantes às do carbono, entre elas a tetravalência e a possibilidade de formar ligações covalentes com ele mesmo, produzindo cadeias de silício. Entretanto, sob as condições que permitem a existência de vida como a conhecemos, compostos formados por cadeias de silício semelhantes às biomoléculas de carbono seriam pouco estáveis em meio aquoso e em atmosfera contendo gás oxigênio. As condições ambientais que favoreceriam a existência de vida com base em compostos de silício deveriam ser, portanto, diferentes das condições encontradas nos ambientes terrestres. De acordo com estudos, alguns compostos contendo silício poderiam ser dissolvidos em nitrogênio líquido e, atingindo certa concentração nesse solvente não aquoso, ser precursores de moléculas complexas análogas às biomoléculas da Terra. Ainda não há evidências comprovando essa possibilidade. Atualmente, vemos cada vez mais pesquisadores tentando compreender os fundamentos químicos da vida.

:: A água como solvente

Assim como se discute se seria possível a vida baseada em silício em vez de carbono, há discussões sobre se haveria outros solventes compatíveis com sistemas biológicos, além da água (H_2O), sendo o mais frequentemente citado a amônia (NH_3). Enquanto novos dados obtidos nas missões espaciais não trazem evidências que suportem essas hipóteses, a Astrobiologia continua mantendo a visão de que a água, em fase líquida, é o solvente com as propriedades adequadas para a existência de vida.

Uma das características importantes de um solvente nesse contexto é ser um líquido em ampla faixa de temperatura. É com base na faixa de temperatura na qual a água pode ser encontrada na fase líquida na superfície de um corpo celeste, considerando apenas a radiação estelar como fonte de energia, que se define a chamada **zona habitável** de um sistema planetário. Sob condição de 1 atm, a água se mantém em fase líquida de 0 °C a 100 °C, enquanto a amônia, por exemplo, é um líquido apenas entre —33 °C e —78 °C.

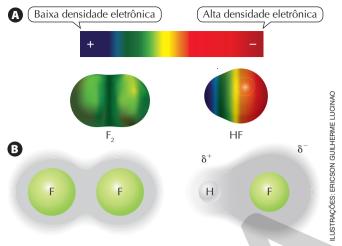
Outra característica importante de um solvente é sua polaridade, a qual influencia tanto as temperaturas de mudança de fase quanto as reações químicas que podem ocorrer e a formação de agregados supramoleculares automontáveis – condição básica para o surgimento das células.

Polaridade das ligações covalentes

Conforme aprendemos, quando dois átomos de hidrogênio se aproximam, começa a ocorrer a sobreposição de seus orbitais, até que a uma determinada distância internuclear o par de elétrons passa a ser compartilhado igualmente entre os dois átomos de hidrogênio. Entretanto, existem moléculas – como a da água – nas quais um dos átomos que participam da ligação exerce maior atração sobre os elétrons do que o outro. Em ambos os casos, é possível descrever a polaridade da ligação considerando a tendência dos átomos em atrair elétrons para si em uma ligação química, sendo essa tendência uma grandeza denominada **eletronegatividade**.

A primeira escala numérica de eletronegatividade foi proposta em 1931 por Linus Pauling. Essa escala é baseada na energia de ligação e tem como referência o átomo de hidrogênio. A eletronegatividade de um elemento químico só pode ser determinada em relação a outro elemento químico – ou seja, é uma propriedade relativa. Dessa forma, o átomo mais eletronegativo em uma ligação pode ser o menos eletronegativo em outra. A eletronegatividade é uma **propriedade periódica** e, em geral, ela aumenta com o aumento do número atômico no período e diminui ao longo do grupo.

Quando um átomo é mais eletronegativo que o outro em uma ligação covalente, ele exerce maior atração sobre os elétrons do par compartilhado. Isso causa um deslocamento da densidade eletrônica para a região mais próxima a esse átomo, que passa a apresentar carga parcial negativa (δ⁻). A região próxima ao outro átomo que participa da ligação passa a apresentar carga parcial positiva (δ^+) . Nesse caso, dizemos que se trata de uma **ligação** covalente polar, uma vez que ocorre a formação de polos (positivo e negativo) na molécula. Quando os dois átomos apresentam a mesma eletronegatividade, não há, em média, variação da densidade eletrônica da molécula, já que o par de elétrons compartilhado é atraído com a mesma intensidade por ambos os núcleos dos átomos; trata-se de uma ligação covalente apolar. Observe os exemplos mostrados na Figura 4.5.

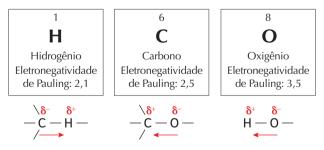


Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

Figura 4.5 (A) Representação computacional da distribuição de densidade eletrônica calculada na superfície das moléculas de gás flúor (F₂) e de fluoreto de hidrogênio (HF). (B) Representação submicroscópica simplificada da distribuição de densidade eletrônica (contorno cinza) das mesmas moléculas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Note que, no caso das moléculas de F₂, o núcleo de ambos os átomos atrai os elétrons da ligação com a mesma intensidade e, portanto, não surgem polos elétricos; essa ligação é covalente apolar. Já no caso da molécula de HF, há um aumento da densidade eletrônica ao redor do átomo de flúor, que é mais eletronegativo que o de hidrogênio; a ligação entre eles é covalente polar.

A variação da densidade eletrônica na molécula é denominada dipolo elétrico. O vetor **momento de dipolo elétrico** (ou apenas momento de dipolo, representado por μ) descreve os dipolos de uma molécula e pode ser usado para determinar se uma molécula é polar ou apolar. Trata-se de uma **grandeza** descrita por meio de três variáveis: a intensidade, que depende da intensidade das cargas elétricas no dipolo e da distância entre elas; a direção, que é paralela à representação do eixo de ligação entre os dois átomos; e o sentido, do polo negativo para o positivo (conforme a convenção proposta pela IUPAC). Observe a **Figura 4.6**.



Fonte: LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. Tradução: Henrique E. Toma, Koiti Araki, Reginaldo C. Rocha. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. Figura 4.6 Valores de eletronegatividade associados aos elementos químicos mais comumente encontrados em moléculas orgânicas, com base nos cálculos de Pauling. São representadas também ligações entre átomos de carbono e hidrogênio, carbono e oxigênio e hidrogênio e oxigênio. O vetor momento de dipolo elétrico, representado pela seta vermelha, aponta do átomo de maior eletronegatividade para o átomo de menor eletronegatividade.

O átomo de carbono e o átomo de hidrogênio apresentam valores muito próximos de eletronegatividade de Pauling, o que caracteriza suas ligações como covalentes de polaridade muito baixa. No entanto, a ligação covalente entre átomos de carbono e de oxigênio ou entre átomos de hidrogênio e de oxigênio apresenta caráter polar. Ligações covalentes entre átomos de carbono são apolares, pois são estabelecidas entre átomos do mesmo elemento químico (não há diferença de eletronegatividade).

Porém, identificar a presença de dipolos elétricos em uma ligação química pode não ser suficiente para determinar se a molécula é polar ou apolar. Para isso, é necessário fazer a soma vetorial dos momentos de dipolo elétrico de todas as ligações químicas presentes na molécula, o que fornece o **momento de dipolo elétrico resultante,** representado por $\bar{\mu}_r$. Para calculá-lo, é necessário conhecer a geometria da molécula, isto é, os ângulos em que os átomos estão posicionados.

Geometria molecular

Em 1940, dois químicos britânicos, Nevil Vincent Sidgwick (1873-1952) e Herbert Marcus Powell (1906-1991), propuseram, com base nas ideias de Lewis, que a repulsão entre os pares eletrônicos na camada de valência determina a geometria molecular. Esse estudo foi publicado sem saber que o cientista japonês Ryutaro Tsuchida, em 1939, havia publicado conclusão semelhante. Mas essa teoria foi amplamente aceita somente em 1957, quando foi aprimorada por outros dois químicos britânicos, Ronald James Gillespie (1924-) e Ronald Sydney Nyholm (1917-1971).

Para determinar a maneira como os átomos estão organizados espacialmente em uma molécula, é preciso observar todos os pares de elétrons presentes no átomo central. De acordo com o **modelo de repulsão dos pares de elétrons da camada de valência** (ou VSEPR, do termo em inglês *valence-shell electron-pair repulsion*), esses pares de elétrons se posicionam mantendo a maior distância possível entre si, minimizando os efeitos de repulsão eletrostática que ocorre tanto entre os pares de elétrons das ligações químicas, chamados de **pares ligantes**, como entre os **pares não ligantes** ou isolados, ou seja, aqueles que não estão envolvidos nas ligações químicas do átomo central. Na **Tabela 4.2** são apresentados, por meio de símbolos de Lewis, os arranjos geométricos nos casos em que a distância entre os pares eletrônicos ligantes e não ligantes é a maior possível.

Tabela 4.2 Disposição geométrica dos pares eletrônicos ligantes e não ligantes do átomo central de um elemento químico genérico A									
Pares de elétrons na camada de valência	Arranjo geométrico dos pares eletrônicos								
2	Linear	. A .							
3	Trigonal plano	A							
4	Tetraédrico	A							

Fonte consultada:
BROWN, T. L. et al.
Química: a Ciência
central. Tradução:
Eloiza Lopes, Tiago
Jonas e Sonia M.
Yamamoto. 13. ed. São
Paulo: Pearson, 2016.

Os dados da tabela representam o arranjo geométrico dos pares eletrônicos que proporciona a maior distância entre eles, mas na representação da geometria de uma molécula nem todos os vértices das formas geométricas estarão necessariamente ocupados, pois nem sempre todos os pares eletrônicos estarão envolvidos em ligações químicas.

Na **Tabela 4.3** são representadas algumas moléculas, bem como a indicação da sua geometria. Como muitas moléculas apresentam geometria não planar, para representá-las no plano bidimensional da folha de papel é necessário empregar certos artifícios gráficos, também mostrados na tabela.

	Tabela 4.3	Previsão da geomet	ria molecular utilizan	do o modelo VSEP	R	
Nome	Metanal	Metano	Amônia	Água	Dióxido de carbono	
Fórmula molecular	CH₂O	CH₄	NH ₃	H₂O	CO ₂	
Arranjo eletrônico	нн	H H	H H	H	:þ=c= ḍ :	
Modelo de esferas e bastões	Trigonal plano	Tetraédrico H C H 109,5°	H H H 107,5°	Tetraédrico	Linear	
Geometria molecular	Trigonal plana	Tetraédrica	Piramidal	Angular	Linear	

(Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Fonte consultada: KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Tradução: Flávio M. Vichi e Solange A. Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. v. 1.

Note, por exemplo, que no arranjo eletrônico da molécula de metano as linhas simples representam as ligações entre o átomo de carbono e dois átomos de hidrogênio que estão no mesmo plano. A ligação representada como um triângulo cheio, ou cunha, indica que o átomo ligado está no plano à frente do plano da página. A ligação representada com o tracejado indica que o átomo ligado está no plano atrás do plano da página. Note também que mesmo os pares eletrônicos não ligantes são importantes para determinar o arranjo geométrico, como no caso da amônia e da água, e que as ligações duplas (e triplas) são tratadas como um único conjunto de pares de elétrons.

Algumas moléculas, como a amônia e a água em relação ao metano, apresentam pequena distorção no ângulo de suas ligações: os ângulos de ligação diminuem à medida que o número de pares de elétrons não ligantes aumenta. Isso ocorre porque o par de elétrons ligantes é atraído mais fortemente pelos dois núcleos que participam da ligação química; em contrapartida, os pares de elétrons não ligantes são atraídos mais fortemente por apenas um núcleo. Como resultado, esses pares de elétrons não ligantes repelem com maior intensidade os outros elétrons da molécula, distorcendo os ângulos entre as ligações químicas.

Existe uma relação entre a geometria molecular e a posição dos elementos químicos na tabela periódica, o que nos permite prever outras situações além das apresentadas na tabela.

Polaridade das moléculas

Observe a representação da molécula de dióxido de carbono na **Tabela 4.3**. As ligações nessa molécula são

polares por causa da diferença de eletronegatividade entre o oxigênio e o carbono e, portanto, apresentam momento de dipolo diferente de zero. No entanto, como a molécula de CO_2 tem geometria linear, esses momentos de dipolos elétricos são vetores de igual intensidade e direção que apontam em sentidos opostos, anulando-se. O momento de dipolo elétrico resultante do CO_2 é nulo e, portanto, trata-se de uma molécula apolar.

Quanto à molécula de água, também representada na mesma tabela, perceba que, embora ambas as ligações sejam polares e os momentos de dipolos elétricos sejam diferentes de zero, a geometria molecular é angular. Logo, os vetores momento de dipolo elétrico das ligações H — O não se anulam, e o momento de dipolo resultante é diferente de zero. A molécula da água é, portanto, uma molécula polar.

No metano, como as quatro ligações C — H são equivalentes, o vetor momento de dipolo elétrico de cada uma delas tem a mesma intensidade. A disposição tetraédrica dos átomos faz com que a soma vetorial seja nula, ou seja, a molécula de metano é apolar.

Perceba que a substituição de um átomo de hidrogênio do metano (CH₄) por um átomo mais eletronegativo, como o cloro no clorometano (CH₃Cl), alteraria o momento de dipolo elétrico resultante. A intensidade do vetor momento de dipolo elétrico da ligação que se estabelece entre o átomo de carbono e o de cloro é diferente das ligações C — H, por causa da maior eletronegatividade do cloro, o que altera a simetria da molécula e a torna polar.

As moléculas de amônia (**Tab. 4.3**) são polares, assim como as da água. Se a vida como a conhecemos depende da água como solvente, a possibilidade de exisitir vida

com base na amônia como solvente em outros planetas e luas não é descartada pelos cientistas. Diversos compostos orgânicos, como os aminoácidos, podem ser dissolvidos em amônia; além disso, esse solvente é o meio escolhido para a realização de diversas reações químicas em laboratório. Entretanto, além de ser um gás a 25 °C e 1 atm, a amônia reage com o gás oxigênio, e por esse motivo ela não seria um solvente adequado à vida sob as condições terrestres. Mas ela poderia ser um solvente adequado em outros corpos celestes. Há evidências, por exemplo, de que Titã, o maior satélite natural de Saturno, abriga uma solução contendo amônia e água, abaixo de uma camada de gelo. Nesse meio há ausência de gás oxigênio, condição que poderia abrigar formas de vida com base em amônia como solvente.

Interações intermoleculares

A polaridade das moléculas influencia as propriedades físico-químicas específicas das substâncias porque, entre outros fatores, está relacionada com os tipos de forças intermoleculares estabelecidos entre as moléculas. Descreveremos a seguir as interações que ocorrem em solventes puros. Além das interações intermoleculares, outros efeitos também são relevantes na formação de misturas.

Dipolo instantâneo-dipolo induzido ou forças dispersivas de London

Tanto nas moléculas apolares quanto nas polares, bem como nos átomos de gases nobres isolados, a movimentação dos elétrons pode gerar, em certo momento, um aumento da densidade eletrônica em determinada região da espécie química. Assim, a distribuição de elétrons não é homogênea, e forma-se um dipolo elétrico instantâneo. Esse dipolo induz a formação de novos dipolos elétricos nas espécies químicas que estão próximas. Os dipolos induzidos se orientam no espaço e interagem, atraindo-se uns aos outros (**Fig. 4.7**).



Figura 4.7 Representação submicroscópica da distribuição de elétrons em moléculas diatômicas homonucleares, como o Br₂, interagindo por forças dispersivas de London. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Esse tipo de interação recebe o nome de interação dipolo instantâneo-dipolo induzido, ou **forças dispersivas de London**, em homenagem ao físico alemão Fritz Wolfgang London (1900-1954), que as estudou. Geralmente, a facilidade com a qual uma distribuição assimétrica de elétrons pode ocorrer está relacionada ao tamanho da molécula e à quantidade de elétrons. Quanto maior é a nuvem eletrônica da espécie química, mais fácil é a indução do dipolo.

Essas interações ocorrem entre todas as espécies químicas, entretanto é o único tipo de interação que ocorre entre moléculas apolares e entre os átomos isolados de gases nobres. As forças dispersivas de London são relativamente fracas e aumentam de intensidade quando ocorre a aproximação entre os átomos ou as moléculas.

Dipolo permanente-dipolo permanente ou forças de Keesom

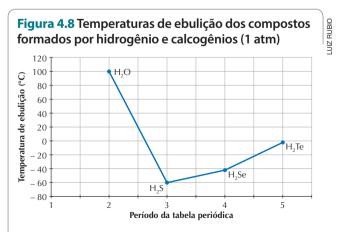
As moléculas polares também apresentam outro tipo de interação, as chamadas interações dipolo permanente-dipolo permanente, ou **forças de Keesom**, em homenagem ao físico holandês Willem Hendrik Keesom (1876-1956). Ele foi o primeiro cientista a descrever matematicamente essas interações, que podem também ser chamadas de dipolo-dipolo.

Nesse tipo de interação, a região com maior densidade de carga negativa (δ^-) de uma molécula atrai a região de menor densidade dessas cargas (δ^+) de outra molécula próxima, e vice-versa. Formam-se, então, interações entre dipolos que já existem na molécula.

Esse tipo de interação é mais intenso que as forças dispersivas de London. É importante enfatizar, entretanto, que nas moléculas polares ocorrem os dois tipos de interação, porém as forças de Keesom predominam na maioria dos casos. As forças de London e de Keesom são em conjunto chamadas de **forças de Van der Waals**, em homenagem ao físico holandês Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), um dos primeiros cientistas a propor a existência das interações intermoleculares.

Ligações de hidrogênio

As ligações de hidrogênio também são interações do tipo dipolo-dipolo, porém mais intensas que as forças de Keesom. Podemos entender esse tipo de interação ao analisarmos, por exemplo, a temperatura de ebulição a 1 atm das substâncias formadas por hidrogênio e átomos dos elementos químicos do grupo 16, conforme apresenta a **Figura 4.8**.



Fonte consultada: LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. As substâncias sulfeto de hidrogênio (H_2S), seleneto de hidrogênio (H_2S e) e telureto de hidrogênio (H_2T e) apresentam o comportamento típico de aumento da temperatura de ebulição com o aumento do período da tabela periódica em que estão os calcogênios. Isso porque, além do aumento da massa atômica, quanto maior o átomo, maior sua densidade eletrônica e, consequentemente, mais intensas são as forças de Keesom entre as moléculas formadas por ele. No entanto, a água (H_2O) apresenta temperatura de ebulição muito maior que a esperada. Isso ocorre em razão de um tipo de interação existente entre as moléculas de H_2O , as ligações de hidrogênio (**Fig. 4.9**).

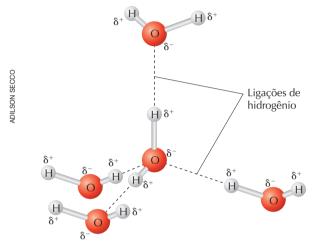


Figura 4.9 Modelo submicroscópico representando as ligações de hidrogênio presentes entre moléculas de água. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A ligação de hidrogênio é a interação entre o átomo de hidrogênio ligado covalentemente a um átomo bastante eletronegativo (F, O ou N) e o par eletrônico não ligante do átomo de flúor, oxigênio ou nitrogênio presente em outra molécula.

As ligações de hidrogênio têm papel fundamental em diversos processos biológicos. Por exemplo, a dupla hélice do DNA se mantém unida em decorrência dessas interações. Por serem interações intermoleculares, elas são, em média, cerca de dez vezes menos energéticas que as ligações covalentes e, assim, podem ser mais facilmente desfeitas nos processos de divisão celular.

Propriedades da água em fase líquida

Densidade

A maioria das substâncias apresenta maior aproximação de suas partículas na fase sólida e, consequentemente, maior densidade nessa fase. Porém, isso não ocorre com a água. Suas moléculas assumem um arranjo ordenado por causa das ligações de hidrogênio formadas. Como a energia cinética (e consequentemente a movimentação) das moléculas de água é menor na fase sólida do que na fase líquida, as ligações de hidrogênio mantêm as moléculas

mais afastadas na fase sólida. Em consequência, o gelo apresenta densidade menor do que a água líquida e flutua nela.

Coesão e adesão

A **coesão** é uma propriedade relacionada à capacidade que as moléculas têm de ficarem unidas, e a **adesão** é a propriedade relacionada à capacidade de se unirem a moléculas diferentes.

Quando as forças de coesão são mais intensas que as de adesão, as moléculas de água, por exemplo, interagem mais fortemente entre si e a água tende a se organizar na forma de **gotas**. No entanto, quando a intensidade das forças de adesão supera as de coesão, as moléculas de água interagem mais fortemente com as moléculas da superfície; nesse caso, a água tende a formar um **filme** sobre a superfície.

Tensão superficial

A forma de uma gota de água pode ser explicada por meio da tensão superficial. As interações intermoleculares atuam em todas as direções. No entanto, as moléculas da superfície da gota de água interagem mais intensamente com as moléculas de água em sua vizinhança do que com as moléculas das substâncias que compõem o ar. A força de atração resultante é direcionada para o interior do líquido e ocasiona o empacotamento das moléculas da forma mais densa possível, resultando em uma área superficial mínima. Essa propriedade é conhecida como tensão superficial. Esse é o efeito que permite que insetos permaneçam e andem sobre a superfície da água sem afundar, como o que foi apresentado na **Figura 4.1**.

Viscosidade

As ligações de hidrogênio entre as moléculas de água aumentam a viscosidade desse líquido em relação a líquidos apolares, cujas moléculas interagem por meio de forças dispersivas de London. A viscosidade é definida como a resistência de um fluido (líquido ou gás) ao escoamento. Quando as interações intermoleculares são bastante intensas, elas mantêm as moléculas unidas, reduzindo sua movimentação e diminuindo a velocidade de escoamento do líquido.

Solubilidade

Diversas substâncias podem ser dissolvidas na água, entretanto algumas são mais solubilizadas que outras. Quando dissolvidas na água, as substâncias podem formar com ela um sistema homogêneo denominado **solução**, no qual a água é o solvente e a substância solubilizada é o soluto. Alguns compostos orgânicos, como o etanol, são solubilizados em água por meio de ligações de hidrogênio entre as moléculas do solvente e as do soluto.

Porém, as substâncias cujas moléculas são de baixa polaridade ou apolares são muito pouco solúveis em água e com ela tendem a formar sistemas com mais de uma fase. A pequena solubilidade observada é resultado de interações intermoleculares do tipo **dipolo permanente-dipolo induzido**.

Solvatação

Além da participação de moléculas orgânicas em diversos processos relacionados à manutenção da vida na Terra, é bastante relevante a participação de substâncias iônicas (formadas por íons), como os sais minerais transportados pelo xilema em plantas vasculares. Quando as moléculas de água se organizam em torno das partículas de soluto (sejam elas moléculas ou íons), tem-se o fenômeno conhecido como solvatação. Observe a representação na **Figura 4.10**.

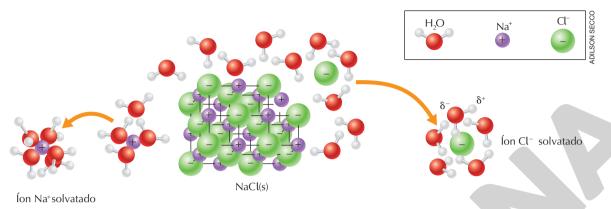


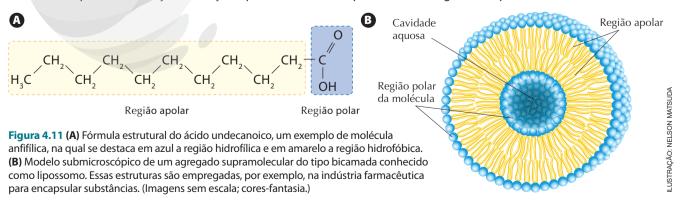
Figura 4.10 Modelo submicroscópico da solubilização do cloreto de sódio em água. O número de moléculas de água associadas aos íons não é necessariamente o representado e depende de diversos fatores, como o raio iônico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A solvatação ocorre por causa do caráter polar da molécula de água: a carga parcial negativa do átomo de oxigênio é atraída pela carga do cátion do soluto e a carga parcial positiva de cada átomo de hidrogênio é atraída pelo ânion do soluto, no caso das substâncias iônicas. Esse é um tipo de interação chamado **íon-dipolo**. Ela é menos intensa que a atração eletrostática entre cátions e ânions, porém é mais intensa que as interações intermoleculares apresentadas. Como consequência dessa interação, os íons do composto iônico se separam, ou seja, ocorre dissociação quando a substância se solubiliza. No entanto, nem todos os compostos iônicos são apreciavelmente solúveis em áqua em qualquer temperatura.

:: De moléculas a células

Ao estudar o mundo natural, nota-se que existem vários níveis de organização molecular, desde espécies químicas isoladas até conjuntos de moléculas formando estruturas complexas, muitas com elevado grau de simetria, que permitem a compartimentalização de reações químicas.

A Química Supramolecular é a área do conhecimento que estuda os fenômenos associados a esses agregados organizados de moléculas, os quais se formam espontaneamente pela simples mistura dos componentes, ou seja, se caracterizam como sistemas automontados, e são mantidos por interações intermoleculares. A formação desses agregados pode ser observada, por exemplo, quando são colocadas em água moléculas que apresentam em sua estrutura duas regiões com características de polaridade distintas: polar/ hidrofílica e apolar/hidrofóbica (Fig. 4.11 A). Moléculas com essa característica estrutural são denominadas anfifílicas ou anfipáticas. Em ambiente aquoso, os compostos anfipáticos se auto-organizam de forma que o contato de suas regiões apolares com a água seja minimizado. A partir de certa concentração mínima e dependendo, por exemplo, da geometria molecular, os compostos anfifílicos se organizam em bicamadas ou em micelas. Quando esses agregados se formam, partículas dissolvidas ou em suspensão na água podem ser confinadas em seu interior (Fig. 4.11 B). A bicamada é um tipo de agregado supramolecular que compõe a membrana que delimita as células. A Química Supramolecular também aparece na montagem de capsídeos virais.



Fonte consultada: NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de Bioquímica de Lehninger. Tradução: Ana Beatriz G. da Veiga et al. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

ERICSON GUILHERME LUCIANO

1. O ciclopropano é um composto orgânico com propriedades anestésicas, mas por causa de sua alta reatividade com o gás oxigênio tem sido substituído por outros compostos para esse fim. O modelo de esferas e bastões a seguir corresponde à representação de uma molécula de ciclopropano. Os átomos de carbono são representados por esferas cinza-escuras e os átomos de hidrogênio, por esferas brancas.



Com base nesse modelo, escreva a fórmula molecular do ciclopropano e desenhe sua fórmula estrutural utilizando artifícios gráficos para indicar a orientação espacial dos átomos de hidrogênio.

2. Observe na tabela a seguir os momentos de dipolo elétrico de alguns compostos orgânicos, medidos em debye (D).

6.1 10 1	
Substância	Momento de dipolo (D)
CH₃Cl	1,87
CH₃OH	1,70
C_2H_6	0
C_6H_6	0

Fonte: MARTINS, C. R. *et al.* Solubilidade das substâncias orgânicas. *Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 8, 2013.

Explique por que alguns dos compostos orgânicos apresentados têm momento de dipolo igual a zero e os demais, não.

- **3.** Os sabões, como o estearato de sódio (C₁₇H₃₅COONa), são substâncias anfipáticas, e que em ambiente aquoso formam agregados supramoleculares esféricos conhecidos como micelas. Explique, com base nestas informações e no que foi estudado, como o sabão age no processo de limpeza de uma louça engordurada.
- **4.** Observe, a seguir, a foto do modelo de esferas e bastões de uma molécula formada por átomos de apenas dois elementos químicos.



Identifique sua geometria e polaridade. Justifique suas escolhas.

5. As N-haloaminas constituem um grupo de compostos orgânicos que apresentam pelo menos um átomo de nitrogênio ligado a um halogênio, normalmente o átomo de cloro. As N-haloaminas são compostos bastante estáveis em água e podem atuar como biocidas eficazes contra vários tipos de bactérias e fungos, por exemplo. Observe a fórmula estrutural de um tipo de N-haloamina.

Com base na fórmula estrutural apresentada, responda:

- a) Qual é a fórmula molecular do composto?
- b) Ele é um composto polar ou apolar? Justifique.
- c) Proponha uma hipótese para a ação biocida desse tipo de composto.
- 6. [...] Comparada com muitas outras substâncias, uma dada quantidade de água requer um grande ganho de calor para aumentar sua temperatura, e uma grande perda de calor para reduzi-la. Portanto, muito mais calor deve ser aplicado para elevar a temperatura da água que para elevar a temperatura de um líquido sem ligação de hidrogênio. O inverso é verdadeiro à medida que a água esfria. Consequentemente, a água mantém a temperatura constante com mais facilidade do que outros solventes e tende a proteger a célula de flutuações nas temperaturas ambientais. [...]

Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

Explique por que a existência de ligações de hidrogênio entre as moléculas de água faz com que essa substância atue como regulador da temperatura corporal.

- 7. Cerca de 21% da atmosfera terrestre é composta de gás oxigênio. Sabendo que esse gás apresenta fórmula molecular O₂, faça o esboço de um gráfico que mostre a variação de energia potencial para a formação de uma molécula de gás oxigênio.
- **8.** (Enem) As fraldas descartáveis que contêm o polímero poliacrilato de sódio (1) são mais eficientes na retenção de água que as fraldas de pano convencionais, constituídas de fibras de celulose (2).

Fonte: (Adaptado de: CURI, D. *Química Nova na Escola,* São Paulo, n. 23, maio 2006.) A maior eficiência dessas fraldas descartáveis, em relação às de pano, deve-se às

- a) interações dipolo-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- b) interações íon-íon mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- c) ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e a água, em relação às interações íon-dipolo entre a celulose e as moléculas de água.
- d) ligações de hidrogênio mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às interações dipolo induzido-dipolo induzido entre a celulose e as moléculas de água.
- e) interações íon-dipolo mais fortes entre o poliacrilato e as moléculas de água, em relação às ligações de hidrogênio entre a celulose e as moléculas de água.
- 9. Analise a tabela a seguir.

Propriedades físico-químicas de alguns compostos orgânicos, a 1 atm									
Nome	Propano	Metoximetano (éter dimetílico)	Etanol (álcool etílico)						
Massa molecular (u)	44	46	46						
Fórmula estrutural plana	H H H H - C - C - C - H H H H	H H H H H H H H H H H H H H H H H H	H OH H - C - C - H H H						
Temperatura de fusão (°C)	- 187,6	-141,5	-114,1						
Temperatura de ebulição (°C)	-42,1	-24,8	78,3						

Fonte: LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Utilizando os conceitos de polaridade das moléculas e os tipos de interações intermoleculares, responda:

- a) Em qual fase as substâncias apresentadas encontram-se a 25 °C e 1 atm? Justifique.
- b) Por que as substâncias indicadas na tabela apresentam diferentes temperaturas de fusão e de ebulição?
- 10. As representações moleculares são muito úteis para relacionar as propriedades das substâncias à estrutura das moléculas, pois permitem identificar similaridades e diferenças. A molécula de timina, por exemplo, uma das bases nitrogenadas que compõem a estrutura do DNA, apresenta semelhanças com a citosina. As fórmulas estruturais dessas moléculas estão representadas a seguir.

Apresente aos colegas uma proposta para representar essas fórmulas estruturais, de forma que as semelhanças e as diferenças possam ser reconhecidas por pessoas com deficiência visual.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 3: 5: 6: 9

Habilidades: EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT203; EM13CNT301

Figue por dentro

A história de Louis Pasteur

Direção de William Dieterle, Estados Unidos, 1936. 86 min.

O filme mostra a trajetória da vida e da carreira do microbiologista francês Louis Pasteur, que enfrentou a descrença da comunidade científica ao defender suas ideias sobre a geração espontânea.

Astrobiologia: uma ciência emergente

Primeiro livro em português sobre Astrobiologia, escrito por pesquisadores do Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia da Universidade de São Paulo. Esse livro faz uma apresentação da história do Universo, de sua origem até a formação dos planetas e da vida. Além disso, promove uma discussão sobre nosso futuro em um Universo em evolução.

Disponível em: https://sites.google.com/usp.br/livro-astrobiologia>.

Acesso em: 18 jun. 2020.

Origem e evolução da vida na Terra

A vida, como a conhecemos, surgiu depois da evolução química, em que moléculas simples, em determinadas condições, passaram a complexas, propiciando a origem das primeiras células.

Questões intrigantes a respeito da origem da vida na Terra e da possível existência de vida em outros locais do Universo sempre foram objeto de muitas discussões, desde a Antiguidade.

Neste Tema, vamos analisar as principais ideias acerca da origem da vida, sintetizando uma longa discussão histórica. Ao fazermos isso, não pretendemos que você tenha uma concepção equivocada pensando que somente as pessoas e os dados citados estão envolvidos. A Ciência não evolui de forma linear. As ideias que analisaremos são apenas algumas das que ocorreram nas diferentes épocas, selecionadas com base no maior impacto que tiveram em cada momento histórico.

:: Teorias da origem da vida

Na Antiguidade, doutrinas da Índia, da Babilônia e do Egito apontavam que rãs, serpentes e crocodilos eram manifestações da vontade dos deuses e gerados de modo espontâneo a partir do lodo dos rios. De interpretações como essa desenvolveu-se a ideia da geração espontânea, segundo a qual todos os seres vivos originam-se espontaneamente da matéria inorgânica. Até mesmo receitas para formar seres vivos foram criadas, como a de Jan Baptist van Helmont (1577-1644), um filósofo da natureza belga. Ele ensinava a produzir ratos a partir de uma camisa suada e suja colocada com grãos de trigo em um local protegido. Sabemos hoje que os ratos eram atraídos pelos grãos de trigo, e não surgiam espontaneamente da mistura proposta pela receita, mas, na época, interpretações como essa eram comuns.

Embora ideias opostas à geração espontânea já tivessem surgido na Antiguidade, a noção de que os seres vivos nascem da matéria bruta permaneceu até o século XIX. Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), por exemplo, um importante filósofo da Antiguidade cujas ideias influenciaram diversas áreas do conhecimento aceitava a ideia da geração espontânea para alguns casos, mas não para outros. Ele estudou detalhadamente a anatomia e o processo de reprodução sexuada de vários animais e, nesses casos, dizia que esses animais surgiam apenas por reprodução a partir de outros animais já existentes. Para aqueles seres cujo processo de reprodução ele desconhecia, aceitava a geração espontânea.

Somente em meados do século XVII, começaram a surgir experimentos para testar tanto ideias a favor da geração espontânea quanto contra ela.

Vamos fazer uma análise de alguns desses experimentos e procurar entender as mudanças na interpretação do mundo vivo ao longo do tempo.

Os experimentos de Redi

Francesco Redi (1626-1697), filósofo da natureza italiano, não aceitava a ideia da geração espontânea dos seres vivos. Na época, os adeptos dessa ideia usavam como argumento a favor dela o nascimento espontâneo de "vermes" na carne em decomposição.

Redi questionou essa interpretação e formulou a hipótese de que esses "vermes" surgiam de ovos colocados por moscas atraídas pela carne podre. Eles seriam, na verdade, larvas que fazem parte do ciclo de vida das moscas.

Visando testar sua hipótese, Redi realizou experimentos, publicados em 1668, usando oito frascos de vidro com pedaços de carne dentro de cada um deles. Deixou quatro dos frascos abertos, como grupo controle, e cobriu com gaze os outros quatro, que formavam o grupo experimental. A gaze permitia a entrada de ar, mas impedia a entrada de insetos, como as moscas.

Depois de algum tempo verificou que, nos frascos cobertos com gaze, os pedaços de carne estavam em decomposição e exalavam mau cheiro, mas não apresentavam larvas. Já nos frascos totalmente abertos, os pedaços de carne apresentavam as mesmas características dos que estavam cobertos, mas havia larvas sobre eles. Como a única diferença entre os grupos era o isolamento ou não da carne, proporcionado pela gaze, Redi concluiu que as larvas não tinham origem na carne, mas sim nos insetos, o que corroborava sua hipótese. Para consolidar esses resultados, ele se preocupou em fazer réplicas do experimento (**Fig. 5.1**).

Com esses experimentos, Redi conseguiu refutar a ideia da origem espontânea dos vermes a partir de carne podre, mas outras questões ficaram em aberto. Para outros casos, como a origem dos vermes encontrados dentro das frutas, Redi não tinha explicação e admitia, para eles, a geração espontânea.

Controvérsia entre Needham e Spallanzani

Na época da publicação do trabalho de Redi, os microscópios já existiam, mas somente entre os anos de 1673 e 1723 os microrganismos foram descritos com mais detalhes. O maior conhecimento desse mundo microscópico reacendeu a discussão a respeito da origem dos seres vivos.

Uma das controvérsias científicas mais clássicas, muito citada na história da Ciência, ocorreu entre o naturalista inglês John Turberville Needham (1713-1781), adepto da geração espontânea, e o naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799), contrário a essa ideia. Ambos eram estudiosos competentes, e usaram técnicas e metodologias inovadoras para a época. A discussão durou cerca de 26 anos, e nenhum deles abandonou as próprias ideias.

Figura 5.1 Representação Observação de fatos e perguntas esquemática do desenho Moscas voam ao redor do pedaço de carne deixada ao ar livre. "Vermes" experimental de Redi aparecem na carne em decomposição. De onde surgem esses "vermes"? mostrando apenas uma réplica de cada um dos tratamentos dos grupos controle e experimental. Hipótese (Imagens sem escala; Os "vermes" são larvas que surgem dos ovos no ciclo de vida das moscas. cores-fantasia.) Previsão Se as moscas forem mantidas afastadas da carne, não haverá aparecimento de larvas. Experimento Em frascos idênticos são colocados pedaços de carne de mesmo tamanho. Grupo experimental Grupo controle Variáveis controladas: tempo, temperatura Os frascos são mantidos Os frascos são mantidos e local. fechados com gaze por abertos por vários dias. vários dias. Moscas voam sobre a Moscas não chegam carne e, posteriormente, até a carne. Resultados Nenhuma larva aparece. ovos e larvas aparecem. Gaze Conclusões A geração espontânea de larvas não ocorre da carne. A hipótese foi apoiada pelos dados. Pedaço de carne

ILUSTRAÇÃO: NELSON MATSUDA

Needham desenvolveu uma série de experimentos que, segundo suas ideias, traziam evidências de que os seres microscópicos seriam gerados espontaneamente. Na época, sabia-se que a fervura de sopas ou líquidos nutritivos matava os microrganismos neles presentes. Com base nisso, ele queria investigar se esses organismos surgiriam após a fervura do líquido com os frascos mantidos fechados, sem contato com o ar.

Em seu principal experimento, apresentado em 1748, Needham preparou um caldo nutritivo que era fervido por 30 minutos e distribuído, ainda quente, em diversos frascos, que eram fechados com rolhas e deixados em repouso por alguns dias. Ao examinar essas soluções ao microscópio, Needham observou microrganismos, o que o fez concluir que eles tinham surgido espontaneamente e que os caldos continham uma "força vital" ou "força vegetativa" responsável pelo aparecimento de formas vivas.

Seus procedimentos experimentais e seus resultados foram contestados por outros pesquisadores contrários à ideia da geração espontânea. Um deles foi Spallanzani, que repetiu os experimentos de Needham, com algumas modificações, e obteve resultados diferentes. Spallanzani ferveu substâncias nutritivas por uma hora em balões de vidro, fechando-os hermeticamente com um maçarico, deixou-os em repouso por alguns dias e, então, abriu-os e observou ao microscópio a inexistência de organismos vivos no líquido. Esses resultados foram apresentados em 1765, explicando que Needham não havia fervido a solução nutritiva por tempo suficiente para esterilizá-la.

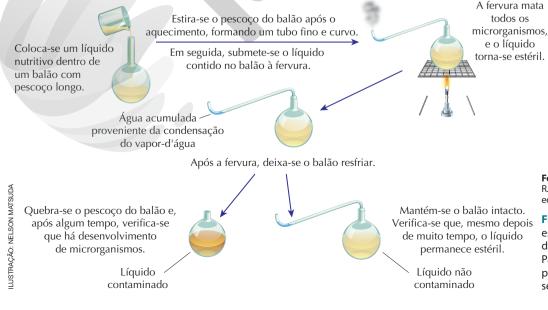
Em 1769, Needham respondeu à crítica dizendo que, ao ferver por muito tempo as substâncias nutritivas, Spallanzani havia destruído a "força vital" e, ao fechar os frascos hermeticamente, tornava o ar de dentro dos recipientes desfavorável ao aparecimento da vida.

Visando rebater essas críticas, Spallanzani realizou novos experimentos em que submeteu à fervura líquidos nutritivos por uma hora em recipientes fechados. Após a fervura, abriu os recipientes, permitindo a entrada do ar, e, depois de resfriados, analisou esses líquidos ao microscópio e verificou a existência de microrganismos. Com esses resultados, ele conseguiu demonstrar que a "força vital" não havia sido destruída, mas não conseguiu rebater as críticas de que o aquecimento em recipientes fechados alteraria a qualidade do ar.

Os experimentos de Pasteur

O debate entre os adeptos da geração espontânea e os que a criticavam continuou por várias décadas e se tornou tão intenso que, em 1860, a Academia Francesa de Ciências propôs um prêmio para quem resolvesse o conflito. O químico francês Louis Pasteur (1822-1895) ganhou esse prêmio em 1864. Seus experimentos contestaram a geração espontânea e trouxeram fortes argumentos a favor da origem dos seres vivos a partir de outros já existentes, hipótese que ficou conhecida como **biogênese** (do grego, bíos = vida; génesis = origem, formação). Já a da geração espontânea passou a ser chamada de **abiogênese** (do grego, a = prefixo de negação).

Pasteur era adepto da hipótese da biogênese e, para ele, os microrganismos presentes no ar, ao entrarem em contato com a solução nutritiva dos frascos abertos, proliferavam. Para testar essa hipótese, ele fez adaptações nos experimentos de Spallanzani a fim de responder às principais críticas feitas a eles – de que o uso de frascos hermeticamente fechados tornava o ar desfavorável à vida e de que a fervura destruía a "força vital" da solução. Para isso, as soluções nutritivas foram fervidas em balões de vidro com pescoço de cisne, que permitiam o contato com o ar externo ao recipiente (**Fig. 5.2**).



Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Figura 5.2 Representação esquemática simplificada dos experimentos de Pasteur usando balões com pescoço de cisne. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

O gargalo estreito em forma de S do frasco reduz o movimento do ar e permite a passagem de modo lento, por difusão. Nesse ritmo lento, os microrganismos se depositam na parte inferior da curva em S do pescoço e não chegam até o líquido. A curva em S do pescoco forma um filtro que impede a entrada de microrganismos, mas permite a entrada e saída do ar. Com isso, Pasteur verificou que, mesmo após algum tempo, os microrganismos ficam retidos no filtro formado pelas gotículas de água e não conseguem chegar ao líquido nutritivo, que permanece estéril. Porém, nos balões em que o pescoco foi quebrado, os microrganismos presentes no ar puderam entrar em contato com o líquido nutritivo, onde proliferaram ao encontrar condições adequadas. A contaminação também ocorreu em balões mantidos intactos, mas em que o líquido, após o resfriamento, foi colocado em contato com a curva em S do pescoço, indicando que esse local realmente retinha os microrganismos. Dessa maneira, Pasteur concluiu que o ar contém microrganismos que se desenvolvem no líquido nutritivo e que não há uma "força vital", como diziam os defensores da abiogênese. Como o ar não foi impedido de entrar e sair dos frascos, não houve alteração da sua qualidade que pudesse impedir o desenvolvimento dos microrganismos.

:: Indícios dos primeiros seres vivos

A partir dos experimentos de Pasteur, a hipótese da biogênese ganhou mais força no meio científico, apesar de alguns pesquisadores ainda defenderem a teoria da geração espontânea, o que causou debates calorosos por mais algum tempo.

No entanto, a aceitação da biogênese gerou um novo questionamento: se todos os seres vivos surgem de outros preexistentes, como surgiu o primeiro? Para responder a essa questão, precisamos considerar o que já discutimos nos temas anteriores sobre a origem do Sistema Solar, da Terra, das moléculas orgânicas e possibilidades de organização dessas moléculas em células e da composição da atmosfera terrestre. Além disso, precisamos também encontrar evidências da presença de seres vivos ou da atividade metabólica deles, registradas em rochas.

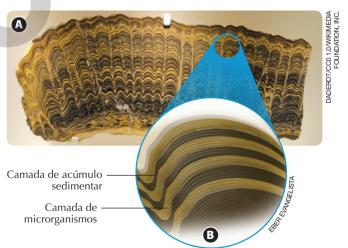
Os dados indicam que é provável que a Terra em seu início fosse extremamente quente, mas, depois, tenha passado por um resfriamento gradual. Durante esse processo teria havido o resfriamento de magma, dando origem à crosta terrestre e às rochas. As rochas, estruturas que guardam registros importantes do nosso passado, começaram a se formar logo após o endurecimento da crosta, e a mais antiga rocha encontrada até o momento, no Cinturão de Rochas de Nuvvuagittuq, Canadá, tem 4,28 bilhões de anos.

Os gases da atmosfera teriam se formado a partir de uma mistura da composição gasosa primordial da nebulosa protoestelar e dos gases que foram liberados nas erupções vulcânicas e teriam ficado retidos por ação da força da gravidade, passando a compor a atmosfera primitiva (**Fig. 5.3**). A composição química dessa atmosfera tem sido estimada pela análise dos gases e elementos retidos em rochas muito antigas, mas ainda há controvérsias, especialmente para idades mais antigas que 3,8 bilhões de anos. Todas as hipóteses concordam em que não havia gás oxigênio ou, se ele estivesse presente, seu teor seria muito baixo. Provavelmente, a atmosfera era muito mais rica em gás carbônico (CO₂) que a atual, talvez chegando a 20 ou 30%, o que influenciaria o efeito estufa da época.



Figura 5.3 Reconstituição artística das prováveis condições do ambiente da Terra há cerca de 3,9 bilhões de anos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Os primeiros indícios de vida foram encontrados em rochas que datam de 3,8 bilhões de anos, na Groenlândia, e baseiam-se em formas do carbono que representam a atividade metabólica de seres vivos. Já fósseis de células foram encontrados em rochas datadas de 3,5 bilhões de anos, conhecidas como **estromatólitos** (do grego, *strôma* = cama; *líthos* = rocha) (**Fig. 5.4**), estruturas sedimentares formadas por atividade bacteriana. Esses microrganismos formam colônias laminares e retêm sedimentos marinhos. As bactérias migram constantemente para fora da camada e multiplicam-se, e novamente ocorre a sedimentação.



Fonte: LAHR, D. J. G. A evolução da vida em um planeta em constante mudança. *In*: GALANTE, D. (org.). *Astrobiologia*: uma ciência emergente. Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia. São Paulo: Tikinet. IAG/USP, 2016. Disponível em: https://www.iag.usp.br/astronomia/sites/default/files/astrobiologia.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2020.

Figura 5.4 (A) Fotografia de estromatólito fóssil, no Museu de Ciência Natural, Texas, Estados Unidos, 2012. **(B)** Representação esquemática da organização de um estromatólito, mostrando a camada de acúmulo sedimentar e a camada de microrganismos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O processo se repete ao longo do tempo, formando as lamelas típicas dos estromatólitos: faixas claras, que correspondem às colônias de bactérias, e faixas escuras, que resultam da consolidação de sedimentos depositados.

Essas formações fósseis foram mais abundantes no período geológico compreendido entre 2 bilhões de anos e 1 bilhão de anos atrás, mas ainda há, nos dias de hoje, estromatólitos recentes sendo formados, como os encontrados na baía dos Tubarões (*Shark Bay*), na Austrália (**Fig. 5.5**), e em regiões hipersalinas no estado do Rio de Janeiro. (**Fig. 5.6**).



Figura 5.5 Estromatólitos recentes, baía dos Tubarões, Austrália, 2016. Eles apresentam aspecto colunar, sendo sua porção basal a mais antiga.



Figura 5.6 Estromatólitos encontrados no município de Campos dos Goytacazes, RJ (2018).

Os fósseis de 3,5 bilhões de anos encontrados em estromatólitos na Austrália parecem ser de seres fotossintetizantes produtores de gás oxigênio. Como esse gás não ocorria na atmosfera primitiva, esses organismos não devem ter sido os primeiros a surgir. Indícios de atividade metabólica em rochas que datam de 3,8 bilhões de anos levam a supor que a vida deve ter surgido até mesmo antes de 4 bilhões de anos. Somente a partir do surgimento de seres fotossintetizantes é que o gás oxigênio (O2) começou a se acumular no meio, inicialmente na água e depois na atmosfera. A data do acúmulo desse gás na atmosfera tem sido estimada com base na análise de rochas com minerais como o ferro, que, oxidado, forma hematita (Fe₂O₃). Depósitos de hematita são encontrados apenas em rochas mais recentes do que 2,3 bilhões de anos. Assim, por volta dessa data, O₂ começa a se acumular na atmosfera. O surgimento desse gás causou inicialmente grande mortalidade de organismos, pois ele pode provocar danos ao metabolismo celular. Alguns organismos ficaram restritos a ambientes anaeróbios e outros passaram a fazer uso desse gás em um novo processo metabólico: a respiração aeróbia. A partir de então, com o surgimento do metabolismo aeróbio, a diversidade de vida aumentou muito. O gás oxigênio propiciou também a formação do escudo de ozônio, importante filtro da radiação ultravioleta, o que reduziu o efeito deletério dessa radiação nos seres vivos. Isso foi importante na evolução da vida no ambiente terrestre.

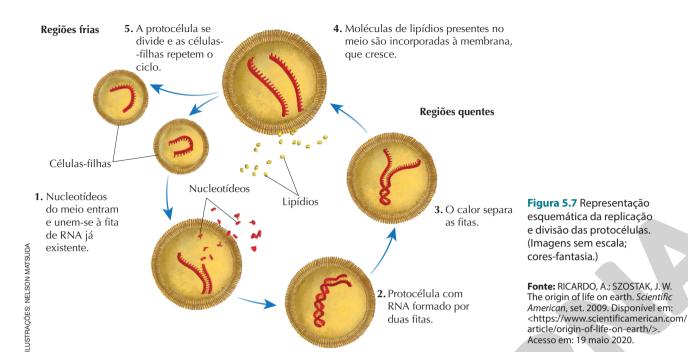
:: Como teriam se formado as primeiras células?

As hipóteses apresentadas no Tema anterior abordavam basicamente a possibilidade de formação de moléculas orgânicas pequenas e o modo como teriam surgido compostos mais complexos a partir delas, além de algumas hipóteses de como poderia ter surgido uma organização em forma de vesícula delimitada por membrana fosfolipídica. Agora, vamos aprofundar um pouco mais as hipóteses de como teriam se formado as primeiras células e como teria se organizado o seu material genético.

Entre os estudos que investigam esse assunto, podem ser citados aqueles realizados em 1966 pelo químico inglês Leslie Orgel (1927-2007) e sua equipe. Eles conseguiram sintetizar pequenas moléculas de RNA usando apenas nucleotídeos de RNA e argila do tipo montmorilonita como catalisador. Essa escolha foi pautada na hipótese de que na Terra primitiva deve ter existido argila e outros tipos de minerais em abundância, que podem ter atuado como catalisadores. O biólogo inglês Jack Szostak (1952-) e sua equipe realizaram outros experimentos também usando a argila montmorilonita, mas agora não apenas para formar RNA, como também para catalisar a formação de compartimentos delimitados por membrana fosfolipídica e contendo moléculas de RNA. Eles chamaram essas vesículas de **protocélulas**. Nos experimentos, verificaram também que as protocélulas aumentavam de tamanho e passavam a se fragmentar em várias protocélulas menores, que repetiam esse ciclo.

Com esses e outros estudos, Szostak e equipe elaboraram um modelo para explicar como a protocélula se divide e replica a molécula de RNA (**Fig. 5.7**). Nesse modelo, os nucleotídeos incorporados emparelham-se com os nucleotídeos do RNA já existentes. Depois, essas fitas se separam e, quando ocorre a divisão, cada protocélula-filha recebe uma cópia da molécula de RNA, e o ciclo recomeça. Esse ciclo depende de alterações ambientais; assim, o emparelhamento dos nucleotídeos ocorreria em regiões mais quentes e a divisão, em locais frios. Por seus trabalhos, Szostak recebeu, em 2009, o Prêmio Nobel em Fisiologia ou Medicina.

Esse modelo reforça a proposta, feita na década de 1960 pelo microbiologista estadunidense Carl Woese (1928-2012), pelo biólogo e biofísico britânico Francis Crick (1916-2004) e pelo químico Leslie Orgel, de que o primeiro material genético das células teria sido o RNA.



Mais de duas décadas depois, em 1986, o bioquímico estadunidense Walter Gilbert (1932-) usou pela primeira vez a expressão "mundo de RNA" referindo-se a um período hipotético na evolução da vida, em que surgem as primeiras células contendo apenas o RNA como material genético. Esse RNA teria acumulado as funções de conter a informação genética e também de atuar como enzima.

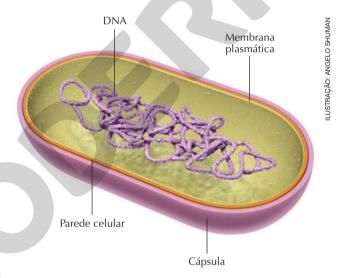
De acordo com essa hipótese, o DNA teria surgido depois e dado origem ao "mundo do DNA", que perdura até hoje. É importante registrar que todas essas propostas são hipóteses que continuam a ser testadas e que o debate científico ainda está em aberto.

:: Evolução da célula

Os registros fósseis indicam que as primeiras células que surgiram eram **procarióticas** (do latim, *pro* = antes ou primeiro; do grego, kárion = núcleo), em que o material genético se encontra no citoplasma. Os organismos que possuem célula procariótica são chamados procariontes ou procariotos.

Dados moleculares atuais propõem que dois grupos distintos de procariontes divergiram muito cedo na história evolutiva da vida: o grupo Bacteria (Fig. 5.8) e o Archaea. Os procariontes atuais mais pesquisados pertencem ao grupo das bactérias.

Só mais tarde na história da vida surgiram as células com organelas membranosas e com o material genético contido no núcleo, estrutura delimitada pelo envelope nuclear formado por membranas lipoproteicas. Esse tipo de célula é chamado **eucariótica** (do grego, eu = verdadeiro; kárion = núcleo), e os organismos que a possuem são chamados eucariontes ou eucariotos. Estes devem ter surgido por volta de 1,8 bilhão de anos, data do primeiro registro fóssil desse tipo celular.



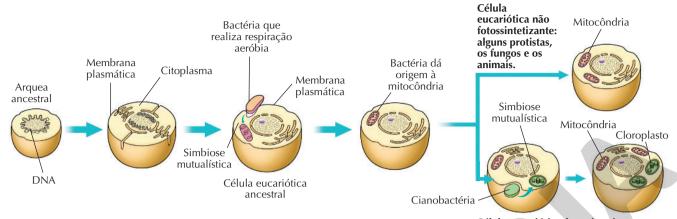
Fonte: TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Microbiologia. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

article/origin-of-life-on-earth/> Acesso em: 19 maio 2020.

Figura 5.8 Representação esquemática de célula bacteriana. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Células eucarióticas provavelmente surgiram a partir de um grupo ancestral de arquea que teria perdido a parede celular. Depois, a membrana plasmática teria passado a apresentar dobramentos que propiciaram o aumento do tamanho da célula, dando início à diferenciação do núcleo e das organelas membranosas, como retículo endoplasmático e complexo golgiense.

Ao longo desse processo, teria ocorrido a associação por simbiose mutualística dessa célula com um grupo específico de bactérias que já realizava a respiração aeróbia. Essa associação foi benéfica para ambos e se manteve ao longo do tempo. Esse grupo de bactérias simbióticas deu origem à mitocôndria, processo conhecido como hipótese endossimbiótica (ou simbiogênese) da origem da mitocôndria. Dessa linhagem teria derivado a maioria dos seres heterótrofos, como amebas, fungos e animais. Depois de formada a mitocôndria, teria ocorrido outro evento de endossimbiose, agora com cianobactérias, seres que já realizavam a fotossíntese, que deram origem aos cloroplastos. Dessa linhagem teriam derivado os eucariontes fotossintetizantes (**Fig. 5.9**).



Fonte: REECE, J. B. et al. Biologia de Campbell. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.

Célula eucariótica fotossintetizante: eucariontes clorofilados (plantas, por exemplo).

Figura 5.9 Representação esquemática da hipótese da origem das células **eucarióticas**. Na imagem, as células foram representadas em corte para visualização das estruturas internas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A hipótese da origem endossimbiótica de mitocôndrias e cloroplastos foi formulada pela primeira vez em 1910 pelo biólogo russo Konstantin Mereschkowsky (1855-1921) e resgatada e aperfeiçoada na década de 1960 pela bióloga estadunidense Lynn Margulis (1938-2011).

Existem fortes evidências a favor dessa hipótese, tornando-a muito bem aceita na comunidade científica. A primeira delas é a presença de dupla membrana nessas organelas, enquanto as demais organelas são delimitadas por apenas uma. A segunda evidência refere-se ao fato de que os atuais cloroplastos e mitocôndrias (**Fig. 5.10**) são as únicas estruturas citoplasmáticas que têm seu próprio material genético e são capazes de se dividir independentemente da divisão da célula. Parte das funções dessas organelas, no entanto, depende do material genético nuclear. Por isso, mitocôndrias e cloroplastos não podem se manter funcionais fora das células, sendo dependentes delas.

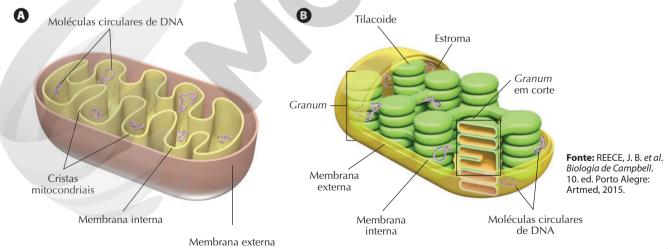


Figura 5.10 Representação esquemática de (**A**) mitocôndria em corte e de (**B**) cloroplasto em corte. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

A terceira evidência refere-se, justamente, à presença de trechos do DNA desses procariontes ancestrais incorporados ao DNA nuclear do eucarionte. Está bem estabelecido hoje que, no processo de endossimbiose, parte do material genético dos procariontes passou para o núcleo da célula e se incorporou ao DNA nuclear.

Atualmente, considera-se que bactérias, arqueas e todos os eucariontes compõem categorias taxonômicas acima do nível de Reinos: a de Domínios. Assim, há três Domínios: Bacteria, Archaea e Eukarya. A **figura 5.11** representa uma hipótese simplificada de relações evolutivas, evidenciando que, de um ancestral comum, duas linhagens teriam derivado: a que deu origem às bactérias e a que deu origem às arqueas e aos eucariontes. Estes divergiram depois, a partir de outro ancestral comum, de modo que arqueas e eucariontes são mais próximos evolutivamente entre si do que são das bactérias.

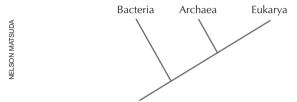


Figura 5.11 Prováveis relações de parentesco entre os grupos Bacteria, Archaea e Eukarya.

:: Surgimento dos multicelulares eucariontes

Outro grande evento evolutivo na história da vida foi a origem dos seres multicelulares eucariontes. Muitas evidências apoiam a hipótese de que a multicelularidade surgiu de modo independente em vários grupos de eucariontes, não devendo ter sido um evento único. Em todos esses casos, seres multicelulares surgiram a partir de unicelulares eucariontes, cujas células teriam ficado unidas após sucessivas divisões celulares. Além de unidas, essas células teriam passado a apresentar divisão e cooperação de trabalho entre elas, de modo que cada célula não pôde mais viver de forma independente.

Não se sabe exatamente quando esses eventos podem ter ocorrido, mas os primeiros fósseis de multicelulares eucariontes conhecidos são de pequenas algas marinhas, que datam de 1,2 bilhão de anos. Só a partir desse período, fósseis de seres multicelulares de maior porte começaram a aparecer.

Uma grande diversificação da vida ocorreu no período entre 570 milhões e 530 milhões de anos atrás, conhecido como **explosão do Cambriano**. Em um período geológico relativamente curto surgiu a maioria dos grupos animais hoje existentes e muitos grupos de plantas.

A colonização do ambiente terrestre pelos multicelulares ocorreu depois, por volta de 420 milhões de anos atrás. Os fungos e as plantas foram os primeiros a ocupar o ambiente terrestre, seguidos pelos animais. Evidências moleculares indicam que os fungos têm parentesco evolutivo mais próximo com os animais do que com as plantas.

Um resumo dos principais acontecimentos sobre a vida ao longo do tempo geológico está apresentado na **Fig. 5.12**.

Figura 5.12 Representação de alguns dos eventos que ocorreram na Terra ao longo do tempo geológico (ma = milhões de anos). (Imagens sem escala; cores-fantasia).

9 ERA PALEOZOICA

Período Cambriano 542 a 488.3 ma

Explosão do Cambriano, com grande diversificação de seres vivos aquáticos: animais e algas.



Período Ordoviciano

488,3 a 443,7 ma

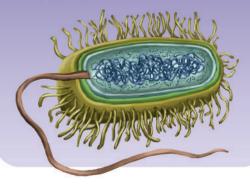
Primeiras plantas terrestres: as briófitas. Diversificação de invertebrados marinhos, mas muitas espécies desapareceram no final do período.



o PRÉ-CAMBRIANO

4.600 a 540 ma

3,8 bilhões de anos atrás: origem da vida procariótica; 2,5 bilhões de anos atrás: surgimento dos eucariontes; 670 milhões de anos atrás: os primeiros fósseis de multicelulares.



Período Siluriano 443,7 a 416 ma

Diversificação dos primeiros peixes. Primeiras plantas com tecido condutor de seiva no ambiente terrestre. Colonização do ambiente terrestre por artrópodes.

Período Devoniano 416 a 359,2 ma

Grande diversificação de animais, plantas terrestres, peixes e invertebrados marinhos. No final do período. houve um evento de extinção em massa.

Período Carbonífero

259,2 a 299 ma

Predomínio de extensas florestas. Primeiras plantas com sementes. "Idade dos anfíbios": diversificação desses animais. Primeiros répteis. Diversificação de insetos.

Período Permiano

299 a 251 ma

Grande diversificação de répteis e redução na diversidade de anfíbios. No final do período, houve um evento de extinção em massa.

ERA PALEOZOICA

ERA MESOZOICA

Período Triássico

251 a 199.6 ma

Surgimento dos dinossauros, pterossauros, crocodilos e outros grupos de répteis. Surgimento dos mamíferos.

Período Jurássico 199,6 a 145,5 ma

"Idade dos répteis": grande diversificação dos dinossauros. Surgimento das aves.

Período Cretáceo 145,5 a 65,5 ma

Surgimento de plantas com flores (angiospermas). Ao final do período, houve um evento de extinção em

massa, incluindo a dos dinossauros.

ERA MESOZOICA

ERA CENOZOICA

Pré-Cambriano

Cambriano

Ordoviciano

Siluriano

Devoniano

Carbonífero

Permiano

Triássico

Jurássico Cretáceo Terciário Quaternário

Período Terciário

65,5 a 2,5 ma

Dividido em cinco épocas: Paleoceno (de 65,5 a 2,5 ma), Éoceno (de 55,5 a 33,9 ma), Oligoceno (de 33,9 a 23 ma), Mioceno (de 23 a 5,3 ma) e Plioceno (de 5,3 a 2,5 ma). Grande diversificação de mamíferos e angiospermas. Aparecimento dos primeiros hominídeos, os australopitecíneos.



O ERA CENOZOICA

Período Quaternário

2,5 ma até o presente

Dividido em duas épocas: Pleistoceno (de 2,5 ma a 11.700 anos) e Haloceno (de 11.700 anos até hoje). A primeira, conhecida como "Idade do gelo" em razão das glaciações frequentes, foi caracterizada pela existência dos grandes mamíferos, como mamutes e tigres-dente-de-sabre, além do aparecimento de diversas espécies do gênero Homo. A segunda abrange a evolução da humanidade.





A origem do Universo para os indígenas

As cosmologias indígenas representam modelos complexos que expressam suas concepções a respeito da origem do Universo e de todas as coisas que existem no mundo. [...]

Para muitas sociedades indígenas, o cosmos está ordenado em diversas camadas, onde se encontram divindades, fenômenos atmosféricos e geográficos, animais e plantas, montanhas, rios, espíritos de pessoas e animais, ancestrais humanos, entes sobrenaturais benévolos e malévolos.

[...] Para exemplificar, apresentamos, resumidamente, o mito de origem dos índios Arara, grupo de língua Karib. Para eles, quando essa vida ainda não havia começado, existiam somente o céu e a água. Separando-os, uma pequena casca que recobria o céu e servia de assoalho a seus habitantes. Na casca do céu a vida era plena, pois havia de tudo para todos. [...] Se alguém cometesse algum excesso, contrariando as normas, a divindade fazia soar uma pequena flauta, chamando a atenção de todos para que se comportassem de acordo com a boa ordem. Fora da casca do céu, existiam coisas ruins, seres atrozes e espíritos maléficos, contra os quais a boa humanidade estava protegida por Akuanduba.

Houve um dia, no entanto, que ocorreu uma grande briga da qual participou muita gente. A divindade fez soar a flauta, mas a multidão teimosa não quis parar de brigar. Nessa confusão, a casca do céu se rompeu, lançando tudo e todos para longe, para dentro da água que envolvia a casca.

Com a queda, todos perderam e todos os velhos e crianças morreram, restando apenas uns poucos homens e mulheres. Dos sobreviventes, alguns foram levados de volta ao céu por pássaros amazônicos, onde se transformaram em estrelas. Os que ficaram foram abandonados pelos pássaros nos pedaços da casca do céu que caíram sobre as águas. Assim, surgiram os Arara que, para se manter afastados das águas, escolheram ocupar o interior da floresta.

Até hoje, os Arara, habitantes do vale dos rios Iriri-Xingu, no Estado do Pará, assobiam chamando as araras quando as veem voando em bandos por sobre a floresta. Quando pousam no alto das árvores, as araras, por sua vez, observam os índios e, ao notarem o quanto eles cresceram, desistem de levá-los de volta ao céu. [...]

Os Arara, que antes viviam como estrelas, estão agora condenados a viver como gente, tendo que perseguir o alimento de cada dia em meio aos perigos que existem sobre o chão.

BRASIL. Museu do Índio. *Mito e cosmologia*. Disponível em: http://www.museudoindio.gov.br/educativo/pesquisa-escolar/245-mito-ecosmologia>. Acesso em: 19 maio 2020.

:: Dinâmica da Terra e a evolução biológica

A Terra foi e ainda é um planeta em transformação. Elas ocorreram não apenas na distribuição dos mares e das terras e na composição da atmosfera, mas também no clima.

A partir da solidificação da crosta terrestre no início da formação de nosso planeta, grandes massas de terra, chamadas **placas litosféricas**, se formaram e, desde então, movimentam-se em função de processos que ocorrem no manto. A espessura dessas placas é variável. As porções das placas que formam o fundo dos mares, por exemplo, podem ser muito delgadas, com cerca de 10 km de espessura, enquanto as porções que formam regiões montanhosas chegam a ter 250 km de espessura.

Essas placas não estiveram sempre na posição mostrada no mapa (**Fig. 5.13**). No início do Triássico, por exemplo, havia apenas um supercontinente: a **Pangeia** (do grego, *pan* = Terra; *geia* = toda), que começou a se separar em dois continentes, **Laurásia** e **Gondwana**, no final desse período. No final do Jurássico, a Laurásia já estava dividida em dois continentes, América do Norte e Europa. Gondwana, mais afastada para o sul, deu origem a América do Sul, África, Índia, Antártida e Austrália.



Fonte: KEAREY, P.; KLEPEIS, K.; VINE, F. V. Tectônica global. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

As movimentações das placas litosféricas causaram grande impacto na evolução dos seres vivos. Elas provocaram a separação das populações em continentes diferentes, participando do complexo processo de formação de novas espécies. Desse processo também participaram as modificações das condições climáticas que ocorreram ao longo do tempo geológico com períodos mais quentes, outros mais frios, períodos mais secos, outros mais úmidos, nível do mar mais alto ou mais baixo, entre muitas outras. Desde a origem dos primeiros seres vivos, há interação entre eles e o ambiente, e essa interação foi e é fundamental para se entender a evolução da vida. Essas interações, no entanto, não são as únicas que participam do processo de evolução dos seres vivos.

A **evolução** é um processo em que populações de uma mesma espécie apresentam mudanças ao longo das gerações, diferenciando-se a ponto de poderem dar origem a novas espécies. A abordagem evolutiva procura explicar as modificações dos organismos ao longo do tempo e a origem da diversidade dos seres vivos que vemos na natureza.

O entendimento de que as populações de seres vivos evoluem passou por uma longa discussão envolvendo pesquisadores e sociedade. A aceitação das ideias evolutivas não foi fácil, nem livre de disputas acirradas. Até hoje há correntes que contestam a evolução, pautando-se em explicações que eram bastante comuns até meados do século XIX. Essas formas de pensar defendem a criação divina dos seres vivos, corrente chamada **criacionismo**, em que eles, uma vez criados, não mudam ao longo do tempo, falando-se em **fixismo**. Apesar da existência dessas interpretações ainda nos dias de hoje, as ideias evolutivas são as mais amplamente aceitas na comunidade científica e são a base dos estudos atuais na área.

A seguir, vamos destacar três naturalistas que foram importantes na compreensão dos processos evolutivos, Lamarck, Darwin e Wallace, e analisar brevemente a síntese moderna da evolução.

As ideias de Lamarck

O naturalista francês Jean-Baptiste **Lamarck** (1744-1829) foi o primeiro pesquisador a propor um sistema teórico completo para explicar a evolução biológica, pautando-se em fenômenos observáveis da natureza. Embora nem ele nem Darwin ou Wallace usassem a palavra evolução em suas obras, esse conceito estava subentendido.

Como muitos em sua época, Lamarck era adepto da geração espontânea, mas, ao contrário da maioria, ele só admitia a geração espontânea para seres considerados simples. Com base em seus estudos e nas discussões então vigentes, passou a propor explicações de como poderiam ocorrer, ao longo do tempo, as modificações dos organismos mais complexos. Em seu trabalho publicado em 1809 na revista *Philosophie Zoologique* (*Filosofia Zoológica*), a composição teórica sobre a progressão dos seres vivos foi ampla, tendo recebido maior destaque duas de suas

leis: a lei do uso e desuso – o uso de determinadas partes do corpo faz com que elas se desenvolvam e o desuso faz com que elas se atrofiem – e a lei da herança dos caracteres adquiridos – as características que os indivíduos adquirem em sua vida são passadas aos descendentes. Elas ficaram conhecidas como as **leis de Lamarck**.

Um dos exemplos mais clássicos dessas leis é a herança do pescoço da girafa, que reproduzimos aqui:

A girafa, por viver em lugares onde o solo é invariavelmente seco e sem capim, foi obrigada a comer folhas e brotos no alto das árvores, sendo forçada, continuamente, a se esticar para cima. Esse hábito, mantido por longo período de tempo por todos os indivíduos da raça, resultou nas pernas anteriores se tornarem mais longas que as posteriores e o pescoço tão alongado que a girafa pode levantar a cabeça a uma altura maior que cinco metros, sem tirar as pernas anteriores do solo.

LAMARCK, J. B. Philosophie Zoologique, 1809. *In*:
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. *Reflexões sobre a educação no próximo milênio*. Brasília, 1998. p. 89.
Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/me002688.pdf>.
Acesso em: 16 jun. 2020.

Hoje se sabe que as girafas se alimentam também de arbustos e que o longo pescoço parece se relacionar com a disputa "a pescoçadas" entre os machos pelas fêmeas e também com o fato de permitir avistar os predadores a distância, como uma torre de observação (Fig. 5.14).



Figura 5.14 Girafas machos em disputa por fêmea para acasalamento. Esses animais medem cerca de 4 m de altura.

Lamarck, no entanto, não se baseou somente nesse exemplo, mas em muitos outros.

Somente muito mais tarde os cientistas puderam contestar a herança dos caracteres adquiridos. Uma pessoa que pratica atividade física, por exemplo, terá musculatura mais desenvolvida, mas essa condição não é transmitida aos seus descendentes. Essa contestação, no entanto, não deve fazer com que Lamarck seja reconhecido como um cientista que errou, e sim como um dos mais importantes cientistas da história da Biologia graças às suas cuidadosas observações da natureza, que registrou em muitos livros.

As ideias de Darwin e Wallace

Os evolucionistas ingleses Charles Robert **Darwin** (1809-1882) (**Fig. 5.15**) e Alfred Russel **Wallace** (1823-1913) (**Fig. 5.16**), trabalhando de modo independente, formularam ideias muito semelhantes entre si que embasam o pensamento evolucionista mais aceito atualmente: as espécies mudam ao longo do tempo, ou seja, evoluem, e esse processo ocorre por meio da **seleção natural**.

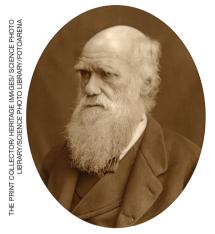


Figura 5.15 Charles Robert Darwin. Fotografia feita em 1878.



Figura 5.16 Alfred Russel Wallace. Fotografia feita em 1912.

As ideias de Darwin e Wallace foram apresentadas à comunidade científica em um mesmo evento, em 1858. No ano seguinte, Charles Darwin publicou a primeira edição do livro que começaria a mudar a história da Biologia: *A origem das espécies por meio da seleção natural*.

Prática investigativa

Jogo presa-predador



Antes de iniciar a atividade, reúna-se em grupo, leia todo o procedimento e consulte o infográfico **Segurança no laboratório**, no início deste volume.

Entre muitos fatores que se relacionam com a sobrevivência das espécies e sua evolução, está a obtenção de alimentos. Em muitos casos, a obtenção de alimentos estabelece a relação presa-predador. Assim, as estratégias de sobrevivência do predador e da presa se relacionam diretamente, e essa interação faz parte do processo de evolução das espécies envolvidas.

Nesta atividade, por meio de um jogo, simularemos a relação presa-predador e analisaremos, em dois cenários distintos, como a ação de predadores pode influenciar a fixação de características na população de presas.

Objetivo

 Simular o que pode acontecer com as características dos indivíduos que compõem uma população de presas, em função da ação de predadores, em diferentes ambientes.

Material

- Cartolina branca
- · Cartolina vermelha
- Tesoura com pontas arredondadas
- Régua
- Lápis
- Caderno para anotações
- Cronômetro

Prepare-se!

1. Supondo uma população inicial de presas em que há indivíduos com pelos brancos e indivíduos com pelos vermelhos em iguais proporções, o que ocorreria com essa população, diante de seus predadores, se ela passasse a viver em um local onde o meio é predominantemente branco e em outro predominantemente vermelho? Justifiquem.

Procedimento

Montagem dos tabuleiros e das peças

 Recortar um quadrado de 30 cm de lado da cartolina branca e outro da cartolina vermelha. Eles serão os tabuleiros. Recortar 50 quadrados brancos e 50 quadrados vermelhos com 1 cm de lado. Eles são as peças e representarão as presas.

Como jogar

- Reúnam-se em grupos de, no máximo, cinco integrantes.
- Todos os grupos devem começar e terminar cada rodada juntos e sob a direção do professor.
- Sobre o tabuleiro branco, espalhem 12 quadrados vermelhos e 12 brancos. Cuidado para não deixarem um encobrir o outro.
- Serão feitas cinco rodadas de 10 segundos cada uma. Utilizem o cronômetro para marcar o tempo. Em cada rodada, uma pessoa do grupo assumirá o papel de predador. O objetivo do predador será retirar do tabuleiro, um a um, o maior número possível de quadrados (não importa a cor), em um intervalo de tempo de 10 segundos. Depois disso, restarão apenas alguns quadrados sobre o tabuleiro, que representam as presas sobreviventes.
- Terminada essa rodada, as presas sobreviventes vão se reproduzir. Para representar esse proces-

- so, deve ser acrescentado um descendente (um quadrado da mesma cor) para cada sobrevivente da população de presas. Assim, se sobrarem dois quadrados brancos e três vermelhos, por exemplo, deverão ser acrescentados mais dois quadrados brancos e mais três vermelhos antes de começar a próxima rodada.
- Em cada rodada, no início e no final da sessão de captura, deve-se contar o número de indivíduos brancos e vermelhos sobre o tabuleiro, registrando em uma tabela o número de indivíduos capturados e o número de sobreviventes. Caso uma das variedades fique sem indivíduos, o jogo termina com a sua extinção.
- Uma vez completados os cinco ciclos de captura e reprodução (gerações), deve-se repetir todo o processo, usando o tabuleiro vermelho.
- Vejam, a seguir, um modelo de tabela. Reproduzam-no no caderno e preencham com os dados obtidos pelo grupo. As colunas G1, G2, G3, G4 e G5 correspondem às cinco gerações, ou ciclos de captura e reprodução.

	1ª etapa: tabuleiro branco					2ª etapa: tabuleiro vermelho						
		G1	G2	G3	G4	G5		G1	G2	G3	G4	G5
	Inicial	12					Inicial	12				
Brancos	Capturados						Capturados					
	Sobreviventes						Sobreviventes					
	Inicial	12					Inicial	12				
Vermelhos	Capturados			OF	EL		Capturados			OD	EL	
	Sobreviventes						Sobreviventes					
COLLO												

Discuta com seus colegas

- 1. Com os dados da tabela, montem gráficos de linha (um para cada tabuleiro) com os números iniciais das cinco gerações, para indivíduos brancos e vermelhos, separadamente. Notem que em cada gráfico aparecerão dois traçados, um para cada variedade de cor. Comparem os traçados, associando a cor dos indivíduos com a cor do tabuleiro.
- 2. Calculem as porcentagens de indivíduos brancos e de indivíduos vermelhos (categorias) no início das diversas gerações e representem-nas em dois gráficos, sendo um para o tabuleiro branco e outro para o tabuleiro vermelho. Para fazer esses gráficos, vamos aprender a usar uma representação que se chama barras empilhadas. Para isso, considere que as diversas barras (em nosso caso, cinco) têm a mesma altura total, correspondendo a 100%. Cada uma é, então, subdividida em segmentos com alturas proporcionais às porcentagens das duas categorias (indivíduos brancos e indivíduos vermelhos).
- **3.** Comparem os resultados entre os tabuleiros. Alguma variedade de cor tornou-se majoritária no decorrer das gerações? Caso isso tenha acontecido, comparem a cor em questão com a cor do tabuleiro. As cores são iguais ou diferentes? Formulem uma explicação para isso.

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998

A teoria da evolução por seleção natural define a população como a unidade evolutiva e considera que os indivíduos de uma população não são idênticos entre si, havendo variações entre indivíduos distribuídas em certas proporcões. Essa teoria considera também que nascem mais indivíduos do que o ambiente pode suportar; assim, nem todos conseguem sobreviver. Aqueles com maiores chances de sobrevivência são os que têm também maiores chances de se reproduzir, passando as características vantajosas aos descendentes. Ao longo do tempo, esse processo resulta em modificações na população: as características selecionadas e a proporção com que elas ocorrem entre os indivíduos da população mudam. Assim, o meio é o agente que seleciona naturalmente aqueles indivíduos com características que lhes conferem maiores chances de sobrevivência e reprodução em uma dada condição ambiental. Essas características selecionadas são consideradas adaptações àquela condição. Mudando a condição ambiental, alteram-se as características selecionadas e a proporção com que elas ocorrem na população.

Para reforçar sua teoria, Darwin baseou-se também nas diferentes raças de animais e variedades de plantas que surgem por seleção artificial, isto é, feita pelo ser humano. Nesse caso, o ser humano seleciona para reprodução os indivíduos com características vantajosas, que devem ser mantidas na prole (reprodução seletiva). A seleção artificial é realizada pela humanidade desde a Antiguidade, dando origem a plantas e animais de interesse. Darwin argumentou que processo semelhante poderia ocorrer na natureza, só que sem uma finalidade e por ação do meio.

Exemplos de seleção natural

Coloração de advertência e mimetismo

Alguns animais produzem ou acumulam substâncias químicas nocivas e apresentam cores vistosas, característica chamada **coloração de advertência**, sinalizando que eles não devem ser ingeridos. Quando um predador tenta se alimentar de um desses organismos, aprende a não mais comer outro semelhante.

Um exemplo é a borboleta-monarca, que tem coloração laranja e preta, sendo um animal facilmente visível no ambiente. Essa espécie de borboleta produz substâncias que as tornam impalatáveis aos seus predadores. Eles aprendem a associar o padrão de coloração ao sabor desagradável e evitam capturar essas borboletas.

Existem casos de animais e de plantas palatáveis que se assemelham a outras espécies não palatáveis, o que confunde seus predadores. É o que ocorre com a borboleta-vice-rei, palatável a pássaros, que se assemelha à borboleta-monarca, não palatável. Esses casos são chamados de **mimetismo** (**Fig. 5.17**).



Figura 5.17 A borboleta-vice-rei (*Limenitis archippus*) (**A**) é um exemplo de mimetismo em relação à (**B**) borboleta-monarca (*Danaus plexippus*). Medem cerca de 4 cm de comprimento.

Camuflagem

A ação da seleção natural também é verificada no estabelecimento de características que tornam os organismos semelhantes a componentes abióticos do ambiente, de modo que passam despercebidos de seus predadores ou estes, de suas presas (**Fig. 5.18**).



ANDRE SEALE/ SPECIALIST STOCK
AGEOTOSTOCK/AGB PHOTO LIBRARY
ACKAINO Banal e Lei G 610 A1 0 A6 feagainn de 1 008



Figura 5.18 Linguado da espécie *Bothus lunatus* fotografado no Atol das Rocas (RN), a cerca de 3 m de profundidade. Esse peixe possui dois olhos do mesmo lado do corpo, uma característica adaptativa relacionada ao hábito de viver sobre o fundo. Ele vive sobre o substrato ou enterrado nele e tem capacidade de mudar de cor em função do ambiente. Essas duas fotografias foram tiradas em dois momentos: quando o animal estava sobre rochas recobertas por algas e corais (A) e quando passou para o fundo arenoso (B). A mudança de cor é rápida e propicia excelente camuflagem, que o deixa praticamente imperceptível. Com isso, são menos predados, o que aumenta a chance de sobrevivência e, consequentemente, a manutenção da habilidade de camuflagem na população. O linguado mede cerca de 40 cm de comprimento.

A síntese moderna da evolução

Para haver evolução é fundamental que exista variabilidade entre os indivíduos da população. Na época de Lamarck, Darwin e Wallace, as explicações a respeito do que gera a variabilidade e como ocorre a transmissão das características hereditárias ao longo das gerações eram ainda incipientes. Apesar disso, as ideias de Darwin acerca da evolução por seleção natural não foram comprometidas, pois ele apresentou dados abundantes e consistentes que as corroboraram.

A explicação mais completa a respeito do que gera a variabilidade na população e de como ocorre a transmissão das características hereditárias só surgiu mais tarde, com o desenvolvimento de uma área da Biologia chamada Genética, que depois seria substanciada pela **Biologia Molecular**. Foram necessárias décadas até que as noções dessa área fossem incorporadas às explicações evolutivas. Sabe-se, por exemplo, que o DNA é transmitido das gerações parentais para as novas gerações e que variações nas populações podem surgir por mutações, que são modificações no DNA.

Hoje se sabe que, além da seleção natural, existem outros fatores importantes nos processos evolutivos.

Durante a primeira parte do século XX, surgiu o que ficou conhecido como **neodarwinismo**, em que houve a incorporação da Genética e da Biologia populacional nos estudos da evolução, reconhecendo-se a importância da seleção natural e da mutação no processo evolutivo. Esse ponto de vista durou por muitas décadas, mas foi substituído por uma visão que incluiu outros mecanismos, além da mutação e da seleção natural, na explicação da evolução. A essa nova teoria deu-se o nome de **síntese moderna da evolução**.

Vários cientistas participaram da formulação da teoria moderna, destacando-se o geneticista russo Theodosius Dobzhansky (1900-1975), que emigrou para os Estados Unidos da América, o geneticista estadunidense Thomas Hunt Morgan (1866-1945), o também geneticista estadunidense Sewall Wright (1889-1988), o zoólogo alemão Ernst Mayr (1904-2005), o botânico estadunidense George Ledyard Stebbins (1906-2000) e o paleontólogo estadunidense George Gaylord Simpson (1902-1984).

A síntese moderna considera, além da seleção natural e da mutação, a migração, a deriva genética e valoriza a importância da reprodução sexuada na geração da diversidade genética.

A migração corresponde aos processos de entrada (imigração) ou saída (emigração) de indivíduos de uma população. Ela permite que se estabeleça fluxo gênico entre populações de mesma espécie, possibilitando diminuir as diferenças genéticas entre elas.

A deriva genética é considerada, nessa interpretação, tão importante quanto a seleção natural. Vamos comentar um pouco mais a respeito dela.

Deriva genética

A deriva genética corresponde a processos aleatórios que alteram a variabilidade genética de uma população sem relação com a adaptação dos indivíduos ao meio. Isso significa que, ao contrário da seleção natural, que não é um processo aleatório, a deriva genética ocorre totalmente ao acaso.

Um exemplo de deriva genética são as queimadas; em decorrência delas, são eliminados aleatoriamente indivíduos da população, e os que sobrevivem não são necessariamente os mais adaptados.

Em populações pequenas, os efeitos da deriva sobre a variabilidade genética são mais evidentes, pois, em algumas gerações, certas variações podem sumir e outras podem aumentar de frequência.

A primeira modalidade de deriva genética, chamada **efeito gargalo** (do inglês, *bottleneck*), decorre da redução de uma população inicial a uma ou mais populações pequenas. A variabilidade genética da(s) população(ões) resultante(s) desse processo provavelmente não será a mesma da população original.

A segunda modalidade de deriva genética é o **princípio do fundador**, que se refere ao estabelecimento de uma nova população, formada por poucos indivíduos que emigram de uma população original. Esses indivíduos serão portadores de pequena fração da variabilidade genética da população de origem.

O estabelecimento de populações pelo princípio do fundador é uma das maneiras mais comuns de dispersão de inúmeras espécies animais e de origem de novas espécies.

Especiação

O surgimento de novas espécies é chamado **especiação**.

Vamos analisar a especiação considerando organismos com reprodução sexuada em que se podem distinguir dois tipos principais de processos: a especiação alopátrica, ou geográfica, e a especiação simpátrica.

Na **especiação alopátrica** (do grego, *allos* = outro; *patrã* = pátria) ou **especiação geográfica** há o surgimento de faixas de território em que a permanência dos indivíduos da população inicial torna-se impossível, separando essa população em duas ou mais (**Fig. 5.19**). Quando isso ocorre, essas faixas desfavoráveis são denominadas **barreiras ecológicas** ou **barreiras geográficas**. Quando as barreiras são muito grandes e as áreas de sobrevivência são relativamente muito pequenas, estas recebem o nome de **refúgios**. As barreiras geográficas podem surgir decorrentes de eventos geológicos, como terremotos e formação de montanhas.

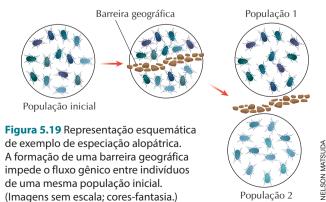


ILUSTRAÇÃO: EBER EVANGELISTA

As barreiras ecológicas impedem a troca de genes entre os indivíduos das populações por elas separadas. Dessa maneira, novas variedades genéticas surgidas em uma das populações não são transmitidas para a outra. Além disso, dificilmente as condições do ambiente nas áreas separadas pela barreira são exatamente as mesmas, o que determina diferentes pressões seletivas.

As populações assim separadas vão acumulando diferenças ao longo do tempo, podendo chegar a desenvolver mecanismos de isolamento reprodutivo. Quando isso acontece, considera-se que essas populações pertencem a espécies distintas.

As barreiras ecológicas não são necessariamente permanentes. Em determinado momento essas barreiras podem deixar de existir. Nesse caso, as populações que estavam separadas entrarão novamente em contato.

Dependendo do grau de diferenciação atingido durante o período de separação, podem resultar desse novo contato as seguintes alternativas:

 as diferenças se acumularam a tal ponto que não há cruzamento entre os indivíduos das populações por causa do desenvolvimento de mecanismos de isolamento reprodutivo; assim, cada uma das populações é considerada uma espécie distinta; as diferenças não foram suficientes para impedir o cruzamento entre os indivíduos das populações, pois não foram estabelecidos mecanismos de isolamento reprodutivo. Quando há fluxo gênico entre essas populações, elas não são consideradas espécies diferentes.

A **especiação simpátrica** (do grego, *sym* = junto) ocorre sem haver o isolamento geográfico. Em uma mesma população podem surgir mutações gênicas e modificações no comportamento que podem levar ao isolamento reprodutivo, formando novas espécies (**Fig. 5.20**).



Figura 5.20 Representação esquemática de exemplo de especiação simpátrica. Nessa população inicial hipotética, mutações deram origem a indivíduos de cor avermelhada, que passaram a ter comportamento seletivo na escolha de parceiros para acasalamento; após gerações, esses indivíduos formaram uma nova espécie, mesmo sem ter ocorrido isolamento geográfico. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

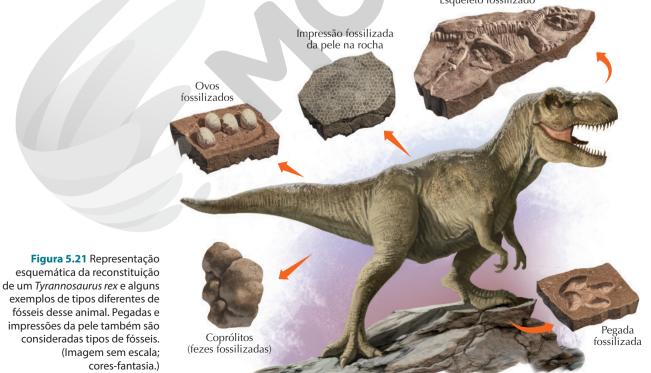
:: Evidências da evolução

Entender a evolução dos seres vivos e suas relações de parentesco exige a análise de muitas evidências. Entre elas, destacam-se os fósseis, as homologias, os órgãos vestigiais, as evidências moleculares e a embriologia comparada. Vamos comentar um pouco a respeito de cada uma delas.

Fósseis

É considerado fóssil (**Fig. 5.21**) qualquer indício da presença de organismos que viveram há mais de 11 mil anos na Terra.

Esqueleto fossilizado



Embora as partes duras do corpo dos organismos sejam frequentemente as mais conservadas nos processos de fossilização, existem casos em que a parte mole do corpo também é preservada. Entre os exemplos mais marcantes estão os mamutes congelados encontrados na região da Sibéria, na Rússia (**Fig. 5.22**), nos quais os tecidos moles foram preservados, e animais preservados em âmbar (resina endurecida de pinheiros) (**Fig. 5.23**).



Figura 5.22 Fóssil de filhote de mamute de aproximadamente 40 mil anos (1,5 m de comprimento) encontrado na região da Sibéria, Rússia, s/d.



Figura 5.23 Fóssil de crânio do menor dinossauro carnívoro da era Mesozoica embebido em âmbar. Estima-se que esse exemplar tenha vivido há mais de 99 milhões de anos. O crânio mede cerca de 1,4 cm de comprimento.

A importância do estudo dos fósseis para a evolução está na possibilidade de conhecermos organismos que viveram em épocas remotas da Terra e sob condições ambientais distintas das encontradas atualmente. Isso nos mostra que nosso planeta foi habitado por organismos diferentes dos atuais e que muitos deles têm semelhanças com espécies recentes, o que nos fornece indícios de parentesco evolutivo.

Homologia

Estruturas **homólogas** são aquelas que derivam de estruturas já existentes em um ancestral comum exclusivo, podendo ou não apresentar modificações relacionadas a uma mesma função.

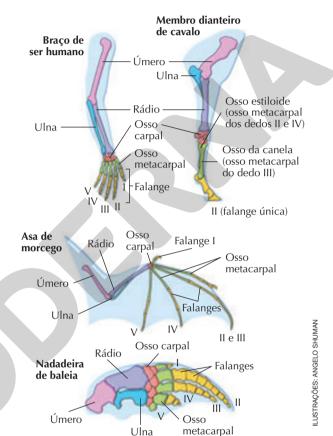
São exemplos de estruturas homólogas entre si os ossos dos braços dos seres humanos, dos membros anteriores dos cavalos, das asas dos morcegos e das nadadeiras das baleias (**Fig. 5.24**).

Os ossos dos membros anteriores dos mamíferos são homólogos porque derivam dos ossos dos membros anteriores do grupo ancestral que deu origem a esses organismos. Nesses casos, como essas estruturas não se relacionam com a mesma função nos organismos mencionados, dizemos que ocorreu **divergência evolutiva**, que pode originar grande variedade de formas adaptativas que exploram de maneira diversificada os recursos ou hábitat.

As estruturas que se assemelham por relacionarem-se à mesma função, mas que não apresentam ancestralidade comum, são chamadas **análogas**. Esse tipo de semelhança não é considerado nos estudos que visam estabelecer relações de parentesco evolutivo.

São análogas, por exemplo, as asas das aves e as dos insetos. Ambas se relacionam à mesma função, que é o voo, mas não são derivadas das mesmas estruturas presentes em um ancestral comum entre aves e insetos.

As estruturas análogas são fruto do que se chama **evolução convergente** (ou convergência evolutiva). Nesse processo, a semelhança se deve apenas à adaptação relacionada a uma condição ecológica parecida. A evolução dessas estruturas ocorre de forma independente em dois ou mais grupos de seres vivos que não possuem um ancestral comum mais recente.



Fonte: POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. *The nature of life*. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

Figura 5.24 Representação esquemática da homologia entre os ossos dos membros anteriores dos mamíferos. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Órgãos ou partes do corpo vestigiais

Órgãos ou partes do corpo vestigiais são estruturas reduzidas, frequentemente sem função conhecida, mas que se apresentavam completamente desenvolvidas e funcionais nos ancestrais.

Um exemplo de estrutura vestigial no ser humano é o cóccix, localizado na base da coluna vertebral. Ele é formado pela fusão de quatro vértebras e corresponde ao vestígio da cauda presente em outros mamíferos. Na evolução da linhagem que deu origem aos seres humanos, a cauda presente nos primatas foi perdida, e a retenção do cóccix é uma evidência de ancestralidade comum com esses organismos.

Evidências moleculares

Sabemos que todos os organismos com estrutura celular têm o DNA como material genético e apresentam o processo de transcrição, formando moléculas de RNA, e de tradução, formando proteínas. Portanto, o DNA, o RNA e as proteínas são moléculas presentes em todos os seres vivos e podem ser usadas em análises comparativas visando estabelecer o grau de parentesco entre espécies. Quanto maior for a semelhança nessas moléculas, maior será a proximidade evolutiva entre as espécies.

Embriologia comparada

O estudo comparado da embriologia de diversos animais mostra a grande semelhança de padrão de desenvolvimento inicial. À medida que o embrião se desenvolve, surgem características individualizantes e as semelhanças diminuem.

Quanto mais distante a ancestralidade comum entre duas espécies, menor é a semelhança no desenvolvimento embrionário.

Atividades

Registre em seu caderno

- (Enem) Em certos locais, larvas de moscas, criadas em arroz cozido, são utilizadas como iscas para pesca. Alguns criadores, no entanto, acreditam que essas larvas surgem espontaneamente do arroz cozido, tal como preconizado pela teoria da geração espontânea.
 - Essa teoria começou a ser refutada pelos cientistas ainda no século XVII, a partir dos estudos de Redi e Pasteur, que mostraram experimentalmente que
 - a) seres vivos podem ser criados em laboratório.
 - b) a vida se originou no planeta a partir de microrganismos.
 - c) o ser vivo é oriundo da reprodução de outro ser vivo preexistente.
 - d) seres vermiformes e microrganismos s\(\tilde{a}\)o evolutivamente aparentados.
 - e) Vermes e microrganismos são gerados pela matéria existente nos cadáveres e nos caldos nutritivos, respectivamente.
- **2.** Leia o texto a seguir, sobre as mitocôndrias, e faça o que se pede.
 - As mitocôndrias são organelas presentes em células eucarióticas e delimitadas por dupla membrana. São responsáveis pela respiração aeróbia. Têm dentro delas o próprio DNA.
 - a) Quais são as evidências da ocorrência de endossimbiose presentes no texto?
 - b) Explique a origem da mitocôndria por endossimbiose.
 - c) Cite outra evidência a favor da endossimbiose quando se analisa o DNA nuclear em eucariontes atuais.
 - d) Qual outra organela celular se origina por endossimbiose? Esquematize como esse processo ocorreu.
- **3.** Com relação ao processo evolutivo denominado deriva genética, responda:

- a) O que se entende por "efeito gargalo"?
- b) O que é o efeito fundador?
- c) Darwin observou bastante os tentilhões (aves) do arquipélago de Galápagos e notou diferenças em relação aos tentilhões continentais. Além da seleção natural, que pode ter selecionado fenótipos diferentes em ilhas com diferentes recursos à disposição desses animais, explicando as variações entre as ilhas, que processo evolutivo pode ter atuado para determinar as variações entre o arquipélago e o continente? De que forma esse processo teria atuado?
- **4.** A figura a seguir retrata uma coruja em um tronco de árvore, à espreita de possíveis presas.



Coruja em tronco de árvore.

Indique a alternativa que completa corretamente a frase. A foto reproduz um exemplo de que é uma condição adaptativa vantajosa, relacionada a um processo evolutivo não aleatório chamado

- a) mimetismo; seleção natural.
- b) camuflagem; seleção natural.
- c) camuflagem; deriva genética.
- d) mimetismo; mutação.
- e) coloração de advertência; seleção natural.

- 5. Dengue, chikungunya e zika são doenças graves que vêm avançando no Brasil. Uma das principais recomendações para evitar essas doenças é combater o inseto vetor, o *Aedes aegypti*, tanto em sua fase larval como em sua fase adulta. O combate à fase larval deve ser feito evitando-se o acúmulo de água parada em recipientes, como vasos, garrafas e pneus, e em locais onde se descarta o lixo. Esse mosquito deposita seus ovos somente em água parada. Considerando o que foi explicado neste Tema, faça o que se pede.
 - a) Como Needham explicaria o surgimento das larvas desse mosquito na água? E Redi?
 - b) Elabore e descreva um experimento para testar a hipótese de que as larvas do mosquito foram postas na água e não surgiram por geração espontânea.

6. (Unesp-SP)

O tuco-tuco (*Ctenomys brasiliensis*) é um animal curioso, que se pode, em linhas gerais, descrever como roedor com hábitos de toupeira. [...] São animais noturnos, e alimentam-se especialmente de raízes de plantas, o que explica os túneis longos e superficiais que cavam. [...] O homem que nos trouxe afirmou que muito comumente os tuco-tucos são encontrados cegos. O exemplar que eu conservava no álcool achava-se nesse estado. [...] Lamarck rejubilar-se-ia com este fato, se acaso o tivesse conhecido.

DARWIN, C. Diário das investigações sobre a História Natural e Geologia dos países visitados durante a viagem ao redor do mundo pelo navio de Sua Majestade "Beagle", sob o comando do Capt. Fitz Roy, R. A., 1871.

O texto foi escrito por Charles Darwin, em seu diário de bordo, em 26 de julho de 1832, à época com 23 anos de idade, quando de sua passagem pelo Brasil e Uruguai. Escrito antes que construísse sua Teoria da Evolução, o texto revela que Darwin conhecia a obra de Lamarck. Como Lamarck explicaria as observações de Darwin sobre o tuco-tuco brasileiro, e qual é a explicação apresentada pela Teoria da Evolução na biologia moderna?

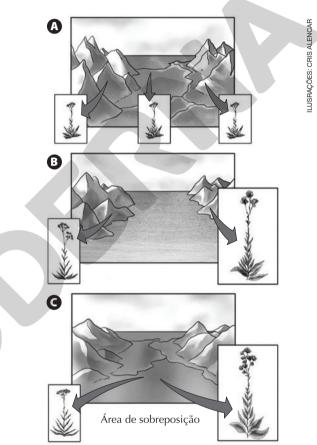
7. (Unicamp-SP)

"Um poeta chamado Zhu Xi escreveu o seguinte há cerca de 1 200 anos: 'No topo das altas montanhas vejo conchas que me dizem que antigos lugares de baixa altitude se elevaram para os céus e moram agora nos mais elevados picos. Estas conchas dizem-me também que materiais vivos de animais se converteram nas mais duras e inertes rochas'. Essas palavras foram durante séculos lidas como se fossem versos. Mas Zhu Xi não era apenas um poeta: era um cientista, aquilo que, até há pouco, se chamava um naturalista."

COUTO, M. "Rios, Cobras e Camisas de Dormir", em: E se Obama fosse africano? E outras intervenções. 2. ed. Lisboa: Editorial Caminho, 2009, p. 58.

- O poema citado por Mia Couto faz referência
- a) ao processo de migração de moluscos marinhos para topos de montanhas e a sua posterior fossilização.

- b) ao processo de decomposição de materiais vivos que ocorre nas rochas duras e inertes presentes nos topos das montanhas.
- c) à presença de fósseis de moluscos em montanhas que se formaram em regiões antes cobertas por água.
- d) à existência de fósseis de moluscos que habitavam topos de montanhas e hoje estão extintos.
- **8.** (Unicamp-SP) As figuras abaixo mostram o isolamento, por um longo período de tempo, de duas populações de uma mesma espécie de planta em consequência do aumento do nível do mar por derretimento de uma geleira.



(Adaptado de PURVES, W. K. *et al. Vida*; a ciência da Biologia. Artmed, 2005, p. 416.)

- a) Qual é o tipo de especiação representado nas figuras? Explique.
- b) Se o nível do mar voltar a baixar e as duas populações mostradas em B recolonizarem a área de sobreposição (figura C), como poderia ser evidenciado que realmente houve especiação? Explique.
- 9. (Enem) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (Crotalus), apesar de extremamente venenosas, são cobras que, em relação a outras espécies, causam poucos acidentes a humanos. Isso se deve ao ruído de seu "chocalho", que faz com que suas vítimas percebam sua presença e as evitem. Esses animais só atacam os seres humanos para sua

defesa e se alimentam de pequenos roedores e aves. Apesar disso, elas têm sido caçadas continuamente, por serem facilmente detectadas.

Ultimamente os cientistas observaram que essas cobras têm ficado mais silenciosas, o que passa a ser um problema, pois, se as pessoas não as percebem, aumentam os riscos de acidentes. A explicação darwinista para o fato de a cascavel estar ficando mais silenciosa é que:

- a) a necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.
- b) as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.
- c) as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.
- d) as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.
- e) as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos.
- 10. (Unesp-SP) A ema (Rhea americana), o avestruz (Struthio camelus) e o emu (Dromaius novaehollandiae) são aves que não voam e que compartilham entre si um ancestral comum mais recente que aquele que compartilham com outros grupos de aves. Essas três espécies ocupam hábitats semelhantes, contudo apresentam área de distribuição bastante distinta. A ema ocorre no sul da América do Sul, o avestruz é africano e o emu ocorre na Austrália.

Segundo a explicação mais plausível da biologia moderna, a distribuição geográfica dessas aves é consequência da:

- a) fragmentação de uma população ancestral que se distribuía por uma única massa de terra, um supercontinente. Em razão da deriva continental, as populações resultantes, ainda que em hábitats semelhantes, teriam sofrido divergência genética, resultando na formação das espécies atuais.
- b) migração de indivíduos de uma população ancestral, provavelmente da África, para a América do Sul e a Austrália, utilizando faixas de terra existentes em épocas de mares rasos. Nos novos hábitats, as populações migrantes divergiram e formaram as espécies atuais.
- c) origem independente de três espécies não aparentadas, na América do Sul, na África e na Austrália, que, mesmo vivendo em locais diferentes, desenvolveram características adaptativas semelhantes, resultando nas espécies atuais.
- d) migração de ancestrais dessas aves, os quais, embora não aparentados entre si, tinham capa-

- cidade de voo e, portanto, puderam se distribuir pela América do Sul, pela África e pela Austrália. Em cada um desses lugares, teriam ocorrido mutações diferentes que teriam adaptado as populações aos seus respectivos hábitats, resultando nas espécies atuais.
- e) ação do homem em razão da captura, transporte e soltura de aves em locais onde anteriormente não ocorriam. Uma vez estabelecidas nesses novos locais, a seleção natural teria favorecido características específicas para cada um desses hábitats, resultando nas espécies atuais.
- **11.** A composição inicial de uma população hipotética de 50 indivíduos, cuja coloração do corpo apresenta variabilidade de cor, é detalhada na tabela a seguir.

Espécies	Número de Indivíduos	Frequência relativa (%)		
Azul-claro	15	30		
Azul-escuro	15	30		
Verde-claro	10	20		
Verde-escuro	10	20		
Total	50	100		

Após a ocorrência da erupção de um vulcão, a população inicial foi reduzida e passou a apresentar a seguinte conformação:

Azul-claro - 6 indivíduos;

Azul-escuro - 7 indivíduos;

Verde-claro – 8 indivíduos;

Verde-escuro - 4 indivíduos.

Com base nos dados apresentados, faça o que se pede.

 a) Reproduza o quadro abaixo no caderno e complete-o com o número e frequência relativa (%) de indivíduos da população sobrevivente.

Espécies	Número de Indivíduos	Frequência relativa (%)	
Azul-claro			
Azul-escuro		ODE	3
Verde-claro			
Verde-escuro		OFIC	9
Total			

- b) De quanto foi a redução da população original?
- c) Quais são as possíveis consequências desse evento?

Reflita sobre seu aprendizado!



Registre em seu caderno

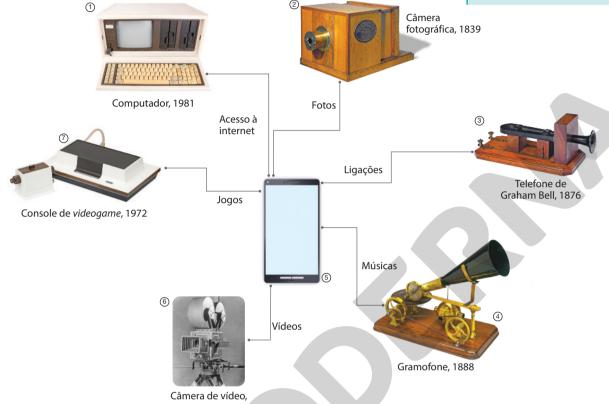
Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?

Reflexões sobre a ciência

Como são desenvolvidas novas tecnologias?

Por dentro da BNCC Competências gerais: 1; 2;

4; 5; 7; 9 **Habilidades:** EM13CNT302; EM13LP16



Montagem mostrando as funções de aparelhos antigos consolidadas em um smartphone.

Reflita sobre a questão acima e registre suas ideias. Depois, leia o texto e responda às questões propostas.

Muitos estudos científicos têm como propósito principal contribuir para a compreensão do Universo, descrevendo e explicando os fenômenos naturais à parte de suas aplicações a curto e médio prazo. Essa é a chamada ciência pura, fundamental ou básica, e geralmente é dessa prática científica que surgem as teorias e as leis que estudamos e que ainda vamos estudar nesta obra. Quando é preciso gerar novos tratamentos médico-farmacêuticos ou aumentar a competitividade das indústrias, por exemplo, entra em cena a ciência aplicada. Essa prática científica faz uma reinterpretação do conhecimento disponível visando a um fim específico, ou seja, a ciência básica, de forma geral, fornece as bases conceituais que permitem a realização da ciência aplicada. No entanto, mesmo estudos científicos aplicados podem gerar conhecimento de caráter mais básico ou fundamental.

Embora, em um primeiro momento, possa parecer que existam duas formas de fazer ciência, essa distin-

ção é meramente teórica. Toda a tecnologia disponível atualmente serve para ilustrar a forma como ciência básica e aplicada caminham juntas há muito tempo e por que não faz sentido privilegiar uma ou outra vertente. Tomemos como exemplo os *smartphones*. De tão comuns e presentes em nossa rotina, muitas vezes não nos damos conta dos fatos científicos envolvidos no simples ato de fazer uma chamada telefônica.

Na primeira metade do século XIX, já era possível, mas não necessariamente fácil, enviar mensagens a longas distâncias sem utilizar os correios. Naquela época, as mensagens eram codificadas e transmitidas através de fios e cabos na forma de pulsos elétricos gerados em telégrafos. No entanto, era necessário que o receptor da mensagem decodificasse os pulsos e transcrevesse a mensagem antes de entregá-la ao destinatário. Logo, surgiu a necessidade de tornar a comunicação a longas distâncias mais fácil e acessível e, com essa necessidade, veio o questionamento se seria possível converter as ondas sonoras da voz em sinais elétricos e vice-versa, permitindo que as conversas fossem transmitidas através

de cabos. Em 1876, o inventor escocês naturalizado estadunidense Alexander Graham Bell (1847-1922) foi quem conseguiu registrar primeiro a patente do telefone, apesar de vários cientistas em diferentes partes do mundo também terem trabalhado no seu desenvolvimento. Mais tarde, ainda no século XIX, já era possível realizar a transmissão dos sinais através de ondas de rádio, dando início à era da comunicação sem fios.

A ciência aplicada tem um impacto direto na história da sociedade e no nosso cotidiano. Mas o desenvolvimento do telefone, por exemplo, que revolucionou a comunicação no século retrasado, e as evoluções desse aparelho não teriam ocorrido da mesma forma, ou na mesma época, sem a contribuição da ciência básica. Todos os anos de história e de trabalho dos pesquisadores que no passado descreveram e explicaram a capacidade de certos metais em conduzir corrente elétrica, o comportamento e as propriedades dos diferentes tipos de radiação (ondas de rádio, luz, raios X etc.) e até mesmo o funcionamento das orelhas - afinal, a forma como as ondas sonoras impactam os tímpanos fazendo-os vibrar serviu de inspiração para a construção dos primeiros microfones - estão ao alcance de nossas mãos, nos aparelhos celulares quase onipresentes nos dias de hoje.

Atividades

Registre em seu caderno

1. Existem algumas histórias famosas sobre o físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867). Uma delas ocorreu nos anos de 1840, durante uma palestra em que o cientista demonstrou o recém-conhecido fenômeno da indução eletromagnética – produção de corrente elétrica por meio da movimentação de um ímã próximo a uma bobina formada de fios de cobre. Ao final da palestra, um homem que estava na plateia perguntou: "Senhor Faraday, parece interessante o que descobriu, mas para que serve?". Faraday respondeu com outra pergunta: "Senhor, para que serve uma criança recém-nascida?".

Fonte consultada: COHEN, I. B. Authenticity of Scientific Anecdotes. Nature, v. 157, p. 196-197, 16 fev. 1946.

 Qual é a relação entre a resposta apresentada por Faraday e a ideia defendida no texto desta seção? **2.** Quais fatos descritos a seguir podem ser classificados como exemplos de ciência básica e de ciência aplicada?

A luz caminha sempre em linha reta. Nisso acreditavam os membros da Royal Society, a academia de ciências britânica, até 1870, quando viram acontecer algo que lhes parecia impossível. De fato, naquele ano, em Londres, o físico John Tyndall (1820-1893) mostrou a seus incrédulos colegas que a luz podia fazer uma curva. Ele colocou uma lanterna dentro de um recipiente opaco cheio de água, com um orifício num dos lados, pelo qual a água escorria. A luz acompanhava a trajetória curva da água, como se tivesse sido dobrada. Na verdade, a luz se propaga em zigue-zague, saltando de um lado para o outro dentro do fio de água, numa série de reflexões internas.

A descoberta de Tyndall, entretanto, só começou a ter utilidade prática oito décadas mais tarde, em 1952, graças às pesquisas do físico indiano Narinder Singh Kapany, então com 25 anos. Seus experimentos o levariam à invenção da fibra ótica, o revolucionário instrumento de telecomunicações que talvez venha ainda a substituir os próprios circuitos eletrônicos nos computadores. Kapany aprofundava seus estudos sobre o fenômeno da reflexão total interna, [para] obter o PhD (doutorado) em [Ótica] na Universidade de Londres, onde era já professor-assistente.

[....]

Fonte: ATANES, S. A fibra ótica. *Revista Superinteressante*, jun. 1989. Disponível em: https://super.abril.com.br/tecnologia/a-fibra-otica/. Acesso em: 18 maio 2020.

3. Retome o registro feito no início desta seção reavaliando sua resposta. Pesquise uma inovação tecnológica que você ou sua família já utilizaram – ou da qual ainda fazem uso – que não tenha sido mencionada no texto. Reúna-se em grupo para compartilhar as aprendizagens alcançadas e preparar uma apresentação oral sobre a importância do financiamento em ciência básica utilizando umas das inovações exemplificadas pelo grupo. O grupo deve escolher um orador, que fará uma apresentação de três minutos para toda a turma inspirada nas apresentações da competição de divulgação científica FameLab Brasil (Disponível em: https://www.britishcouncil.org.br/famelab/inspirese. Acesso em: 18 maio 2020).

Pensamento crítico e argumentação

Ao infinito e... além?* Onde a exploração espacial nos levará?

Em nossa comunicação diária, sem perceber, estamos constantemente fazendo uso de tipos de discursos fundamentais para o estabelecimento do diálogo, além de estarmos sempre sendo expostos a eles: o **argumento** e a **explicação**. O senso comum

Registre em seu caderno

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 4; 7; 9

Habilidades: EM13CNT304; EM13CHS103; EM13LP43

* Fala modificada do personagem Buzz Lightyear, do filme *Toy Story* (1995).

nos leva a considerar esses gêneros discursivos como sinônimos. Todavia, argumentar e explicar diferem entre si não apenas quanto aos seus objetivos, mas também quanto às suas estruturas. O reconhecimento, o uso e a avaliação de argumentos e explicações são fundamentais tanto para nos ajudar a navegar pelas informações presentes no cotidiano quanto para melhorar as nossas habilidades de comunicação.

A tarefa de identificar qual dos dois gêneros discursivos está sendo usado não é trivial, nem para o emissor nem para o receptor da mensagem. De maneira geral, o argumento está mais associado ao convencimento enquanto a explicação, à melhor compreensão de algo. Um discurso explicativo apresenta uma causa para algo que foi falado. Esse gênero discursivo ajuda o receptor a entender o como, mas principalmente o porquê do que está sendo apresentado, usando uma causa como esclarecimento. Nas Ciências da Natureza, esse tipo de discurso é empregado para descrever processos e fenômenos, como o surgimento dos planetas e a evolução biológica. O discurso argumentativo também se preocupa com o como, mas faz uso de evidências para apoiar uma afirmação do ponto de vista do emissor. O argumento fornece uma justificativa para que se acredite na conclusão que está sendo apresentada.

A palavra **evidência** é usada frequentemente no cotidiano como sinônimo de prova. Nas Ciências, as evidências estão associadas a dados que são resultantes de observações e medições; elas podem ser compreendidas como informações sobre o mundo natural obtidas da análise dos dados. Por esse motivo, as estratégias de coleta e análise de dados por meio de observações e medições precisam ser transparentes, claras e precisas, permitindo que outros cientistas reproduzam experimentos e reflitam sobre a concordância das evidências obtidas.

Vamos refletir sobre esse tema, levando em consideração o contexto do financiamento da exploração espacial.

1. Em duplas, leiam os dois discursos a seguir. Identifiquem qual gênero discursivo o emissor está usando (explicativo ou argumentativo) em cada exemplo, procurando mostrar se ele ajuda a entender um ponto de vista e/ou se dá informações para que o receptor da mensagem acredite no que está sendo dito. Atente não apenas ao significado das palavras em si, mas a como elas estão organizadas para revelar a intenção do emissor. Apresente justificativas para as respostas.

Emissor A: Nos últimos cinco anos, o espaço se consolidou como um mercado em franca expansão, com muitas (e viáveis) oportunidades. 2017 foi um ano bom. Os investimentos no setor

somaram US\$ 3,9 bilhões, cerca de 30% a mais do movimentado em 2016.

Fonte: FRABASILE, D. A fronteira final dos negócios: a exploração privada do espaço. Época Negócios, 18 dez. 2018. Disponível em: https://exploracao-privada-do-espaco.html. Acesso em: 20 jun. 2020.

Emissor B: A importância da manutenção de um Programa Espacial para países em desenvolvimento é considerável. Maior ainda é sua importância para um país do tamanho do Brasil. Para ilustrar essa afirmativa, basta comparar os preços médios de *commodities* e de artefatos espaciais no mercado internacional.



Valor médio em dólar americano de um quilograma de commodity comparado a um quilograma de tecnologia espacial.

Fonte: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Agência Nacional Brasileira. Benefícios da exploração espacial, 9 abr. 2018. Disponível em: ">https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/beneficios-da-exploracao-espaciai>">https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espaciai>">https://www.gov.br/aeb/pt-br/a

2. Leiam o diálogo hipotético a seguir que representa uma conversa entre dois jovens. Em seguida, responda às questões.

[A] Ontem, eu vi uma reportagem no jornal da TV falando que, segundo a agência espacial chinesa, eles devem mandar astronautas para a Lua e Marte até 2030. Você viu? Não sei se concordo com isso, sabe?

[B] Sim! Parece que as pessoas estão se interessando bastante por esse tema nos últimos tempos, porque tem até empresas vendendo pacotes para as pessoas poderem visitar Marte daqui a alguns anos. Já pensou que incrível, ver a Terra redondinha e azul de longe? Deve ser fantástico!

[A] Acho que todo mundo sempre se interessou por isso, na verdade. Tem um monte de filmes e séries sobre viagens espaciais e tal... Mas isso não me parece certo... Gastar dinheiro financiando a exploração espacial enquanto tem tanta gente passando fome! Se não tem dinheiro para acabar com a miséria, por que gastar com a exploração espacial?

[B] Você tem razão, mas dá para pensar que a Ciência ainda não tem vários conhecimentos básicos para lidar com problemas que ameaçam a vida na Terra. Essas corridas espaciais estimulam a produção do conhecimento e o desenvolvimento de novas tecnologias. Aquela revista de curiosidades da aula de ontem falava que várias tecnologias que a gente usa foram desenvolvidas por conta das missões espaciais, como o GPS. Lembra que a professora de Filosofia falou que

o microscópio foi resultado da pesquisa de diferentes cientistas, que trabalharam durante vários anos, mas sem pensar necessariamente no microscópio em si? Acho que é isso, as viagens espaciais possibilitam pesquisas que vão ajudar a resolver outros problemas depois...

[A] Entendo o que você está falando! Mas sei lá... Vi outro dia um dado que me impactou muito: aquele relatório anual famoso da ONU dizia que mais de 820 milhões de pessoas passaram fome no mundo em 2018! É muita gente sofrendo! A gente tem um monte de problema para resolver aqui... Às vezes acho que essa é mais uma estratégia para gerar competição entre os países, e sabemos que isso pode levar a guerras mundiais. Nesse caso da China mesmo, imagina como a Rússia e os Estados Unidos podem reagir! Outra Guerra Fria, já pensou?

[B] Faz sentido, mas também acho que essa é uma competição boa. Tipo, em vez de esses países estarem desenvolvendo tecnologia para guerra, eles estão desenvolvendo tecnologia espacial...

[A] Verdade! Ainda assim, acho que é muito dinheiro investido, para pouco resultado. É só ver os números. Eu vi num canal de fãs de *Star Trek* que no mundo são investidos mais de 20 bilhões de dólares por ano em missões espaciais... Mas estou pensando agora que talvez seja difícil entender isso, porque essas missões não têm uma influência imediata na vida das pessoas, não é? Parece um projeto mais de longo prazo...

[B] Isso! E a gente passa a entender mais sobre a história e as particularidades do nosso planeta com essas viagens ao espaço. É um conhecimento importante, você não acha?

[A] Sim, mas acho que ainda temos muito para aprender na Terra. Por exemplo, lembra daquele trabalho de Biologia que a gente fez, sobre biodiversidade? A gente conversou com aquela cientista da universidade federal que disse que ainda estamos identificando as espécies da Amazônia. Vi, naquele documentário que fala sobre a vida na Terra, que mal conhecemos os oceanos. Até hoje a gente não sabe quantas espécies existem no planeta! No livro paradidático que o professor de Biologia nos indicou estava escrito que os cientistas fizeram uma estimativa, mas ainda não é possível ter um número exato como se fossem livros de uma biblioteca... Como pode isso?

[B] Acho que você tem razão nessas questões, é intrigante mesmo... Mas dá pra pensar que tem muita tecnologia envolvida também. Outro dia li num *blog* de uma cientista que trabalha com Astronomia que a tecnologia envolvida para transmitir a chegada dos humanos à Lua em 1969 foi tão complexa quanto a tecnologia usada para pousar no satélite. Você não acha que isso também conta em um investimento tão grande?

[A] Hmm... Até que faz sentido pensando assim... Mas tem ainda a questão do lixo espacial e da contaminação do espaço. Naquela matéria da TV que eu comentei, sobre a corrida espacial da China, os cientistas falaram que os objetos que são lançados no espaço têm prazos de validade. A professora de Física mostrou para a gente aquele artigo científico dizendo que tem mais de 500 mil dejetos espaciais orbitando o nosso planeta, lembra? Será que tem gente vendo como resolver isso ou estão só gerando lixo, igual fazem aqui na Terra?

[B] Nossa, não tinha pensado nisso... Imagina? Mas estou aqui pensando agora em uma outra coisa. Nessa aula aí de Física a gente viu que ir para o espaço tem vários efeitos biológicos no corpo das pessoas, por conta das condições fora da atmosfera terrestre. Muitos efeitos são permanentes. A professora mostrou aquela entrevista com cientistas que estudam só esse tema...

[A] Verdade, mas agora eu vou concordar com você, porque acho que quando cientistas olham para esses efeitos no corpo de astronautas eles passam a entender mais sobre a fisiologia humana também. E, pensando assim, tem também a questão que essas viagens espaciais geram muita visibilidade e as pessoas podem se estimular a seguir carreiras em áreas científicas e tecnológicas, já que ainda tem muita pergunta científica sem resposta...

- a) Identifiquem quais são as fontes das evidências citadas ao longo do diálogo.
- b) Proponham uma forma de classificar as evidências listadas no item anterior quanto à qualidade.
- c) Procurem no diálogo um exemplo de argumento em que a evidência apresentada não está sendo usada em defesa da conclusão (ponto principal do argumento) que se pretende defender. Como vocês consideram a qualidade desse argumento? Justifiquem.
- 3. Imaginem que vocês estão acompanhando ao vivo pela internet o diálogo retratado na questão anterior. Cada membro da dupla deve escolher um dos interlocutores desse diálogo para interagir com ele (A ou B), escrevendo uma mensagem que contribua para o debate que está acontecendo. Cada mensagem deve ter de 4 a 7 linhas e usar o discurso argumentativo, respondendo à pergunta: para onde a exploração espacial nos levará?

Considerem os critérios estabelecidos pela turma no item b da questão 2 e procurem em fontes confiáveis outras evidências que possam ser usadas na construção do argumento a favor ou contra os investimentos em exploração espacial. Lembrem-se que, por usar o discurso argumentativo, vocês precisam escolher o interlocutor que tenha um ponto de vista contrário ao seu.

Comunicação

[...] o pesquisador Seymour Papert, pioneiro no uso do computador como ferramenta de aprendizagem, definiu a programação de computadores como a ação de comunicação entre usuário e máquina por meio de uma linguagem que ambos entendem. [...]

Fonte: SOUZA, F. Pensamento computacional e programação como ferramentas de aprendizagem. Instituto Ayrton Senna, 13 set. 2019. Disponível em: https://www.institutoayrtonsenna.org.br/pt-br/meu-educador-meu-idolo/materialdeeducacao/pensamento-computacional-e-programacao-como-ferramentas-de-aprendizagem.html>. Acesso em: 20 jun. 2020.

Nesta atividade você vai utilizar uma linguagem de programação visual denominada Scratch para resolver o seguinte problema: fazer uma nave espacial se deslocar entre a Terra e Marte e/ou a Lua por meio do uso de algoritmos (sequências de passos que descrevem processos).

- Reúnam-se em grupo e acessem o projeto disponível em https://scratch.mit.edu/projects/260821220/ editor> (acesso em: 20 jun. 2020). Caso o *site* abra em inglês, basta clicar no ícone do globo localizado no canto superior esquerdo para alterar o idioma para português brasileiro.
- Cliquem na bandeira verde localizada acima do cenário para que apareça a Terra, Marte e a Lua.
- Cliquem em robot para selecionar a nave e observem as coordenadas (x e y) localizadas ao lado do campo Ator.
- Logo abaixo, cliquem no campo Direção para ajustar a inclinação da nave, de forma que ela aponte para a Lua ou para Marte.
- Com o cursor do mouse posicionado sobre a nave no cenário, arrastem-na até o destino escolhido. Ao deslocar a nave, observem as mudanças nas coordenadas (x e y).
- Com a nave posicionada sobre a Lua ou Marte, pressionem a tecla de espaço para que ela volte diretamente para a Terra na direção original.
- Cliquem na aba Código e observem na 1ª coluna todas as categorias de comando disponíveis no programa, separadas por cores. Ao clicar nelas, é possível observar na 2ª coluna os comandos associados a essas categorias na forma de blocos coloridos.
- Visualizem, na área de script do lado esquerdo do cenário, os comandos (blocos coloridos) que o programador usou e como ele os organizou para realizar a tarefa de mover a nave.
- Agora vocês devem mover a nave até o destino escolhido clicando nos conjuntos de blocos apropriados que constam na área de script.
- Encontrem um espaço disponível na área de script e,

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 2; 4; 5; 6; 9; 10

Habilidades: EM13CNT302; EM13CNT308; EM13MAT405; EM13LP22

- sem deletar os comandos já estabelecidos pelo programador, escrevam algoritmos próprios, usando quaisquer blocos disponíveis na lista, para mover a nave espacial da Terra à Lua e dela até Marte, ou vice-versa.
- Compartilhem os algoritmos desenvolvidos com os outros grupos seguindo as instruções do professor. Essa etapa ajudará a compreender melhor a linguagem de programação e assim aperfeiçoar as sequências de comando propostas. Após os eventuais ajustes, vocês devem disponibilizar uma cópia de seus projetos para o professor. Isso pode ser feito por meio de um *link* ou baixando o projeto para o computador (caso não tenham conta no Scratch). Para salvar e abrir o projeto, cliquem no campo Arquivo, localizado no canto superior esquerdo.

Agora é o momento de compartilhar a experiência com a comunidade, incentivando e auxiliando outras pessoas a desenvolver o pensamento computacional. Para tal, a turma deve organizar uma oficina na escola e divulgar a data do evento para a comunidade com antecedência. No dia da oficina, em que vocês atuarão como tutores, deverá ser proposto aos participantes um problema a ser resolvido por meio do uso do Scratch ou, mais amplamente, das linguagens de programação em bloco, a fim de desmistificar a ideia de que programar é algo difícil e restrito aos profissionais da área.

Se possível, procurem disponibilizar o uso dos computadores da sala de informática da escola. Do contrário, vocês podem construir um cenário e fazer os principais comandos da linguagem de programação do Scratch (evento, movimento e controle) em EVA de diferentes cores. As peças podem ser coladas na parede ou na lousa com o auxílio de fita adesiva de dupla face. O desenho das peças permite que elas se encaixem evidenciando a sequência de ações (algoritmo) que leva à resolução do problema proposto. Sugere-se que o evento seja filmado, com a autorização dos participantes, e o vídeo seja publicado no *blog* ou na página da escola nas redes sociais.

Revise e amplie!



Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com a Unidade foi finalizado, é o momento de autoavaliar seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, reflita sobre as questões a seguir.

- O que eu aprendi sobre a temática exploração do Universo e da vida?
- O que mais eu gostaria de saber sobre essa temática?



FOTO: ESTADÃO CONTEÚDO

Humanos, metais e máquinas

brasil.estadao.com.br/notic Brumadinho é o maior

desastre da década em

barragens no mundo, alerta

O Brasil é rico em recursos minerais, aparecendo entre os maiores exploradores do mundo. Atualmente, o país apresenta a quinta maior reserva mundial de ferro, sendo o segundo maior produtor desse minério, que representa 40% do faturamento nacional nesse setor.

Durante o beneficiamento desse minério, os rejeitos produzidos são armazenados em barragens, que são reservatórios destinados a reter os resíduos sólidos e a água resultantes desse processo. O armazenamento desses rejeitos é necessário para evitar danos ambientais. Apesar disso, o rompimento da barragem B1, da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), contendo um volume de 1 milhão de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro, em janeiro de 2019, foi um dos maiores desastres com rejeitos de mineração no Brasil. Esse acidente resultou em 253 mortos e 17 desaparecidos, além do imenso impacto socioambiental, principalmente nas áreas atingidas.

Ainda que inativa desde 2015, especialistas sugerem que a barragem estaria acima de sua capacidade. O acúmulo de rejeito de minério está intimamente ligado à necessidade de produção de bens e materiais e ao consumo inconsequente do ser humano. A extração de minérios vem acontecendo ao longo da evolução humana, sobretudo a partir da Revolução Industrial, que fez dela uma atividade indispensável para o avanço da sociedade moderna por estar relacionada a produtos e materiais que são utilizados ou desfrutados no cotidiano das pessoas.

De maneira direta, os minérios estão presentes em equipamentos eletrônicos, computadores, celulares, relógios e muitos outros produtos. Indiretamente, fazem parte de máquinas e equipamentos envolvidos na produção de alimentos e bens de consumo diversos.



VIDRO E CERÂMICA









PRECIOSOS



METAIS PRECIOSOS



PLÁSTICO E BORRACHA

Analise as imagens e o texto da Abertura e explique qual é a relação entre a indústria de base, responsável pela produção de matéria-prima, e o desenvolvimento de produtos amplamente usados no nosso cotidiano, como os smartphones.

:: Por que ordenamos a Unidade dessa forma?

A história da humanidade, considerando sua origem, a expansão geográfica e a diversificação fenotípica do *Homo sapiens* pela Terra, são apresentadas no Tema 1. A interferência ambiental resultante do crescimento populacional humano e de outros fatores antrópicos é o assunto abordado ao longo do Tema 2. Como consequência do aumento populacional, foi intensificada a busca por materiais que permitissem o desenvolvimento de ferramentas e equipamentos, aumentando a extração de recursos naturais, como os minérios dos quais se obtêm os mais diversos metais. A extração dos minérios e as propriedades dos metais serão trabalhadas no Tema 3. Já os processos envolvidos na extração dos metais a partir dos minérios, atividade econômica conhecida como metalurgia, serão abordados no Tema 4. Durante o desenvolvimento do Tema 5 serão estudadas as causas do movimento de algumas máquinas em situações cotidianas, visando à compreensão de seu funcionamento. No Tema 6, estudaremos como forças atuam em objetos, máquinas e partes do corpo humano em situações de equilíbrio.

Finalizando esta Unidade, há seções que integram aspectos do conhecimento científico-tecnológico e da lógica argumentativa para avaliar a pertinência de seus usos, assim como de soluções propostas para atender demandas locais e globais, tanto no âmbito individual quanto no coletivo, com o objetivo de mitigar, entre outros, problemas socioambientais relacionados à extração de recursos naturais e à produção de bens de consumo. Além disso, há oportunidade de reconhecer características do perfil empreendedor, buscando desenvolvê-las, e de elaborar um projeto pessoal que vise atender a comunidade em que você vive.

Assim, os objetivos gerais desta Unidade são:

- Reconhecer os impactos ambientais causados pela intensificação da extração de recursos naturais pelos seres humanos em decorrência do crescimento populacional e do desenvolvimento de ferramentas e máquinas ao longo da história da humanidade.
- Analisar as propriedades dos materiais e os diferentes métodos aplicados na produção de componentes metálicos, avaliando alternativas e novas tecnologias que reduzam a dependência de recursos não renováveis e os impactos socioambientais.
- Compreender as causas dos movimentos e as leis que as regem, bem como o
 conceito de vantagem mecânica e os tipos de equilíbrio das máquinas, utilizando
 as propriedades dos materiais para a melhor adequação de seu uso em diferentes
 aplicações no cotidiano.

Pense nisso!

Registre em seu caderno

- **Tema 1.** Como a evolução humana influenciou historicamente o desenvolvimento de máquinas e no uso de tecnologias?
- **Tema 2.** Explique como o aumento populacional ao longo da história da humanidade contribui para impactos provocados por catástrofes, como a que vimos em Brumadinho, MG.
- **Tema 3.** Quais propriedades geralmente apresentadas pelos metais podem explicar seu uso na fabricação de diferentes materiais e objetos do cotidiano?
- **Tema 4.** O minério de ferro é a matéria-prima do aço uma liga de ferro e carbono. Que etapas você acredita que seriam necessárias para obter essa liga metálica a partir do minério?
- **Tema 5.** Quais materiais você escolheria para construir um meio de transporte elétrico?
- **Tema 6.** A alavanca é uma das máquinas mais simples da humanidade e é utilizada há milênios, sendo a gangorra um exemplo. Defina o seu funcionamento e cite objetos em que você reconhece o mesmo princípio.

Por dentro da BNCC

O trabalho com esta Unidade favorece o desenvolvimento das competências e das habilidades da BNCC citadas a seguir.

Competências gerais: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10

Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Competências específicas: 1; 2; 3

Habilidades: EM13CNT101; EM13CNT104; EM13CNT106; EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT203; EM13CNT204; EM13CNT205; EM13CNT206; EM13CNT208; EM13CNT301; EM13CNT304; EM13CNT305; EM13CNT306; EM13CNT307; EM13CNT309

Área de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Competências específicas: 1; 2; 3; 4; 5

Habilidades: EM13CHS103; EM13CHS206; EM13CHS302; EM13CHS403; EM13CHS404; EM13CHS502

Área de Linguagens e suas Tecnologias

Competência específica: 1 Habilidades: EM13LGG102; EM13LP05



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2;

Habilidades: EM13CNT201; EM13CNT202; EM13CNT208

A evolução humana é bastante discutida, pois a ela convergem explicações científicas simultaneamente a uma série de ideias fundamentadas em crenças religiosas, que nada têm a ver com a Ciência.

Evolução humana

No Brasil temos importantes pesquisadores da evolução humana e do povoamento das Américas pelo Homo sapiens, entre eles, Walter Neves (1957-), da Universidade de São Paulo, e Niède Guidon (1933-), da Universidade de São Paulo e da Universidade Sorbonne, em Paris, cujos trabalhos muito contribuíram e ainda contribuem para lançar luz científica sobre as origens e a evolução dos seres humanos.

É inquestionável o fato de sermos, como todas as demais criaturas do planeta, resultado de um processo natural de modificação ao longo do tempo. Muitos anos de novos estudos e ainda serão necessários para podermos entender com mais detalhes o que ocorreu com a espécie humana e com seus ancestrais nesses últimos 7 milhões de anos, quando a nossa linhagem evolutiva se separou da linhagem que levou aos chimpanzés atuais. Estes também resultam de uma linhagem de 7 milhões de anos, a qual há cerca de 2,5 milhões de anos se diferenciou dos atuais bonobos (Fig. 1.1).

Figue por dentro

Fundação Museu do **Homem Americano**

O site da Fundação Museu do Homem Americano apresenta informações sobre o patrimônio cultural e natural do Parque Nacional Serra da Capivara. Além disso, é possível fazer uma visita virtual pelo Museu da Natureza. Disponível em: <http:// fumdham.org.br/>.

Laboratório de Estudos **Evolutivos Humanos**

O site do Laboratório de Estudos Evolutivos Humanos, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, disponibiliza imagens e textos relacionados à história da evolução da espécie humana.

Disponível em: http://evolucaohumana. ib.usp.br/proposta/ propostas.html>. Acessos em: 25 maio 2020.



Figura 1.1 Grupo de bonobos (Pan paniscus) em lagoa do santuário Bonobo Lola Ya, na República Democrática do Congo, em 2010. Os bonobos são menores que os chimpanzés (Pan troglodytes), medindo cerca de 70 cm a 80 cm de comprimento sem considerar as pernas; têm corpo mais esbelto, ombros mais estreitos, pescoço mais fino e pernas mais longas.

A Ciência da evolução humana baseia-se na interpretação de evidências concretas, geralmente ossos e outros fósseis, além de instrumentos ou ferramentas que se conservaram ao longo do tempo e características relacionadas ao DNA. É claro que, à luz de novas evidências, ocorrem ajustes das narrativas – a Ciência não é infalível, mas apresenta uma tendência consistente à aproximação da verdade, à medida que evidências vão se acumulando.

:: A espécie humana e sua linhagem evolutiva

Classificação dos primatas

Os seres humanos pertencem ao filo dos cordados, classe dos mamíferos, ordem dos primatas. Essa ordem hoje é considerada **monofilética**, ou seja, todos os seus integrantes têm um mesmo ancestral comum, que viveu entre 60 milhões e 80 milhões de anos atrás. Sua diferenciação em relação a outras ordens de mamíferos envolveu o surgimento de diversas características relacionadas com o hábito arborícola, destacando-se:

- **Polegar opositor:** disposto em um ângulo de 90° em relação aos demais dedos, permite a esses animais segurarem-se firmemente aos galhos e ramos, além de pegarem ou manipularem objetos.
- Acentuada mobilidade dos membros em relação ao tronco: facilita a locomoção entre os galhos das árvores (Fig. 1.2).
- Visão tridimensional: possibilita uma acurada percepção da distância dos galhos e outros objetos (um erro de avaliação no momento do salto de um galho para outro pode resultar em queda, acarretando ferimentos e até a morte).
- Comportamento social (com intenso cuidado com a prole): a complexidade do comportamento social parece estar relacionada com o desenvolvimento e evolução do encéfalo.

Atualmente, os primatas são classificados em **Strepsirrhini**, que inclui os lêmures e os lóris, e **Haplorrhini**, que inclui os társios e os antropoides. Dentro do grupo dos antropoides estão os macacos do Novo Mundo (representados pelos saguis, micos e macacos-prego), os macacos do Velho Mundo (representados pelos babuínos, macacos resos e mandris) e os hominoides (representados pelos gibões, gorilas, chimpanzés, orangotangos e seres humanos). Humanos e chimpanzés são os mais próximos evolutivamente, compondo o grupo dos Hominini.

O esquema a seguir (Fig. 1.3) apresenta a classificação atual dos primatas.



Figura 1.2 O muriqui (*Brachyteles arachnoids*) é o maior primata das Américas (mede cerca de 70 cm, sem considerar a cauda) e vive na Mata Atlântica (Estação Biológica de Caratinga, MG, 2015).

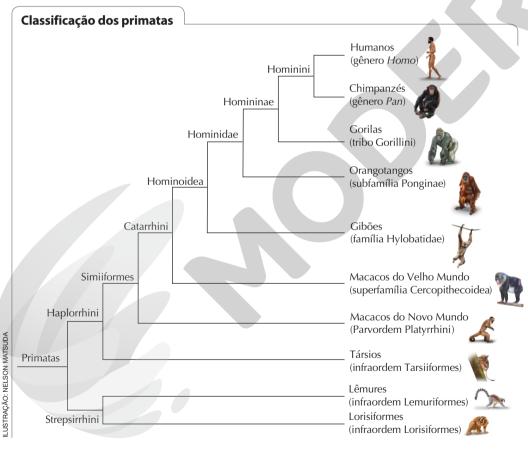


Figura 1.3 Representação esquemática da classificação dos primatas (omitidos os grupos extintos). Os primatas hominoides dividem-se em hilobatídeos (gibões) e hominídeos (orangotangos, gorilas, chimpanzés e humanos); a tribo Hominini inclui as subtribos Panina (chimpanzés – gênero Pan) e Hominina (humanos gênero Homo), além da subtribo Austithecina, já extinta, que abrange os gêneros Ardipithecus, Australopithecus e Paranthropus, entre outros. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

:: Evolução dos Hominini e do gênero Homo

Provavelmente, o fóssil mais antigo de Hominini é o *Sahelanthropus tchadensis*. Nele, a bipedia é evidenciada pela posição do orifício no osso occipital por onde passa a medula espinal, que fica mais perto do assoalho do crânio. Também na África foi encontrado um fóssil muito similar a esse, o *Orrorin tugenensis*, cuja bipedia foi evidenciada pela estrutura do fêmur. Os dois fósseis foram datados entre 6 milhões e 7 milhões de anos atrás.

Um pouco mais recentes, dois espécimes similares foram encontrados na Etiópia e datados entre 4,4 milhões e 5,8 milhões de anos: ambos foram classificados no gênero *Ardipithecus* (*Ardipithecus ramidus* e *Ardipithecus kadabba*), e os ossos evidenciaram bipedia. Segundo os paleoantropólogos, provavelmente os australopitecíneos surgiram a partir desse gênero.

Essas espécies, apesar de bípedes, possivelmente ainda não haviam deixado o hábito arborícola. Diversas espécies de australopitecíneos surgiram a partir daí, sendo o *Australopithecus anamensis* a mais antiga, com aproximadamente 4 milhões de anos. Essa espécie fóssil também foi encontrada na África. Os dentes caninos ainda eram grandes e a estatura era pequena, por volta de 1 m de altura.

O Australopithecus anamensis provavelmente originou, na África, a espécie mais conhecida de Australopithecus, Australopithecus afarensis, cujos fósseis datam entre 3,9 milhões e 2,9 milhões de anos. O fóssil mais famoso, com 3,2 milhões de anos, foi encontrado na África e denominado Lucy (**Fig. 1.4**).



Figura 1.4 Reconstrução artística de Lucy, um espécime de Australopithecus afarensis.

Os australopitecíneos se diversificaram e depois disso, possivelmente há cerca de 1 milhão de anos, se extinguiram. Uma dessas espécies provavelmente deve ter originado o *Homo habilis* (**Fig. 1.5**), primeira espécie do gênero *Homo*; essa transição deve ter ocorrido em torno de 2,5 milhões a 3 milhões de anos.

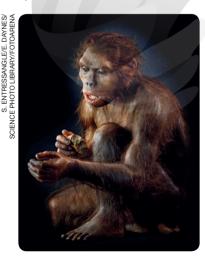


Figura 1.5 Reconstrução artística do *Homo habilis*.

Estudos indicam que o *H. habilis* viveu entre 1,8 milhão e 2 milhões de anos atrás e usava ferramentas mais simples, como lascas. Para alguns pesquisadores, essa espécie pode ser classificada entre os australopitecíneos e, nesse caso, os primeiros *Homo* seriam *Homo* ergaster e *Homo* erectus (talvez se trate de uma única espécie).

O Homo erectus surgiu na África há cerca de 1,8 milhão de anos e foi provavelmente a primeira espécie de hominíneo a povoar extensas áreas da Europa e da Ásia. Entre as suas características estavam pernas longas e estatura alta, próximo de 1,80 m de altura (**Fig. 1.6**); possivelmente, foi o primeiro hominínio a controlar o fogo. Estudos indicam que o Homo erectus viveu por muito tempo e que durante esse período surgiu o Homo heidelbergensis (**Fig. 1.7**), cujos fósseis datam de 800 mil a 200 mil anos atrás. A extinção do Homo heidelbergensis é relativamente recente, coincidindo com o provável surgimento de duas novas espécies: Homo neanderthalensis, o homem de Neanderthal, e Homo sapiens, o ser humano moderno, ambos por volta de 200 mil anos.



Figura 1.6 Reconstrução artística do *Homo erectus*. Essa espécie é mais alta e tem maior capacidade cerebral que seu antecessor, o *Homo habilis*.



Figura 1.7 Reconstrução artística do *Homo heidelbergensis*, o ancestral direto do ser humano e comum com os neandertais.

Supõe-se que o *Homo heidelbergensis* africano tenha se dispersado para a Europa originando ali uma população da qual evoluíram os neandertais; a população que permaneceu na África provavelmente deu origem ao *Homo sapiens*.

Estudos apontam que os neandertais (Homo neanderthalensis) eram hominínios muito robustos, musculosos, com nariz largo (supostamente relacionado com o preaquecimento do ar frio inspirado), atarracados (tinham menor superfície para perder calor) e apresentavam grande volume cerebral (maior até que o Homo sapiens). Provavelmente, essas características relacionavam-se com o hábitat muito frio da Europa e da Ásia na Idade do Gelo (Fig. 1.8).

Figura 1.8 Reconstrução artística do *Homo neanderthalensis*.

ELISABETH DAYNES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/FOTOARE

Os neandertais possivelmente eram nômades e caçadores e formavam grupos sociais bem organizados. São os "homens das cavernas" das lendas populares, pois usavam cavernas como abrigo. Eles provavelmente usavam também o fogo para se aquecer e cozinhar alimentos. Além disso, estudos indicam que eles fabricavam instrumentos de pedra bem elaborados, usados para caçar principalmente mamutes, bisões, raposas-do-ártico e lemingues. A pele dos animais era utilizada para fazer roupas e abrigos.

Os neandertais, segundo estudos, foram os primeiros Hominini a enterrar seus mortos, provavelmente realizando rituais. Indícios recentes sugerem que a extinção dessa espécie ocorreu há aproximadamente 28 mil anos. As causas desse evento ainda não estão claras e são motivo de debates entre os pesquisadores. Sabe-se que durante sua longa coexistência com o *Homo sapiens* houve contatos entre as espécies e até cruzamentos com trocas gênicas.

As evidências mostram que o *Homo sapiens*, finalmente, surgiu na África há aproximadamente 200 mil anos, dispersando-se mais tarde por todo o planeta.

Eventos evolutivos

Neste momento, podemos fazer uma síntese dos principais eventos evolutivos que marcaram a evolução dos Hominini, os quais listamos a seguir.

- Bipedia e alongamento das pernas.
- Achatamento da face (redução do prognatismo).
- Redução do tamanho dos dentes, especialmente dos caninos, relacionada com o arredondamento da arcada dentária.
- Fabricação das primeiras ferramentas de pedra.
- · Consumo de proteína animal.
- Encefalização.
- Revolução criativa e tecnológica.
- Dispersão pelo mundo todo.

Vários desses eventos são mais recentes que outros e estão mais concentrados na evolução dentro do gênero Homo.

Bipedia e alongamento das pernas

A bipedia, ou bipedalismo, aparentemente surgiu em espécies cujo hábitat eram florestas e bosques, como no caso dos gorilas e chimpanzés atuais. A principal vantagem evolutiva seria poder caminhar longas distâncias (especialmente nos casos de pernas mais longas) e, principalmente, liberar as mãos para outras finalidades.

Achatamento da face (redução do prognatismo), redução dos caninos e arredondamento da arcada dentária

O achatamento progressivo da face possivelmente está associado ao aumento do volume craniano (encefalização) e redução da mandíbula. A dentição sofreu grande modificação com a redução dos caninos e desenvolvimento

dos molares. Caninos muito desenvolvidos como os dos chimpanzés atuais (Fig. 1.9 A) são uma arma potente ou eficiente intimidador para competidores e inimigos, mas há o problema do encaixe; quando a boca é fechada, os caninos superiores e inferiores se cruzam, encaixando-se os inferiores no espaço entre os dentes superiores e, da mesma forma, os superiores entre os inferiores. Com isso, os movimentos laterais da mandíbula, que no caso é retangular, ficam restritos. Ao longo da evolução, com a redução canina, esses movimentos mastigatórios permitiram uma ação mais eficaz dos molares na trituração dos alimentos, favorecendo a diversificação da dieta; pode-se dizer que a função mandibular inicialmente concentrada na parte anterior passa a se concentrar mais na parte posterior, onde ficam os molares (Figs. 1.9 B e C). Nesse processo, a mandíbula toma uma forma de U ou parabólica.



Figura 1.9 Evolução do crânio. (A) Crânio de chimpanzé atual, similar ao dos primeiros hominínios; note o acentuado prognatismo (mandíbula projetada para a frente), as grandes projeções sobre as órbitas oculares (arcadas supraciliares), os caninos muito desenvolvidos e "travados", impossibilitando o deslizamento lateral da mandíbula em relação à maxila, e o pequeno volume cerebral. (B) Crânio de Zinjanthropus boisei, em que, ao lado de características primitivas, notam-se redução dos caninos e prognatismo menos acentuado que no chimpanzé. (C) Modelo de crânio do Homo erectus, já com características similares às dos seres humanos atuais: face achatada com arcadas supraciliares pouco marcadas, caninos bastante reduzidos e grande volume craniano.

Fabricação das primeiras ferramentas de pedra e consumo de proteína animal

A fabricação de ferramentas envolve uma destreza manual que se relaciona com a anatomia das mãos. Dedos longos e curvados são eficientes em espécies arborícolas, mas foram reduzidos e tornaram-se mais retos ao longo da evolução; bem mais tarde isso pode ter favorecido a manipulação de objetos e a construção de ferramentas.

Segundo o pesquisador Walter Neves, a produção de ferramentas possivelmente teve início há cerca de 2,5 milhões de anos entre os australopitecíneos, incluindo espécies com pequeno volume cerebral (similar ao dos chimpanzés atuais); esse tempo coincide com a savanização da África, e as ferramentas produzidas não passavam de lascas extraídas de blocos maiores de pedra por percussão usando outra pedra.

Esse estágio "tecnológico" de produção e utilização de lascas provavelmente se estendeu por cerca de 1 milhão de anos, e então, cerca de 1,6 milhão de anos atrás, surgiram as primeiras ferramentas (propriamente ditas), como machados. Nesse ponto, estudos indicam que os hominínios começaram a desenvolver a habilidade mental de criar um protótipo ou *design* ideal para atender a determinada função, que se estendeu até o presente.

Encefalização

O aumento do volume cerebral é um evento que marcou mais especificamente a evolução do gênero *Homo*. Entre os australopitecíneos esse aumento foi proporcionalmente bem pequeno.

Os paleoantropólogos consideram que a encefalização é compatível com uma dieta altamente nutritiva baseada em fonte animal, que ao mesmo tempo permitia a redução do sistema digestório (alimentos vegetais, pouco nutritivos, demandam grande volume do tubo digestivo).

Pode-se dizer que um cérebro muito desenvolvido é energeticamente muito custoso, e sua manutenção fica comprometida no caso de dietas pouco calóricas. Atualmente, sabe-se que o ser humano despende entre 20% e 30% de energia no funcionamento cerebral.

Supõe-se que o aumento do volume cerebral também pode estar relacionado com a evolução do comportamento social, da cultura e da linguagem e com produção e manipulação de símbolos, além do pensamento abstrato.

Revolução criativa e tecnológica

Concomitantemente com o desenvolvimento cerebral e com o desenvolvimento da fala, desenvolveram-se capacidades criativas, únicas entre os animais. As pinturas, esculturas e ornamentos, além dos rituais, exemplificam essas capacidades.

A **tabela 1.1** a seguir sintetiza a **evolução tecnológica** dos hominínios. Esse tema é controverso, pois o uso do termo *evolução* nesse contexto é discutível – pode ser considerado o avanço tecnológico como uma forma de evolução darwiniana? É indiscutível, porém, que se trata de conhecimento acumulado por muitas gerações e que certos caracteres biológicos das espécies, fixados por seleção natural, são uma condição básica para as conquistas tecnológicas. Um exemplo: embora um chimpanzé possa perceber a utilidade do uso de lascas para cortar objetos ou alimentos, ele não tem uma anatomia da mão compatível com a produção intencional dessa ferramenta. Assim sendo, podemos usar o termo *evolução tecnológica*, mas com certa cautela.

Tabela 1.1 Desenvolvimento da tecnologia entre os hominínios				
Estágio	Categoria			
1. Prototecnologia	a. Uso de ferramentas			
	b. Modificação das ferramentas			
2. Tecnologia	a. Produção de ferramentas (lascas)			
	b. Tecnologia de produção de ferramentas idealizadas mentalmente			
3. Pirotecnologia	a. Produção e controle do fogo			
	b. Metalurgia			
4. Instalações	a. Recipientes, cordoaria			
	b. Controle da energia			

Fonte: CAMPBELL, B. *Evolution of Technological Species*. Disponível em: https://history.nasa.gov/CP-2156/ch4.4.htm. Acesso em: 26 maio 2020.

O estágio 1 é o da prototecnologia. A categoria **1a** da tabela acima corresponde ao uso de objetos encontrados na natureza para realizar determinados trabalhos – geralmente aproveitar um novo recurso ou aprimorar um recurso já explorado (trata-se de resolver um problema específico). Lembremos que a maior eficiência no uso de recursos limitados é altamente adaptativa. Macacos-prego da Serra do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, no estado do Piauí, são um bom exemplo ao utilizarem pedras para quebrar cocos (**Fig. 1.10**).



Figura 1.10 Macaco-prego (Sapajus libidinosus) de uma população no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, no Piauí, quebrando noz com o uso de uma pedra sobre uma "bancada" achatada ou côncava, que evita que a noz resvale de lado ao receber o impacto. Eles escolhem as pedras, mas não as modificam para essa finalidade.

Na categoria **1b**, os objetos naturais são modificados para melhorar sua performance. Um exemplo é o dos chimpanzés, que coletam e modificam ramos finos a fim de introduzi-los em cupinzeiros para "pescar" os cupins de que se alimentam. Esses ramos são melhorados: as folhas são removidas, e o comprimento é ajustado para certo padrão. Outro exemplo é quando mascam folhas para formar um bagaço que usam como esponja para retirar água de locais difíceis, como cavidades pequenas e profundas.

O estágio 2 é o da tecnologia. Na categoria 2a, blocos de pedra são usados para produzir lascas quaisquer que possam ser usadas como facas; na categoria 2b, as ferramentas são idealizadas abstratamente e essas formas são construídas e reconstruídas intencionalmente visando à melhoria da performance com uma finalidade específica - por exemplo, a construção dos primeiros machados de pedra, cujas lascas retiradas não são importantes, e sim o bloco moldado remanescente. Outros exemplos, muito mais recentes, são as pontas de flechas e lanças usadas na caça de grandes animais. A passagem para a categoria 2b é extremamente importante no desenvolvimento tecnológico: com a revolução criativa, o domínio de técnicas de lascamento e a utilização de outros materiais além de pedras, como ossos, chifres e dentes, os Homo sapiens tiveram uma "explosão" tecnológica inédita, que lhes permitiu acesso a ambientes completamente inóspitos e antes inabitáveis, e, em decorrência disso, uma dispersão geográfica em uma escala que nunca havia ocorrido com seus antecessores.

O estágio 3 é o da pirotecnologia. Na categoria 3a ocorre a captura, o controle e eventualmente a produção do fogo, passos que devem ter levado bastante tempo entre a simples captura e manutenção de fogo produzido por raios ou outros processos naturais e a sua produção por meio de faíscas produzidas pelo choque de duas pedras ou por atrito entre peças de madeira. O domínio do fogo relaciona-se com melhorias na alimentação, fragmentação de pedras, por meio do aquecimento e brusco resfriamento, produção de artefatos de cerâmica e o mais importante: a obtenção de metal a partir de minério (como a malaquita, que, aquecida em fogo forte, produz o cobre metálico). O nascimento da metalurgia abriu uma ampla perspectiva de produção de uma infinidade de objetos e de novas e melhores ferramentas, incluindo armas - categoria 3b. A metalurgia do cobre, do bronze e do ferro deu nome aos períodos da história humana: a Idade do Cobre veio logo após o Neolítico (período da pedra polida) e se estendeu até o início da Idade do Bronze, quando se misturava cobre com estanho para produzir uma liga muito mais dura e resistente que apenas o cobre, usada na fabricação de utensílios e armas mais fortes. Um passo similar deu-se com a transição para a Idade do Ferro, por volta de 1200 a.C. (essa data refere-se à Europa; em outras regiões o uso do ferro começou bem antes, mas sem substituir o bronze). O avanço da metalurgia foi acompanhado pelo desenvolvimento de armas mais eficientes, afetando as relações entre os povos.

O estágio 4, das instalações, refere-se a objetos que restringem ou previnem movimentos ou trocas de energia. Na categoria **4a**, os exemplos são recipientes diversos, selas, estribos, diques, barcos, abrigos, cercas, cordas etc. Já na categoria **4b**, temos a construção de estruturas isolantes, como roupas e tendas.

Um estágio 5 pode ser acrescentada à tabela. É o estágio das máquinas, definidas como ferramentas complexas, constituídas por uma diversidade de partes ou peças. Por exemplo, o arremessador de lanças e o arco e flecha, além, é claro, de toda a extensa maquinaria dos tempos atuais.

:: Dispersão pelo mundo todo

Os caminhos do *Homo sapiens* desde sua origem, há cerca de 200 mil anos, na região do vale do Rift, África Oriental, ficaram nebulosos por muito tempo. Muitas teorias foram propostas, porém a cada nova evidência, a cada novo fóssil encontrado, muito tinha que ser reformulado. A teoria mais aceita é a chamada *out of Africa* ("partida da África", em tradução livre), segundo a qual todos os *Homo sapiens* do mundo atual se originaram de populações desse continente (mas há pontos muito discutidos, entre eles a suposição de que a saída da África tenha ocorrido em uma só ocasião).

Com o advento das técnicas de mapeamento de DNA, uma série de controvérsias pôde ser resolvida, mas ainda persistem várias incongruências entre os registros fósseis e as evidências do DNA. Desde os anos 1980, milhares de pessoas por todo o mundo tiveram seu DNA estudado, particularmente o DNA mitocondrial. Isso permitiu rastrear as principais linhas de migração e ao mesmo tempo datá-las por aproximação.

Apresentaremos a seguir uma das interpretações dessas evidências moleculares, proposta pelo médico e geneticista britânico Stephen Oppenheimer (1947-) em diversas obras, entre elas *A jornada da humanidade e A verdadeira Eva*. Segundo o autor, todos os humanos não africanos descendem de uma única família ou grupo – seu DNA mitocondrial poderia ser rastreado até uma determinada mulher, a Eva mitocondrial. Essa é só uma hipótese, relacionada com estudos de DNA. Outras fontes e novas evidências sinalizam uma série de inconsistências com o registro fóssil.

A expansão do *Homo sapiens* desde sempre esteve atrelada a condições climáticas favoráveis. Durante quase todo o processo, entre 150 mil e 20 mil anos atrás, o planeta esteve em fase de glaciação. Houve apenas um período interglacial relativamente curto, entre 60 mil e 35 mil anos atrás.

Segundo Oppenheimer, tudo começou quando, provavelmente entre 90 mil e 85 mil anos atrás, o grupo com DNA original atravessou o Mar Vermelho no seu ponto mais estreito (16 km) da Etiópia para o lêmen. Na época, o nível dos oceanos estava 45 metros abaixo do que é hoje, e no percurso da travessia possivelmente havia ilhas e bancos de areia expostos, facilitando o trajeto do grupo, que deveria ser constituído por cerca de 200 pessoas. A partir da costa do lêmen, na Península Arábica, os descendentes dos primeiros viajantes foram migrando, geração após geração, ao longo da costa em direção à Índia, à Indonésia (que, na época, era um subcontinente – Sunda e daí para o sudeste asiático e a China.

Há cerca de 74 mil anos aconteceu a erupção do Monte Toba, uma das maiores dos últimos 2 milhões de anos. As cinzas cobriram a Índia e o Paquistão com uma camada que chegou a 5 metros de espessura. A maior parte dos povos da região entre a Índia e a Indonésia foi dizimada em um típico efeito gargalo, provavelmente tendo sobrado 10 mil indivíduos de nossa espécie ou até menos. Possivelmente, entre 74 mil e 65 mil anos atrás, após a devastação do subcontinente indiano, iniciou-se o repovoamento. Por um lado, prosseguiu a colonização costeira até perto do Japão; por outro, grupos humanos se dirigiram a Bornéu e à Austrália.

Na Austrália encontraram uma megafauna formada por imensos cangurus com cerca de 3 metros de altura, tartarugas enormes e aves gigantes não voadoras – esses animais ficaram registrados em pinturas rupestres (nas rochas) deixadas por aqueles humanos. Mas, aparentemente em razão da degradação ambiental, por meio do fogo usado pelos novos habitantes, a megafauna acabou sendo extinta.

Estudos indicam que do interior do continente asiático ao norte das costas povoadas ainda era muito frio e desértico na época, impedindo a migração nessa direção. Entretanto, há cerca de 52 mil anos, em pleno período interglacial, estima-se que houve um brusco e acentuado aquecimento do clima, trazendo mais chuvas e reduzindo os desertos, incluindo o que se estendia a leste do Mediterrâneo, onde fica o chamado Crescente Fértil (Mesopotâmia – Síria e Iraque atuais), que então foi colonizado. Nessa região, pressupõe-se que os seres humanos exerceram atividades agropastoris, foram os primeiros fazendeiros e, bem mais tarde, originaram os povos da Suméria e da Babilônia e construíram as primeiras cidades de pedra, como Jericó.

A cultura e a tecnologia se aprimoraram: os instrumentos de pedra eram mais leves e havia cerimoniais. Acredita-se que do Crescente Fértil, há 45 mil ou 50 mil anos, o *Homo sapiens* se expandiu para a Europa e lá encontrou os neandertais, que dominaram a área por mais de 200 mil anos. Aparentemente, os neandertais acabaram sendo sobrepujados pelos novos habitantes da Europa e terminaram por extinguir-se. Esses novos europeus ficaram conhecidos como homens de Cro-Magnon (lê-se *cro-manhôn*) e apresentavam uma série de novos hábitos e capacidades – isso aconteceu há cerca de 35 mil anos. Estudos apontam que eles construíram ferramentas elaboradas, produziram arte em argila, pintura e escultura, além de ornamentos, e desenvolveram a criatividade, a linguagem, a organização social e a cultura.

Além da expansão para o Crescente Fértil no período interglacial, houve também um avanço a partir de toda a costa sul da Ásia na direção da Ásia Central da China. Nessa época teria sido povoado também o Japão. Mais tarde, o *Homo sapiens* chegou ao extremo leste da Sibéria, junto ao Estreito de Bering.

A colonização das Américas

Ainda segundo Oppenheimer, possivelmente entre 25 mil e 22 mil anos atrás os povos da Sibéria atravessaram o atual Estreito de Bering, e o *Homo sapiens* chegou pela primeira vez ao continente americano (essa data da primeira passagem é bastante discutida atualmente e até refutada, dadas as novas evidências na América do Norte e América do Sul). A hipótese mais aceita é que o povoamento tenha acompanhado a costa oeste norte-americana. No entanto, a partir de 22 mil anos atrás sobreveio a última glaciação e, com isso, provavelmente houve novo despovoamento. O *Homo sapiens* do norte sobreviveu apenas em alguns refúgios ao longo das antigas rotas. Entre 15 mil e 12,5 mil anos atrás, com a temperatura climática elevando-se, a expansão prosseguiu pela rota da costa oeste chegando ao sul dos atuais Estados Unidos, ao atual Panamá e daí à América do Sul (Amazônia Ocidental e o restante da costa oeste até o Chile). Além disso, estima-se que um ramo já teria passado para a costa norte da América do Sul, a Amazônia Oriental da costa atlântica da América do Sul.

Há muita discussão na literatura científica a respeito de como a espécie humana chegou às Américas. Diferentes pesquisadores apresentam informações conflitantes. Um exemplo desse conflito de opiniões é o que se viu entre o pesquisador brasileiro Walter Neves e pesquisadores norte-americanos.

A chave inicial para os novos conhecimentos, pondo em cheque a colonização das Américas por povos siberianos proposta por pesquisadores norte-americanos, foi a descoberta do mais antigo fóssil humano encontrado nas Américas, datado de 11 mil anos – uma mulher com características da população negra que recebeu a designação de Luzia (Fig. 1.11) – encontrado em Lagoa Santa, em Minas Gerais. Depois desse achado, a equipe do pesquisador Walter Neves encontrou outros fósseis semelhantes aos de Luzia, mas com datações mais recentes, entre 7,5 mil e 11 mil anos. Essas novas evidências trouxeram indícios da provável presença de indivíduos com características da população negra ao longo de toda a bacia do Rio São Francisco, chegando até o Piauí (onde encontramos os povos da região da Serra da Capivara estudados por Niède Guidon e sua equipe).



Figura 1.11 Reconstrução artística de Luzia: dona do crânio mais antigo das Américas, de 11 mil anos atrás, parecia-se com atuais africanos e os aborígines australianos.

Segundo a nova proposta, teriam ocorrido duas ondas migratórias primordiais para as Américas. A primeira, composta de caçadores-coletores com traços da população negra, migrou para cá há cerca de 14 mil anos e hoje não está representada em nenhum grupo da atualidade. A segunda, formada por indivíduos com aparência mais próxima à dos asiáticos, chegou ao Novo Mundo cerca de 12 mil anos atrás. As populações indígenas, atuais ameríndias, são herdeiras dessa morfologia.

Outro conflito diz respeito a datas e envolve a pesquisadora e antropóloga brasileira Niède Guidon. Essa pesquisadora também encontrou vestígios de humanos com traços da população negra em um sítio arqueológico muito bem preservado do Parque da Serra da Capivara, no Piauí, onde observou uma infinidade de pinturas rupestres datadas de 28 mil anos atrás, muito antes da época admitida pelos pesquisadores norte-americanos e pelo pesquisador Walter Neves (Fig. 1.12). E vai além: sugere que esses povos teriam vindo diretamente da África através do oceano Atlântico. Atualmente a pesquisadora e diversos colegas norte-americanos admitem, com base em outros dados, que o *Homo sapiens* já estaria na América há pelo menos 100 mil anos. O surgimento de novas evidências certamente vai trazer mudanças no entendimento da colonização das Américas.

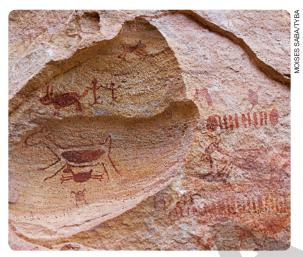


Figura 1.12 Fotografia de uma porção do paredão rochoso da Toca do Boqueirão da Pedra Furada com pinturas realizadas em diferentes épocas. No centro destaca-se o que se supõe representar um veado em salto. Ao redor, reconhecem-se outras representações de animais e de pessoas. A técnica de pintura não está bem esclarecida; sabe-se que era usado material ferruginoso obtido no local, ao qual se misturava alguma resina ou meio gorduroso que facilitaria a penetração do pigmento na pedra (São Raimundo Nonato, Pl, 2018).

:: A diversificação fenotípica do Homo sapiens

A maior diferença fenotípica visível entre povoamentos humanos pelo mundo é a cor da pele. Recentemente descobriu-se que há uma relação direta entre a incidência de radiação ultravioleta (UV) e a disponibilidade de ácido fólico no organismo. Essa substância é importante para o desenvolvimento embrionário, e o UV pode destruí-la. Na falta de ácido fólico (ou vitamina B9) pode haver a má-formação do sistema nervoso central no feto, acarretando anencefalia. Dessa forma, nas regiões de radiação mais intensa, a pele com mais melanina seria uma vantagem adaptativa, pois esse pigmento filtra o UV. Em contraposição, onde há menos UV, como foi o caso das florestas temperadas da Europa, surge outro problema. Essa radiação é importante para a síntese de vitamina D, e uma pele supermelanizada acarretaria o raquitismo e até a morte. Supõe-se que essa teria sido a pressão seletiva que favoreceu a pele mais clara em regiões com menor radiação. De fato, entre as populações nativas atuais, a pele clareia em direção aos polos. Estima-se que, ao longo da expansão para a Europa, o clareamento da pele tenha ocorrido durante 20 mil anos.

Outro aspecto fenotípico diz respeito às populações de origem siberiana. A passagem pelos ambientes muito frios da Sibéria pode estar relacionada com as pálpebras mais espessas, os olhos amendoados e o nariz mais largo que vemos nos mongóis, esquimós e indígenas norte e sul-americanos atuais, mas isso é bastante discutido.

Atividades

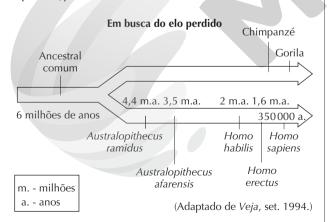
Registre em seu caderno



- 1. Indique a alternativa que apresenta uma afirmação correta.
 - a) Cenas de filmes apresentam humanos e dinossauros vivendo juntos com base nos registros fósseis disponíveis.
 - b) O surgimento dos hominínios ocorreu logo após a extinção dos dinossauros, há cerca de 7 milhões de anos.
 - c) O fóssil mais antigo da nossa linhagem é o Australopithecus afarensis ("Lucy"), datado de pouco mais de 3 milhões de anos.
 - d) O primeiro fóssil de Hominini após a separação do ramo que originou os chimpanzés é o Sahelanthropus tchadensis, que viveu há cerca de 7 milhões de anos na África.
 - e) Os australopitecíneos já se mostravam integralmente bípedes, vivendo exclusivamente sobre o solo.

- 2. Há cerca de 35 mil anos, os Cro-Magnon tinham se estabelecido na Europa e estavam convivendo com os neandertais. Sabemos que eles se originaram de um grupo que se expandiu desde as regiões costeiras adjacentes ao golfo Pérsico, atravessando o Crescente Fértil e rumando para o noroeste até a Europa.
 - a) O que é o Crescente Fértil? Qual foi a grande mudança que mais tarde ocorreu ali quanto ao modo de vida dos humanos?
 - b) Qual foi a condição climática que permitiu essa expansão, antes inviável para o Homo sapiens?
- 3. Uma das mais acentuadas diferenças fenotípicas entre europeus, orientais, indianos e africanos, por exemplo, é a cor da pele. Quanto a isso, responda:
 - a) Qual pressão seletiva favoreceu o clareamento da pele?
 - b) Qual pressão seletiva favoreceu o escurecimento da pele?
- 4. Indique a alternativa que apresenta tendências de variação corretas que se observam nas espécies da linhagem humana, partindo das mais antigas para as mais recentes.
 - a) Redução do volume craniano, encurtamento relativo dos membros anteriores, clareamento da pele, redução da estatura.
 - b) Aumento do volume craniano, encurtamento dos membros anteriores, locomoção com base apenas nos membros posteriores, aprimoramento do uso de ferramentas.
 - c) Aumento do volume cerebral, alongamento dos membros superiores, mudança da forma da mandíbula, achatamento da face.
 - d) Redução do volume craniano, redução da estatura, aumento do volume corporal, aprimoramento do uso de ferramentas.
 - e) Encurtamento dos membros anteriores, surgimento do comportamento social, aumento do volume corporal, redução da estatura.

5. (PUC-RJ)



Percebemos, pela análise do esquema acima, que não somos, como muitos pensam, descendentes dos macacos atuais. Na verdade, tanto o homem como os atuais antropoides descendem de um ancestral comum. A partir daí, ambos evoluíram separadamente, acumulando, ao longo dos milhões

de anos, diversas modificações. As alternativas abaixo representam fatores que influíram decisivamente na evolução do *Homo sapiens*, com exceção da seguinte:

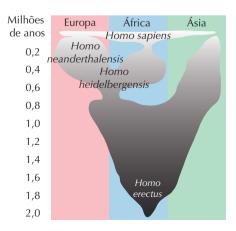
- a) postura ereta ou bípede.
- b) desenvolvimento cerebral.
- c) manipulação precisa de objetos.
- d) desenvolvimento da linguagem.
- e) capacidade física predatória.
- **6.** (Unesp-SP) Há cerca de 40.000 anos, duas espécies do gênero Homo conviveram na área que hoje corresponde à Europa: H. sapiens e H. neanderthalensis. Há cerca de 30.000 anos, os neandertais se extinguiram, e tornamo-nos a única espécie do gênero.

No início de 2010, pesquisadores alemães anunciaram que, a partir de DNA extraído de ossos fossilizados, foi possível sequenciar cerca de 60% do genoma do neandertal. Ao comparar essas sequências com as sequências de populações modernas do H. sapiens, os pesquisadores concluíram que de 1 a 4% do genoma dos europeus e asiáticos é constituído por DNA de neandertais. Contudo, no genoma de populações africanas não há traços de DNA neandertal.

Isto significa que:

- a) Os H. sapiens, que teriam migrado da Europa e Ásia para a África, lá chegando entrecruzaram com os H. neanderthalensis.
- b) Os H. sapiens, que teriam migrado da África para a Europa, lá chegando entrecruzaram com os H. neanderthalensis.
- c) O H. sapiens e o H. neanderthalensis não têm um ancestral em comum.
- d) A origem do H. sapiens foi na Europa, e não na África, como se pensava.
- Observe a figura a seguir que representa uma das hipóteses de distribuição geográfica e temporal de algumas espécies do gênero Homo.

Distribuição geográfica e temporal do gênero *Homo*



Fontes: Adaptado de: HARVARTI, K. 100 anos de *Homo heidelbergensis*: vida e tempos de um taxon controverso. *Mitteilungen der Gesellschaft für Urgeschichte*, 16, 2007; HUBLIN, J. J. A origem dos neandertais. *Anais da Academia Nacional de Ciências*, Estados Unidos, 2009.

LUSTRAÇÕES: ERICSON GUILHERME LUCIANO

Agora, leia o texto:

O convívio entre os *Homo sapiens* e os neandertais, hominídios extintos bastante aparentados com o homem moderno, é um dos temas mais polêmicos da evolução humana. Um estudo de dois matemáticos, o brasileiro Armando G.M. Neves, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e o italiano Maurizio Serva, da Universidade de Aquila, calculou com que frequência as duas espécies trocaram genes [...] para que os humanos atuais de origem não africana tenham entre 1% e 4% de DNA nuclear proveniente dos neandertais, conforme revelado por um estudo recente. Segundo o trabalho, na melhor das hipóteses a cada 12 gerações um humano e um neandertal geraram descendentes. Na pior, essa taxa sobe para uma troca de genes a cada 77 gerações [...]. Considerando um período de 130 mil anos de coexistência, cerca de 10 mil indivíduos das duas espécies mantiveram contato, embora um número muito menor tenha participado efetivamente do processo de troca genética. O estudo propõe ainda que os neandertais poderiam ser tão aptos quanto os humanos e que sua extinção, cerca de 30 mil anos atrás, pode ter sido um evento puramente casual.

Fonte: Sexo com os neandertais. Pesquisa Fapesp, São Paulo, n. 202, p. 16, dez. 2012. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/folheie-a-edicao-202/. Acesso em: 26 maio 2020.

Com base no que estudou ao longo do capítulo e no que é mostrado na figura e no texto, responda:

- a) Por que os genes dos neandertais não são encontrados entre os africanos em geral?
- b) De acordo com uma das hipóteses da evolução humana, os Homo sapiens orientais chineses poderiam ter surgido a partir do Homo erectus, espécie à qual pertence o Homem de Pequim, encontrado na década de 1920 em uma localidade próximo a Pequim, capital da China. Que informação extraída da figura permite contestar essa interpretação?
- **8.** Ao longo de sua evolução, os australopitecíneos e os humanos foram se diversificando, aparentemente como resposta a pressões seletivas impostas pelos diferentes ambientes que foram sendo colonizados.

Observe atentamente as imagens A, B e C e responda às questões.



Reconstrução artística do homem de Neanderthal.



Crânio de Australopithecus afarensis.



Crânio de gorila-das-montanhas.

- a) Quais características anatômicas ou capacidades, observáveis na reconstrução do homem de Neanderthal vista na foto A, estão relacionadas com a vida em ambientes muito frios durante as glaciações?
- b) Comparando-se os crânios do Australopithecus afarensis (australopitecíneo) e do gorila-das-montanhas (fotos B e C, respectivamente), nota-se que são bastante semelhantes. Mas uma observação mais atenta revela duas diferenças muito importantes para a distinção entre os grandes macacos africanos e os humanoides bípedes. Quais são essas diferenças?

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Populações e comunidades

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 5; 6; 7; 10

Habilidades: EM13CNT202; EM13CNT203; EM13CNT206; EM13CNT304; EM13CNT306; EM13CNT309; EM13CHS206

Neste Tema, vamos estudar o crescimento populacional e a organização das comunidades biológicas, enfatizando como o nosso próprio aumento populacional acarretou maior interferência no ambiente físico e nas comunidades que nos cercam.

Prática investigativa

Superpopulação é um problema?



Antes de iniciar a atividade, reúna-se em grupo, leia todo o procedimento e consulte o infográfico Segurança no laboratório, no início deste Volume.

Cuidados

Segurança

 Utilizar avental durante toda a atividade. A manipulação do solo deve ser feita com luvas de proteção.

Descarte

O solo usado na atividade poderá ser reaproveitado em outros vasos e canteiros. Os vasos poderão ser reutilizados para o plantio de novas espécies, como hortelã, manjericão, arruda, entre outras.

Os seres vivos desenvolvem-se à custa de recursos que retiram do meio (alimento, água, nutrientes minerais etc.) e esses recursos podem ser finitos.

Plantas, como o feijão, são seres autotróficos fotossintetizantes que retiram água e nutrientes do solo e CO₂ do ar, além de utilizar energia luminosa. Esses elementos são recursos essenciais para as plantas e, uma vez utilizados por um organismo, deixam de estar disponíveis para os demais. A escassez de recursos, mesmo que seja de apenas um dos recursos essenciais, pode ser fator limitante no desenvolvimento dos indivíduos.

Nesse contexto, esta atividade pretende explorar, por meio da avaliação da massa de pés de feijão cultivados em distintas condições de semeadura, a questão das superpopulações em condições de recursos limitados.

Objetivo

 Comparar as massas de pés de feijão em diferentes condições de semeadura e relacioná-las com a questão das superpopulações.

Material

- 5 vasos com aproximadamente 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro, perfurados no fundo
- Solo suficiente para encher os 5 vasos
- 135 sementes de feijão comum
- Recipiente para medir um volume de 20 mL de água
- Peneira

- 5 sacos plásticos de 10 L a 20 L
- · Fita adesiva
- Barbante ou elástico para fechar os sacos plásticos
- Caneta
- Balança
- Tesoura
- Caderno para anotações

Prepare-se!

- Pesquisem sobre crescimento populacional e a oferta de recursos naturais. Com base nessas informações, levantem questionamentos sobre a quantidade de recursos disponíveis para a população humana e o modo como esses recursos seriam afetados com uma superpopulação.
- 2. Que diferença na massa dos pés de feijão vocês esperam observar 20 dias após a semeadura em vasos onde foram inicialmente plantadas 5, 10, 20, 40 e 60 sementes?

Procedimento

 Preparem e tratem os vasos de forma idêntica ao longo de 20 dias. Com a fita adesiva, identifiquem os vasos, numerando-os de 1 a 5. Misturem e peneirem o solo para desfazer os torrões. Todos os vasos devem receber a mesma quantidade de solo e este deve ser compactado da mesma maneira. Plantem as sementes a 2 cm de profundidade, de acordo com a imagem a seguir.



Representação esquemática da montagem experimental. Notem a quantidade e a distribuição das sementes nos vasos para cada um dos tratamentos.

- Mantenham os vasos em ambiente externo, em iguais condições de iluminação.
- Reguem os vasos com 20 mL de água a cada dois dias. Se necessário, e dependendo da região do Brasil, coloquem água nos vasos com mais frequência. É importante que não ocorra escassez de água em nenhum vaso. Entretanto, o solo não pode ficar encharcado.
- Quando a germinação tiver terminado, contem quantas plantas há em cada vaso e anotem.
- Ao final de 20 dias, vocês devem extrair de cada vaso todos os pés de feijão que tiverem sobrevivido, contando-os e removendo o solo que possa estar preso entre suas raízes.

- Acondicionem as plantas nos sacos plásticos, um para cada vaso. Em seguida, os sacos plásticos devem ser muito bem fechados e etiquetados.
- Cada saco plástico deverá ser pesado. Anotem os valores em uma tabela.
- Feita essa pesagem inicial, vocês devem cortar os sacos plásticos lateralmente, dispensar o conteúdo e pesar somente as embalagens, com as respectivas etiquetas e elásticos (ou barbantes) utilizados para sua vedação. É importante que essa pesagem seja feita imediatamente após a abertura dos sacos plásticos, para evitar a secagem do conteúdo e, consequente, perda de peso úmido.
- A biomassa total das plantas será dada em gramas subtraindo-se, dos pesos totais iniciais, os dos correspondentes sacos plásticos. Para aferir a biomassa úmida média por indivíduo, dividam a biomassa total pelo número de indivíduos.
- Organizem os dados coletados em uma tabela.
 Depois, produzam um gráfico com os valores obtidos.

Discuta com seus colegas

- **1.** Que diferenças de biomassa foram encontradas nos vasos com distintas semeaduras?
- **2.** Que recursos possivelmente foram limitantes para os resultados obtidos?
- **3.** Em condições de recursos limitados, a superpopulação pode ser um problema? Explique.
- **4.** Estabeleça um paralelo entre a atividade realizada e o aumento da população humana mundial.

:: Conceitos de população e comunidade

Como já é sabido, a **biosfera** é complexa, com enorme variação nas condições climáticas e geológicas, incluindo o relevo e o solo. Tal heterogeneidade ambiental permite a manutenção de grande quantidade de espécies, cada uma adaptada ao seu hábitat específico, ou seja, a uma gama de condições que são compatíveis com sua sobrevivência. Em um ambiente, as espécies mais bem-sucedidas são aquelas cujos indivíduos tiveram maior sucesso na obtenção dos recursos de que necessitam (água, alimentos, abrigo etc.) e puderam transmitir seus genes para um maior número de descendentes. Isso quer dizer que em cada ambiente há inúmeras espécies adaptadas a ele, entre as quais algumas muito bem-sucedidas (que frequentemente se tornam numericamente dominantes) e outras nem tanto.

Em um ecossistema, em um determinado espaço e tempo, cada espécie aparece representada por um conjunto de

indivíduos. Esse conjunto de indivíduos coespecíficos (da mesma espécie) é chamado de **população**. Como são diversas espécies compartilhando o espaço do ecossistema, na prática os ecossistemas apresentam como componente biológico conjuntos de populações, ou seja, **comunidades**.

Os ambientes, todavia, não são constantes ao longo do tempo – há variações em diversas escalas. Com isso, uma espécie muito bem-sucedida em certo momento pode não ser tão bem-sucedida em outro. O resultado é que as populações e, portanto, as comunidades, são dinâmicas ao longo do tempo, variando continuamente suas características em maior ou menor grau. Alterações ambientais que ultrapassem a faixa de tolerância de uma ou mais espécies podem levá-las à extinção local ou, pior que isso, à extinção global, definitiva.

Em um ambiente razoavelmente estável, as populações e, consequentemente, as comunidades mantêm suas características também estáveis. Nesse caso, ocorre o **equilíbrio ecológico**.

:: Propriedades de uma população

A seguir, serão discutidas algumas das características ou propriedades das populações, que podem ser analisadas para revelar sua condição atual e sua dinâmica, bem como alguns fatores que as afetam, podendo produzir desequilíbrios. Ao mesmo tempo, mostraremos como essas propriedades podem ser medidas ou descritas.

Tamanho populacional

Uma propriedade bastante óbvia de uma população é o seu **tamanho**. Na maioria das vezes, tratamos de espécies com indivíduos distintos e, nesse caso, seu tamanho populacional é dado pelo número de indivíduos. Em outros casos, como espécies coloniais em que os indivíduos não são bem distintos uns dos outros, o tamanho populacional pode ser descrito em termos da biomassa (peso da matéria orgânica viva), por exemplo. Aliás, a **biomassa** pode ser aplicada a todas as espécies da comunidade, indistintamente, mas, nesse caso, há um problema metodológico: os organismos precisam ser retirados e pesados e nem sempre isso pode ser feito sem prejudicá-los.

Há, ainda, outro problema prático com o qual nos deparamos quando pretendemos avaliar o tamanho de uma população. Imaginemos os indivíduos dispersos do mesmo modo em duas áreas de vida, por exemplo, em duas fazendas (ou dois municípios, duas lagoas etc.). Será que os números totais de indivíduos são comparáveis nessas duas áreas? Ainda que apresentem o mesmo número de indivíduos, isso quer dizer que as populações são iguais? Essa condição está representada nas imagens a seguir. Tanto em A quanto em B (Fig. 2.1) há 20 indivíduos de uma mesma espécie, mas o tamanho da área em que eles estão varia: A tem 100 m² e B, 400 m². Ao observar as imagens,

é fácil notar que as duas situações não são iguais, pois em **B** cada indivíduo dispõe de quatro vezes mais capim que em **A**, e isso faz uma enorme diferença. Assim, apenas o número total de indivíduos não é um descritor ideal. Como alternativa, pode ser calculada a **densidade populacional**, ou seja, o número de indivíduos por área em m².

A densidade populacional é dada por:

$$\mbox{Densidade (D)} = \frac{\mbox{N\'umero de indiv\'(duos da população (N)}}{\mbox{\'A}rea ocupada (A)}$$
 ou seja, D = $\frac{\mbox{N}}{\mbox{$\Delta$}}$

Dinâmica populacional: conceitos e taxas

A dinâmica populacional descreve como o tamanho populacional varia ao longo do tempo em uma determinada área. Uma população pode crescer, declinar ou manter seu tamanho com variações dentro de uma faixa mais ou menos constante, dependendo de alguns processos fundamentais. A reprodução origina novos indivíduos (natalidade), e a imigração os traz de outros lugares; ambos os processos contribuem para o crescimento populacional. Entretanto, a mortalidade e a emigração contribuem para o declínio populacional. O ritmo com que esses processos ocorrem ao longo do tempo é representado por taxas: taxa de natalidade (TN), taxa de imigração (TI), taxa de mortalidade (TM) e taxa de emigração (TE). A resultante da combinação dessas taxas é a taxa de crescimento populacional (TC), positiva (população aumentando), negativa (população declinando) ou nula (população estável).

Todas essas taxas são números referentes a determinado período, por exemplo, número de indivíduos nascidos ou mortos por ano, emigrados por ano ou imigrados por ano – nenhum deles expressa algo significativo isoladamente.



Figura 2.1 As situações (A) e (B) mostram a importância da densidade como expressão do tamanho populacional. Nos dois casos há 20 indivíduos de uma mesma espécie, mas em (A) eles estão mais adensados que em (B).



Em uma fazenda de gado, sempre há certa quantidade de bois que nascem, que morrem, que são comprados de fora (imigração) ou que são vendidos (emigração) a cada ano.

A taxa de crescimento populacional, então, é dada por:

Taxa de crescimento
$$(TC) = (TN + TI) - (TM + TE)$$

No exemplo da fazenda, o resultado é a taxa anual de crescimento populacional.

Para uma determinada área, tanto o tamanho populacional quanto a taxa de crescimento populacional podem ser apresentados em gráficos, em função do tempo. Em estudos de dinâmica populacional, analisam-se as curvas de crescimento populacional, ou seja, curvas do tamanho populacional em função do tempo. A forma dessas curvas nos diz muito sobre as espécies e sua dinâmica.

Potencial biótico e resistência ambiental

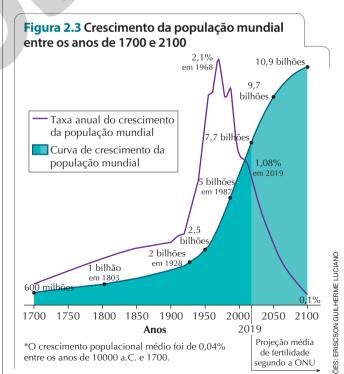
Consideremos duas populações da mesma espécie sujeitas a dois cenários diferentes sem movimentos migratórios. Em um deles, hipoteticamente, os recursos são ilimitados – nunca falta água, alimento ou abrigo para nenhum indivíduo; não há competição por esses recursos e, então, a mortalidade é mínima. Nesse cenário, o crescimento populacional não tem restrição, efetivando-se o pleno potencial reprodutivo da espécie – o chamado potencial biótico. Na natureza, entretanto, a condição de recursos ilimitados dificilmente ocorre. Em geral, há um limite na disponibilidade dos recursos no ambiente. Quanto maior essa limitação, maior o impacto no sucesso reprodutivo e na mortalidade e, portanto, há uma restrição na taxa de crescimento populacional. Podemos dizer que, nesse caso, o ambiente exerce uma resistência ao crescimento populacional, reduzindo-o a um nível abaixo do potencial biótico – é a chamada resistência do meio ou resistência ambiental, que equivale ao número de indivíduos que morrem ou deixam de ser acrescentados à população em razão da limitação dos recursos, tanto maior quanto mais indivíduos houver.

Esses dois cenários produzem dois tipos de curvas de crescimento populacional (Fig. 2.2). O primeiro, sem limitação de recursos, é o crescimento populacional exponencial representado por uma curva em forma de J – nesse caso não há resistência do meio. O segundo, com limitação crescente dos recursos por indivíduo, produz a curva de crescimento populacional em forma de S (sigmoide), e o tamanho da população tende a estabilizar-se em torno de determinado número máximo de indivíduos compatível com a quantidade de recursos disponível para cada um. Esse número máximo de indivíduos que conseguem sobreviver com os recursos disponíveis é chamado de capacidade de suporte do meio; se aumentar a quantidade de recursos, a capacidade de suporte obviamente aumenta também e, com isso, a população pode crescer até que se estabilize novamente; se diminuir, a população declina até se estabilizar em um novo tamanho compatível com os recursos remanescentes. Tipicamente, quando ocorre o total esgotamento de um ou mais recursos essenciais, a população se estingue.

Até bem pouco tempo atrás, a espécie humana apresentava crescimento exponencial (em J), levando-nos a antever um colapso da humanidade. Porém, atualmente, é evidente uma redução nessa taxa de crescimento, principalmente em decorrência da queda que tem ocorrido na taxa de fecundidade (número médio de filhos por casal).



Dados recentes revelaram que a média da fecundidade das mulheres reduziu-se, e a previsão para o futuro é de estabilização da população mundial pouco acima de 11 bilhões de pessoas, em que o pico da taxa de crescimento aconteceu em 1968, seguido de uma acentuada redução até o momento, se estendendo até 2100, como podemos ver na **Figura 2.3**.



Fonte: OUR WORLD IN DATA. World population growth, 1700-2100. Disponível em: https://ourworldindata.org/world-population-growth. Acesso em: 26 maio 2020.

Fatores que afetam o crescimento populacional

Há dois tipos de fatores que podem afetar o tamanho das populações: fatores independentes da densidade (geralmente abióticos) e fatores dependentes da densidade (geralmente bióticos).

Os fatores independentes da densidade são aqueles cuja intensidade não depende do tamanho atual da população, como a temperatura, a precipitação e eventos catastróficos (terremotos, incêndios etc.). Esses fatores podem alterar o tamanho das populações, mas não o regulam. Nesse caso, regular significa que, quando a densidade é alta, o fator age mais fortemente reduzindo-a com mais intensidade do que faria se a densidade populacional fosse mais baixa.

Os fatores que podem regular as populações, ou seja, mantê-las em equilíbrio com o ambiente, são chamados fatores dependentes da densidade. O suprimento alimentar, o espaço para viver, competidores, predadores e parasitas são exemplos de fatores dependentes da densidade. Note que, quanto maior for a densidade populacional, menos alimento pode ser destinado a cada indivíduo. Ao mesmo tempo, aumenta o assédio dos predadores, a transmissão de parasitas e respectivas doenças e a competição.

A seguir, vamos apresentar algumas modalidades de interações bióticas e como essas interações regulam populações.

A **predação** é um tipo de interação biótica em que um animal predador persegue, captura e mata sua presa para comê-la, inteira ou parcialmente. Assim, o aumento da atividade predatória propicia um declínio populacional entre as presas, pois a mortalidade delas aumenta. Grande disponibilidade de presas atrai os predadores, favorecendo a predação. Quando o número de presas é menor, a população de predadores tende a se reduzir em razão da menor disponibilidade de alimento. Com isso, a predação fica menos intensa e o número de presas tende a aumentar novamente. Um exemplo clássico disso é o das lebres e linces, respectivamente presa e predador (**Fig. 2.4**).



Figura 2.4 Lince-do-canadá (*Lynx canadensis*) pouco depois de capturar sua presa, a lebre-do-ártico (*Lepus arcticus*). O lince mede cerca de 80 cm de comprimento (sem a cauda).

O **parasitismo**, por sua vez, é uma interação biótica em que o parasita infesta seu hospedeiro alimentando-se de partes dele sem matá-lo. A intimidade física é muito alta nessa interação, mantendo-se ao longo de certo tempo ou mesmo indefinidamente, e muitos parasitas podem infestar um mesmo hospedeiro. Estudos indicam que os indivíduos de populações muito parasitadas têm menor sucesso reprodutivo e menor sobrevida. Em populações densas da espécie hospedeira, a transmissão dos parasitas de indivíduos infestados para os não infestados é muito facilitada, ao contrário do que se observa quando as populações de potenciais hospedeiros são mais rarefeitas.

Os parasitas, mais que os predadores, são bastante específicos quanto aos seus hospedeiros. A introdução de espécies que parasitam pragas pode ser um eficiente mecanismo biológico de controle populacional das pragas.

A **competição** pode ser intraespecífica ou interespecífica e só ocorre quando os recursos utilizados por ambos os competidores são limitados. Na competição intraespecífica, ou seja, entre indivíduos da mesma espécie, os competidores mais fracos sofrem mais com a interação e são eliminados, estabilizando o tamanho populacional em um nível compatível com a disponibilidade dos recursos (capacidade de suporte do meio). No caso da competição interespecífica, ou seja, entre espécies diferentes, na maioria das vezes ambas as populações envolvidas sofrem, podendo até acontecer de uma das espécies, a competidora mais fraca, ser extinta pela competidora mais forte. Em ambos os casos a intensidade da competição aumenta com as densidades populacionais (fator dependente da densidade).

Há ainda outra modalidade de interação extremamente importante para a manutenção das populações; muito embora não ocorra da mesma forma que a predação, o parasitismo e a competição: trata-se do **mutualismo**, em que as duas espécies envolvidas são beneficiadas. Existem inúmeros exemplos de mutualismo, como plantas e polinizadores, fungos e árvores, protozoários e cupins.

A desestabilização da interação mutualística afeta a dinâmica das duas espécies envolvidas, em um efeito similar à perda de capacidade de suporte do meio.

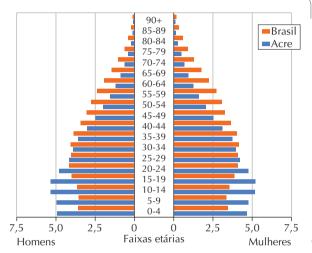
Há uma modalidade de mutualismo caracterizada pela interação não obrigatória para sobrevivência das duas espécies envolvidas. Nesse caso, o termo usado é **protocooperação**. Um dos exemplos mais clássicos é o do paguro com anêmonas associadas. As anêmonas participam defendendo o paguro, e o paguro facilita a obtenção dos alimentos pelas anêmonas.

Estrutura etária

A **estrutura etária** de uma população é a distribuição do número total de indivíduos nas diversas classes etárias, frequentemente considerando machos e fêmeas em separado. As classes etárias são delimitadas arbitrariamente, e para cada uma pode ser atribuído o número absoluto de

indivíduos ou a porcentagem em relação ao total. A representação gráfica da estrutura etária de uma população é sua **pirâmide etária**. Na **Figura 2.5**, podemos observar que, no Acre, a proporção da faixa etária compreendida entre 0 e 10 anos de idade é maior que na média do Brasil inteiro. Ao mesmo tempo, a partir de 30-35 anos de idade, o Acre tem proporcionalmente menos indivíduos que o Brasil em geral. A forma das pirâmides pode fornecer muitas informações sobre a população – a base mais estreita, por exemplo, pode sinalizar um declínio populacional no futuro.

Figura 2.5 Pirâmides etárias do Brasil e do estado do Acre (2018)



Fonte: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População*. Brasil e Acre. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html. Acesso em: 26 maio 2020.

Fique por dentro

Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação

No site do IBGE, você pode observar o tamanho e a estrutura etária da população atual do Brasil e dos estados, além de verificar outros indicadores populacionais.

Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/. Acesso em: 26 maio 2020.

:: Ecologia das comunidades

Anteriormente, estudamos que a dinâmica de uma população pode estar atrelada à dinâmica da outra (como nas interações de predação) – as populações afetam-se mutuamente por estarem relacionadas entre si por meio das interações bióticas. Quando diversas populações são postas juntas e começam a interagir, o resultado é mais do que a soma dos seus indivíduos. Em razão dessas interações, ocorrem variações populacionais, e os tamanhos populacionais se ajustam, pois a quantidade de uma espécie passa a ser afetada pela quantidade da(s) outra(s). Surge

então uma nova entidade ecológica, que é a comunidade. É por isso que a introdução de uma nova espécie em uma comunidade em equilíbrio pode afetá-la profundamente: a espécie introduzida tende a estabelecer suas próprias interações bióticas com as espécies locais, alterando a rede original de interações ou até mesmo excluindo espécies nativas.

Há várias características ou propriedades que podem ser medidas e que definem uma comunidade ecológica: as mais intuitivas são a distribuição de abundâncias das espécies, ou seja, dos seus respectivos tamanhos populacionais, e a biodiversidade.

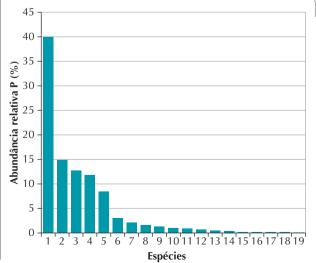
Distribuição de abundâncias

As **distribuições de abundâncias** mais simples que existem são aquelas em que para cada espécie é apresentada sua abundância, a qual pode ser expressa em números absolutos de indivíduos, densidades populacionais ou número relativo de indivíduos (P), sendo que P é dado por:

Abundância relativa (P) = Número de indivíduos da espécie
Número total de indivíduos de todas as espécies

A distribuição de abundâncias é representada normalmente por um gráfico de barras tendo na abscissa (eixo horizontal) as espécies ordenadas na sequência decrescente de suas abundâncias (absolutas ou relativas); no eixo das ordenadas (eixo vertical) são marcadas as abundâncias das diversas espécies, como representado na **figura 2.6**. Note que há um total de 19 espécies, mas entre elas há diversas

Figura 2.6 Abundância de espécies de organismos associados a um costão rochoso à beira-mar (município de Guarujá, SP)



Fonte: ROSSO, S. Estrutura de comunidades intermareais de substrato consolidado das proximidades da Baía de Santos (São Paulo, Brasil): uma abordagem descritiva enfatizando aspectos metodológicos. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 1990. 216 p.

espécies representadas por um número muito reduzido de indivíduos. Há uma espécie que se destaca, que podemos chamar de espécie dominante, mais quatro espécies com abundâncias consideráveis e uma série de espécies com abundâncias reduzidas abaixo de 5%, cujo total não passa de 12% da comunidade. Dependendo do tipo de comunidade, a forma do gráfico se modifica, podendo ficar mais diagonal ou mais angular (com a grande maioria dos indivíduos concentrada na primeira espécie).

Em geral, há espécies muito abundantes com espécies muito raras. Espécies raras não são obrigatoriamente pouco importantes – por exemplo, em uma mata tropical há poucas onças em relação à quantidade das outras espécies; no entanto, esses grandes carnívoros são fundamentais para a manutenção do equilíbrio das populações dessas comunidades.

Biodiversidade

A **biodiversidade** é um conceito que se aplica a três níveis: diversidade genética (dentro das populações e entre populações de cada espécie), diversidade de espécies (nas comunidades) e diversidade de ecossistemas (heterogeneidade de ecossistemas dentro dos biomas e da biosfera como um todo).

A diversidade genética, definida para cada espécie, relaciona-se diretamente com a variedade de fenótipos das populações. Essa variabilidade fenotípica é um dos elementos-chave da evolução por seleção natural. Sendo a evolução um processo que mantém a adaptação das espécies em um ambiente em transformação, a conservação da diversidade genética das populações é fundamental. Quando, por algum motivo natural ou antrópico (relacionado com atividades humanas), ocorre um acentuado declínio no tamanho de uma população, há redução da variedade de tipos de indivíduos da espécie (efeito gargalo). Entre os fenótipos eliminados pode haver aqueles que seriam bem-sucedidos em condições futuras do ambiente. Se no ambiente transformado a população não incluir fenótipos que possam ser bem-sucedidos, ela tende a extinguir-se. É por isso que devemos considerar a importância de manter preservadas as **populações viáveis**, ou seja, aquelas acima de um tamanho mínimo que incluam um elenco de fenótipos que possam ser selecionados à medida que o ambiente for se transformando.

A diversidade de espécies é um atributo das comunidades. Existem muitas formas diferentes de medir a biodiversidade de espécies. A mais óbvia é a simples contagem do número de espécies, ou seja, a determinação da riqueza específica ou, simplesmente, riqueza. No exemplo das espécies do costão rochoso no município do Guarujá (SP), citado anteriormente, a riqueza era 19 espécies.

Na prática, considerando que as comunidades normalmente apresentam muitas espécies raras, difíceis de encontrar, a contagem muitas vezes é incompleta - normalmente usam-se estimativas. A riqueza não oferece muitas informações, porque não leva em conta as interações que determinam as abundâncias das espécies: duas comunidades muito diferentes podem ter a mesma riqueza, mas as respectivas composições (espécies que estão presentes) podem ser totalmente distintas. Além disso, a riqueza não descreve a forma da distribuição de abundâncias, ou seja, se há uma ou duas espécies hiperdominantes, sendo todas as demais bastante raras, como acontece em comunidades novas ou estressadas, ou se as espécies ocorrem com proporções mais equitativas, como acontece nas comunidades mais maduras em ambientes pouco estressantes. A melhor medida é a diversidade, em sentido mais estrito, que leva em consideração tanto a riqueza quanto as abundâncias relativas das espécies.

A **diversidade de ecossistemas**, finalmente, corresponde à variedade de ecossistemas dentro de uma área ou de um bioma ou da biosfera como um todo. Esse tema é tratado no estudo dos biomas.

Dinâmica de comunidades: sucessão ecológica

Assim como as populações que as compõem, as comunidades não são estáticas. Sua estrutura varia ao longo do tempo, seja em ambientes novos (como ilhas recém-formadas geologicamente ou derrames de lava), seja após perturbações ambientais. Neste último caso, as alterações são mais radicais e frequentes em ambientes com perturbações acentuadas e pouco previsíveis, e mais sutis em ambientes mais estáveis. Também é comum ocorrer flutuações sazonais nas características de comunidades em razão das alterações periódicas do clima. A **dinâmica de comunidades** é o estudo dessas variações temporais.

O ambiente afeta as espécies, e as espécies reciprocamente afetam o ambiente. Chamamos de **sucessão ecológica** a alteração da comunidade durante a colonização ou recolonização de um ambiente ao longo do tempo. A sucessão em ambientes novos é chamada **sucessão primária**; a sucessão em ambientes previamente colonizados, mas que sofreram perturbações, é a **sucessão secundária**. A recomposição da vegetação após um desmatamento é um bom exemplo de sucessão secundária.

Na natureza, os diferentes estágios de maturação da comunidade são denominados **estágios serais** ou **seres**; a comunidade estável final é chamada **comunidade clímax**. A **Tabela 2.1** mostra algumas tendências que se observam ao longo da sucessão até chegar ao clímax.

Tabela 2.1 Síntese das principiais características das comunidades que se instalam ao longo da sucessão ecológica				
Características da comunidade	101100110000000000000000000000000000000			
Composição em espécies	Muda rapidamente no início e mais lentamente nos estágios intermediários, e mantém-se aproximadamente constante no clímax. As espécies importantes nos estágios iniciais podem não ser importantes na comunidade clímax e até mesmo não fazer parte dela.			
Diversidade de espécies	A diversidade inicial é baixa, e há predomínio de autótrofos. Ao longo da sucessão ocorre um aumento na diversidade e no número de heterótrofos. No clímax a diversidade é estável. Às vezes, a diversidade aumenta ao longo da sucessão e declina um pouco no clímax.			
Biomassa	Aumenta.			
Teia alimentar	Torna-se mais complexa.			

Fonte: tabela elaborada pelos autores para fins didáticos.

:: Interferência humana nas mudanças do planeta

O **tempo geológico** é basicamente subdividido em éons, eras, períodos e épocas, geralmente delimitados por eventos globais extremos, como grandes impactos de asteroides ou meteoros produzindo alterações climáticas globais, vulcanismo extremo e glaciações. Esses limites cronológicos podem ser reconhecidos na própria estrutura geológica do planeta; a área da Ciência que estuda a estrutura das rochas sedimentares – formadas pela consolidação de camadas superpostas de sedimentos (**Fig. 2.7**) e restos de seres vivos depositados ao longo do tempo – é

a **Estratigrafia**. A observação e a datação dessas camadas permitem reconstruir, grosso modo, a história da Terra, pois os limites entre as camadas são também limites temporais. O estabelecimento oficial desses limites com base nos estudos geológicos é realizado pela Comissão Internacional de Estratigrafia (International Comission of Stratigraphy, ICS), que faz parte da União Internacional de Ciências Geológicas (International Union of Geological Sciences, IUGS).

Atualmente, estamos na época Holocênica, ou no Holoceno, iniciada há 11.700 anos e caracterizada pela expansão da civilização humana. Desde então vêm aumentando cada vez mais os impactos humanos sobre o ambiente, até o ponto em que já conseguimos afetar processos e padrões geológicos, hidrológicos e atmosféricos globais.

O que é o Antropoceno?

Antropoceno é o termo usado por cientistas, ainda não oficialmente, para identificar uma nova época geológica do período Quaternário caracterizada pelo crescente impacto das atividades humanas sobre o planeta, em escala global.

Nos últimos 200 mil anos, o *Homo sapiens* passou por uma revolução cultural e tecnológica relacionada com a obtenção dos mais variados recursos ou facilidades para um número cada vez maior de pessoas. A intensidade do impacto humano sobre o ambiente segue o padrão de crescimento da população. A partir de certo ponto, os seres humanos passaram a interferir na crosta terrestre (parte superficial da litosfera), na hidrosfera e na atmosfera, modificando o ritmo de desgaste de rochas e acúmulo de sedimentos desde a superfície dos continentes até o fundo dos oceanos. Grandes rochas são removidas, rios são retificados, represas são construídas, novas substâncias e resíduos são adicionados ao ambiente, como poluentes químicos e plásticos, além de outros, mais duráveis, como concreto, cerâmica e vidro.



Figura 2.7 As rochas sedimentares são usadas para investigar o passado do planeta Terra. Rocha sedimentar com as camadas aparentes em Santana de Cariri, CE, 2015.

Quando se iniciou o Antropoceno?

Há uma enorme discussão sobre o que marcaria historicamente e geologicamente o início do Antropoceno. Há quem defenda o advento da agricultura como marco inicial dessa época. De fato, as técnicas agrícolas são até hoje fatores de acentuada alteração ambiental, mas discute-se a intensidade dessas alterações, ocorrida há 12 mil anos. Ademais, segundo essa ideia, o Antropoceno se superporia ao Holoceno.

Outro grupo de cientistas prefere estabelecer como marco a Revolução Industrial do início do século XVIII, mais precisamente a invenção da máquina a vapor, que representou uma nova maneira de transformar a energia para obter trabalho. A máquina a vapor demandava o uso intensivo de combustíveis de origem natural (carvão mineral, por exemplo). Foi nessa época que se deu a maior mudança da curva de crescimento populacional humano e na demanda geral de recursos.

Há, contudo, um ponto discutível: as alterações provocadas pela Revolução Industrial ficaram por quase 100 anos restritas à Europa e à América do Norte, estendendose depois a China, Índia e outros países. Essa restrição compromete a definição de uma única data, resgatável globalmente, como marco inicial do Antropoceno.

Finalmente, há um grupo de cientistas que propõe o ano de 1950, logo após a Segunda Guerra Mundial, como início para o Antropoceno. Esse ano marca o começo da chamada **grande aceleração**, caracterizada por uma mudança nítida nas curvas dos indicadores antrópicos em função do tempo.

Alguns pesquisadores propõem um indicador único para validar o Antropoceno como uma nova categoria estratigráfica: a presença de microplásticos incorporados a camadas de sedimentos, podendo alterar a estrutura das rochas a serem formadas pela consolidação desses sedimentos.

Estudos indicam que as camadas de gelo e sedimento depositadas recentemente contêm fragmentos de materiais artificiais produzidos em abundância nos últimos 50 anos: concreto, alumínio puro e plástico, além de traços de pesticidas e outros compostos químicos sintéticos. Mesmo em lugares remotos do planeta, como a Groenlândia, os sedimentos acumulados de 1950 até os dias atuais apresentam concentrações de carbono, resultado da queima de combustíveis fósseis, e de fósforo e nitrogênio, usados como fertilizantes na agricultura, muito mais elevadas que nos últimos 11.700 anos, de modo geral. Há pelo menos um exemplo de plásticos incorporados a rochas ou plastiglomerado (**Fig. 2.8**).



Figura 2.8 Amostra de plastiglomerado em rocha formada por sedimentos de origem mineral e material plástico, encontrada na praia de Kamilo, no Havaí, em 2016.

Atividades

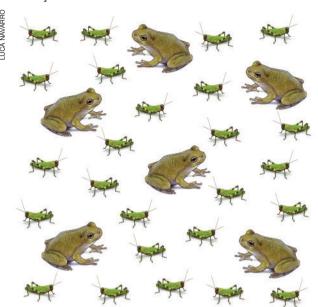
- Analise as alternativas a seguir e encontre a que não descreve corretamente uma tendência das sucessões ecológicas.
 - a) A biomassa aumenta no decorrer das sucessões ecológicas.
 - b) Nem sempre os organismos pioneiros permanecem até o clímax das sucessões ecológicas.
 - c) No início das sucessões ecológicas, há predomínio de organismos autótrofos.
 - d) No início, há pouca alteração na composição de espécies, mas as mudanças aumentam abruptamente nos estágios intermediários. Esse processo atinge seu limite no clímax, quando o ciclo é reiniciado.
 - e) Ao longo do tempo, a teia alimentar das sucessões ecológicas torna-se mais complexa.

Registre em seu caderno



- Indique a alternativa que apresenta uma afirmação incorreta.
 - a) O Antropoceno pode ser considerado como a "época dos humanos".
 - b) A proposição do Antropoceno como uma nova época geológica depende da definição exata de um ponto estratigráfico nas rochas sedimentares em todo o mundo.
 - c) Um grupo de cientistas considera o ano de 1950 como a melhor marca de início do proposto Antropoceno.
 - d) A "grande aceleração" diz respeito apenas ao crescimento populacional humano.
 - e) Considerando que as atividades agrícolas impõem alterações no solo, há autores que propõem que o Antropoceno tenha se iniciado logo após a última glaciação, há 12 mil anos, aproximadamente, mas essa proposta não é a mais aceita.

3. A figura a seguir representa uma área de 60 m², na qual vamos considerar duas populações: gafanhotos e sapos. O estudo do tamanho das populações ao longo do tempo (dinâmica populacional) é essencialmente uma aplicação da Matemática: taxas e funções estão entre os conceitos usados.



Representação esquemática de uma população de sapos e uma de gafanhotos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

- a) Qual é o tamanho de cada população? E a densidade populacional de cada espécie?
- b) Suponha que não ocorram imigração, emigração e nascimentos, mas apenas mortes por predação. Se cada sapo comer um gafanhoto a cada 5 dias, qual será a densidade populacional de gafanhotos no final de 10 dias? E a taxa de mortalidade (em indivíduos por dia)? Quanto tempo levaria para a população de gafanhotos se extinguir?
- **4.** Assim como as populações, as comunidades também apresentam propriedades que só se definem em seu nível de organização. Em relação a essas propriedades ou atributos, responda ao que se pede.
 - A riqueza e a diversidade expressam a variedade de espécies da comunidade. Qual é a diferença entre essas duas medidas?
- 5. Observe a imagem e leia o texto que se segue.



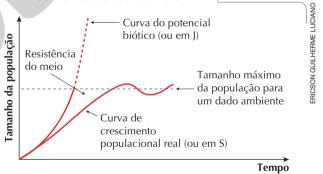
Moreia da espécie Gymnothorax flavimarginatus com um camarão limpador da espécie Stenopus hispidus associado a ela. Essa moreia pode medir até 2,4 m de comprimento.

Existe uma grande variedade de espécies de crustáceos que apresentam um comportamento peculiar. Eles andam sobre a superfície do corpo e até mesmo dentro da boca de peixes (inclusive predadores) alimentando-se de parasitas e restos de alimentos. Os peixes até poderiam comê-los, bastando fechar a boca, mas não o fazem.

Já foram feitos estudos que demonstraram experimentalmente a menor incidência de doenças e maior longevidade de peixes que estiveram envolvidos em relações desse tipo, em comparação com peixes da mesma espécie que não estiveram.

- a) Em que modalidade de interação biótica você enquadraria essa relação? Justifique.
- b) Que outra interação biótica também traz vantagens mútuas para as espécies envolvidas? Como se distingue da interação mencionada no item a?
- 6. As curvas de crescimento ilustram as mudanças no tamanho da população ao longo do tempo. Com disponibilidade de recursos e condições ambientais favoráveis, as populações de seres vivos tendem a crescer. Mas esse crescimento encontra obstáculos, seja pela própria falta de recursos, seja em decorrência de interações intra e interespecíficas. O crescimento hipotético das populações, na ausência de qualquer forma de resistência do meio, é chamado potencial biótico.

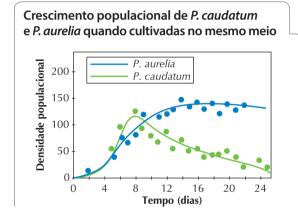
Curvas de crescimento populacional com e sem a resistência do meio



Analisando essas informações e o gráfico acima, é possível concluir que:

- a) a oscilação observada após a população ter alcançado a capacidade de suporte do meio deve ser ocasionada pela sazonalidade reprodutiva da espécie, que influencia os fatores ambientais de modo que se tornem ora favoráveis, ora desfavoráveis ao crescimento populacional.
- b) a resistência do meio é dependente da densidade e aumenta com o tamanho da população, o que possibilita atingir um equilíbrio dinâmico com oscilações em torno da capacidade de suporte do meio.

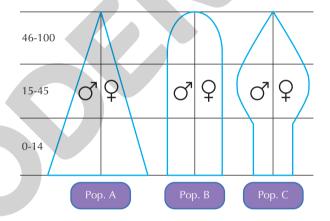
- c) a curva do potencial biótico, embora corresponda a um modelo teórico, pode ser alcançada em situações favoráveis, algo que provavelmente acontecia com as espécies presentes no planeta antes do surgimento do ser humano.
- d) a resistência do meio constitui-se, essencialmente, de fatores ambientais que variam naturalmente; a intervenção humana não é considerada um desses fatores.
- e) populações que se multiplicam em altas taxas, como as bactérias, são menos vulneráveis à resistência do meio e, portanto, aproximam-se do crescimento previsto pelo potencial biótico.
- 7. O gráfico a seguir descreve as variações de tamanho populacional de P. caudatum e P. aurelia cultivadas juntas, no mesmo meio.



- a) Alguma das populações chega ao tamanho que atingiria se estivesse separada da outra? Como você explicaria isso em termos da capacidade de suporte? Que tipo de interação interespecífica você acha que acontece com as duas espécies? Justifique.
- b) Qual das duas espécies você consideraria o competidor mais forte ou mais eficiente? Justifique.
- 8. (UEM-PR) Em uma área de preservação ambiental, pesquisadores estudaram uma população de macacos-prego. A área em questão é de 84 ha (1 ha = 10 000 m²). Considerando o tamanho inicial da população como 750 indivíduos (no início de 2006) e os dados de cinco anos que estão registrados na tabela a seguir, indique a(s) alternativa(s) correta(s).

Determinantes populacionais	Ano				
	2006	2007	2008	2009	2010
Natalidade	200	250	320	450	510
Mortalidade	70	93	57	108	122
lmigração	7	28	65	70	48
Emigração	10	15	32	83	139

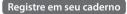
- (01) Em condições naturais, o potencial biótico é limitado pela resistência do meio.
- (02) Emigração é a entrada de novos indivíduos na população.
- (04) A densidade da população, no final do ano de 2010, foi de, aproximadamente, 23,44 macacos-prego/ha.
- (08) O tamanho da população, no final do ano de 2010, foi de 1 969 macacos-prego.
- (16) No final do ano de 2008, já houve um aumento de 100% da população de macacos-prego.
- 9. (Fuvest-SP) Os gráficos a seguir representam diferentes estruturas etárias de populações humanas. O eixo vertical indica idade e o eixo horizontal, número de indivíduos.



A população em expansão é:

- a) A, já que os adultos em idade reprodutiva e os idosos são mais numerosos do que as crianças.
- b) A, já que o número de crianças é maior do que o de adultos em idade reprodutiva.
- c) B, já que o número de adultos em idade reprodutiva e de crianças é praticamente igual.
- d) C, já que os adultos em idade reprodutiva são mais numerosos do que as crianças.
- e) C, já que o número de pessoas idosas é maior do que o de adultos em idade reprodutiva.

Reflita sobre seu aprendizado!



Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2; 3: 5: 6: 7

Habilidades: EM13CNT101; EM13CNT104; EM13CNT307

Fique por dentro

MagLev Cobra

O site traz diversas informações sobre o MagLev Cobra, trem que utiliza a tecnologia de supercondutores e ímãs produzidos a partir de terras-raras para locomoção. O protótipo foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Disponível em: http://www.maglevcobra.coppe.ufri.br/veiculo.html.

Terras-raras, o ouro do século XXI, são a arma da China na guerra tecnológica

LIY, M. V. *El País*, 16 jun. 2019.

A reportagem apresenta a atual posição da China em relação à exportação de terras-raras, mostrando a importância estratégica e tecnológica desses elementos químicos.

Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/06/06/economia/1559832258_232021.html.

Acessos em: 19 jun. 2020.

Metais e seus minérios

O trabalho com o minério de ferro e a importância desse metal para diversas sociedades podem ser mais bem compreendidos ao conhecermos alguns mitos africanos, como o do rei ferreiro. Segundo as narrativas que o envolvem, uma divindade era a responsável por eleger entre os seres humanos aquele que seria o rei ferreiro e a quem seria dado o conhecimento especial sobre a transformação do minério de ferro. Para muitas sociedades africanas, a importância do rei ferreiro está ligada histórica e simbolicamente à fertilidade e à legitimação de poder. Mas pode ser relacionada também às diversas modificações pelas quais essas sociedades passaram em decorrência da introdução da metalurgia, entre elas os contatos que foram estabelecidos entre comunidades distintas e a ampliação do comércio.

No século XIX, enquanto diversos povos europeus continuavam a demonstrar interesse econômico pelos minerais encontrados em diferentes regiões da África, para os africanos a exploração desses recursos mantinha-se pautada por questões ligadas a suas crenças e rituais, mostrando o tipo de relação que eles estabeleciam com a natureza. Um exemplo são os conhecimentos da transformação do minério de ferro ligados à atuação de um ser sobrenatural, como no caso do mito do rei ferreiro.

A Figura 3.1 mostra um objeto de ferro produzido por uma comunidade africana.



:: Minerais e minérios

Os metais têm grande importância no desenvolvimento das civilizações. Entretanto, a maioria deles, como o ferro e o alumínio, não são encontrados isolados na natureza. Isso quer dizer que seus átomos ou íons estão ligados a átomos ou íons de outros elementos químicos, formando **substâncias compostas**. Uma substância pode ser definida como uma porção específica de matéria com composição fixa e propriedades constantes e bem definidas.

As substâncias naturais a partir das quais se podem obter os metais são encontradas nos **minerais**. Os minerais são constituintes da crosta terrestre e estão presentes em rochas, materiais que foram formados ao longo de milhares de anos e que geralmente apresentam a associação de dois ou mais minerais. Dependendo da composição química e da abundância do mineral, é possível extrair metais dele, que são substâncias formadas por átomos de apenas um elemento químico (**substâncias simples**). Quando é econômica e tecnologicamente viável extrair as substâncias de interesse, os minerais são denominados **minérios**. O ouro e a platina são exemplos de minérios que não ocorrem de forma combinada com outros minerais.

FERNANDO JOSÉ FERREIRA

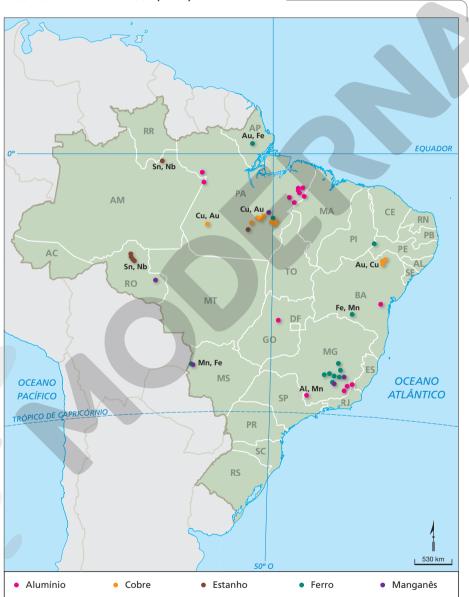


Figura 3.2 Fragmento de hematita com cerca de 20 cm × 15 cm. A hematita é um minério de brilho metálico, a partir do qual, por meio de transformações químicas, pode-se obter o ferro metálico, uma substância de grande importância para a fabricação de diversos materiais utilizados nas indústrias e no cotidiano.

O principal minério de ferro explorado no Brasil é a hematita (**Fig. 3.2**), mineral no qual o ferro – que é um elemento químico metálico – forma uma substância composta com o oxigênio – que é um elemento químico não metálico.

A mineração é realizada de diferentes modos, dependendo do mineral a ser extraído e das características geográficas e geológicas da região de extração. No Brasil, além de a exportação de minérios ser uma das mais relevantes para a economia, grande parte da produção industrial está diretamente ligada aos recursos minerais provenientes da natureza. Observe na **Figura 3.3** onde algumas reservas minerais estão localizadas no Brasil.

Figura 3.3 Localização de algumas das principais reservas minerais do Brasil (2017)



Fonte consultada: BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília: ANM, 2019. Disponível em: . Acesso em: 19 jun. 2020.

Note a grande quantidade de reservas de minério de ferro mostrada no estado de Minas Gerais. Na região do mapa na qual essas reservas estão indicadas está localizado, entre outros, o município de Brumadinho, atingido pelo desastre ambiental mostrado na abertura desta Unidade.

Fique por dentro 7 obras incríveis que

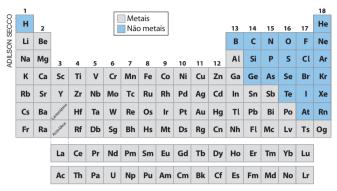
revelam a sintonia entre o aço inox e a arte O artigo traz a imagem e uma breve descrição de algumas obras de arte feitas com a liga metálica aço inoxidável expostas em diversos países. Disponível em: https://www.abinox.org.br/site/agenda-inox-noticias-detalhes.php?cod=5686&q=7+obras+incr%25C3%25 ADveis+que+revelam+a+s intonia+entre+o+a%25C3

%25A7o+inox+e+a+arte>.

Acesso em: 19 jun. 2020.

:: Metais e a tabela periódica

As substâncias simples formadas pelos elementos químicos da tabela periódica podem ser divididas em dois grandes grupos, de acordo com suas propriedades: **metais** e **não metais** (**Fig. 3.4**).



Fontes consultadas: IUPAC. Periodic table of the elements.
Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2018/12/IUPAC_
Periodic_Table-01Dec18.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2020; LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton:
CRC Press/Taylor and Francis, 2010.

Figura 3.4 Tabela periódica simplificada apresentando a classificação em metais e não metais das substâncias simples formadas pelos átomos dos respectivos elementos químicos.

Os metais são substâncias simples que apresentam brilho característico, boa condutibilidade elétrica e térmica e são sólidos a 25 °C e 1 atm (com exceção do mercúrio), podendo ser moldados e transformados em lâminas e fios, por serem maleáveis e dúcteis. Os elementos químicos não metálicos formam substâncias simples que, de maneira geral, não conduzem bem calor ou eletricidade.

Os elétrons de valência, aqueles localizados na camada mais externa ou nível mais afastado, no caso dos átomos de elementos guímicos metálicos, são pouco atraídos pelo núcleo, o que favorece a formação de cátions (íons de carga positiva). Essas espécies químicas podem trazer riscos ao ambiente e à saúde dos seres vivos em determinados níveis de exposição - a concentração máxima de certos cátions metálicos permitida na água para consumo humano, por exemplo, é determinada pela legislação (Portaria de Consolidação 5/2017, do Ministério da Saúde). O mercúrio está entre os metais que apresentam parâmetros mais restritos de aceitação na água para consumo humano, sendo considerado o mais tóxico. Os íons de mercúrio têm efeito bioacumulativo, ou seja, sua concentração e, consequentemente, seus efeitos tóxicos são aumentados ao longo da cadeia alimentar.

Lantanídeos e actinídeos

Observe na **Figura 3.4** os grupos dos lantanídeos e dos actinídeos. Os lantanídeos são os elementos químicos com número atômico de 57 (lantânio, La) a 71 (lutécio, Lu). Eles apresentam propriedades similares e já estavam presentes nas tabelas periódicas da década de 1930.

Com a descoberta dos elementos químicos de números atômicos 93 (netúnio, Np) e 94 (plutônio, Pu), notou-se que eles não apresentavam propriedades semelhantes às do rênio (Re) e do ósmio (Os), elementos químicos que os precediam nos grupos da tabela aos quais supostamente pertenciam. O químico estadunidense Glenn Seaborg (1912-1999) propôs que os elementos químicos de número atômico a partir de 89 formassem uma nova série semelhante à dos lantanídeos. Após os trabalhos de Seaborg, a tabela periódica foi reconfigurada, com a entrada da série dos actinídeos, elementos químicos de número atômico de 89 (actínio, Ac) a 103 (laurêncio, Lr), embaixo da série dos lantanídeos.

Terras-raras e tecnologia

As terras-raras englobam um grupo de 17 elementos químicos metálicos, sendo os 15 lantanídeos mais o escândio (Sc) e o ítrio (Y). Essa denominação provém da forma como eles foram identificados, no final do século XVIII: como terras (o que corresponde aproximadamente ao que entendemos hoje como óxidos minerais) e por se acreditar que eram raros na crosta terrestre, além de serem de difícil purificação. Atualmente sabemos que eles não estão presentes na crosta terrestre em quantidades relativamente tão pequenas como a expressão sugere.

Esses metais são de extrema importância em diversos setores industriais, principalmente de alta tecnologia, como na produção de veículos elétricos e híbridos. Por esse motivo, eles são considerados estratégicos desde 2011 pelo Ministério das Minas e Energia do Brasil.

A produção de terras-raras no Brasil teve início no final da década de 1940. A primeira fonte mundial desses elementos químicos foi encontrada nas praias de Cumuruxatiba, no estado da Bahia. A China entrou no mercado de produção de terras-raras por volta de 1980 e, em virtude de políticas governamentais, conseguiu produzir esses materiais a custos muito baixos. Atualmente, a China detém 80% da produção mundial.

O Brasil tem grande potencial para produzir terras-raras, pois há depósitos quantificados e dezenas de ocorrências ainda pouco estudadas. Porém, existem diversas restrições sociais, econômicas e tecnológicas para o beneficiamento dos minérios dos quais as terras-raras provêm. Um ponto fundamental para o sucesso da produção de terras-raras no Brasil é o estabelecimento de uma cadeia produtiva completa, envolvendo a extração, o beneficiamento, a purificação e, principalmente, a produção dos artigos de alta tecnologia e alto valor agregado com a utilização desses elementos químicos. Não menos importante é a discussão dos impactos sobre culturas tradicionais, já que muitos desses minérios ocorrem em terras indígenas. A participação dessas comunidades na tomada de decisão e nos eventuais lucros obtidos é uma garantia legal.

:: Ligação iônica

No Brasil, o minério mais comum para obtenção de terras-raras é a monazita (**Fig. 3.5**), que geralmente se apresenta na forma de fosfatos. Íons fosfato (PO₄³⁻) ligados a íons metálicos formam compostos que têm predominantemente **caráter iônico**.



Figura 3.5 A monazita é um minério constituído de fosfatos que apresenta em sua composição algumas terras-raras, além de tório. A areia monazítica pode ser encontrada, por exemplo, em algumas praias de Guarapari, ES, sendo periodicamente coletada para estudos científicos

A maioria dos elementos químicos metálicos é encontrada na natureza na forma de óxidos (O^{2-}), sulfetos (S^{2-}), haletos (ânions do grupo 17, os quais apresentam valência -1), carbonatos (CO_3^{2-}), fosfatos ou outros compostos de caráter predominantemente iônico. Veja na **Figura 3.6** a forma como alguns elementos químicos podem ser encontrados na natureza. Observe que a maioria deles ocorre como substância composta.

																Н	He	
Li	Ве											В	С	N	0	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	Р	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	٧	Cr	Mn	Fe	Со	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Υ	Zr	Nb	Мо		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	ln	Sn	Sb	Te	1	Xe	
Cs	Ва	La	Hf	Та	W	Re	Os	lr	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi			Rn	
				Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	
Sulfetos Óxidos				S	ubst	ânc			Ou	tros		Fo	sfato	os	Ca	arbo	natos	

Fonte: KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Tradução: Flávio Maron Vichi e Solange Aparecida Visconte, 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. v. 2.

Figura 3.6 Tabela periódica simplificada apresentando a forma de ocorrência de alguns elementos químicos na natureza.

A ocorrência natural dos elementos químicos na forma de **substâncias simples** – aquelas formadas por espécies químicas de um único elemento químico – ou de **substâncias compostas** – que são as formadas por espécies químicas de mais de um elemento químico – pode ser explicada pela reatividade, ou seja, a facilidade com que as espécies químicas participam de transformações químicas.

A **Tabela 3.1** mostra as principais fontes minerais de alguns metais e os principais compostos presentes nelas. Observe que os minérios estão identificados por uma nomenclatura própria da área de conhecimento da Geologia. Essa denominação geralmente é baseada nos locais onde eles foram encontrados pela primeira vez, no nome da pessoa que primeiro os identificou ou em alguma de suas características físico-químicas, como a cor.

Tabela 3.1 Principais fontes minerais de alguns metais					
Metal principal	Minério	Composto principal			
Alumínio	Bauxita	Al_2O_3			
Cério, lantânio, neodímio	Bastnasita	(Ce, La, Nd)(CO ₃)F			
Cério, lantânio, tório	Monazita	(Ce, La, Th)PO ₄			
Chumbo	Galena	PbS			
	Calcocita	Cu ₂ S			
Cobre	Calcopirita	CuFeS ₂			
	Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂			
Estanho	Cassiterita	SnO ₂			
Ганна	Hematita	Fe ₂ O ₃			
Ferro	Magnetita	Fe ₃ O ₄			
Ítrio, disprósio, itérbio	Xenotima	(Y, Dy, Yb)PO ₄			
Titânio	Rutilo	TiO ₂			
Zinco	Esfalerita	ZnS			

Fontes consultadas: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central. Tradução: Robson Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005; CANTO, E. L. Minerais, minérios, metais: de onde vêm?, para onde vão? 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004; SOUZA FILHO, P. C.; SERRA, O. A. Terras-raras no Brasil: histórico, produção e perspectiva. Química Nova, v. 37, mar. 2014.

Os principais compostos dos minérios mencionados estão indicados na tabela por suas fórmulas químicas, as quais nos informam a proporção entre os elementos químicos. Como pode ser explicada a formação de tais substâncias de caráter predominantemente iônico do ponto de vista submicroscópico?

Formação de íons e estabilidade energética

A formação de íons positivos e íons negativos está relacionada à energia de ionização (E_i) e à afinidade eletrônica (E_{ae}) dos átomos. Observe o modelo submicroscópico apresentado na **Figura 3.7**.

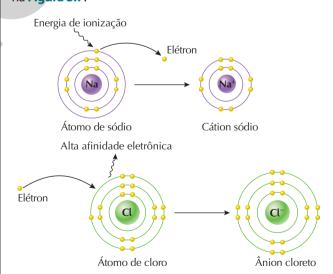


Figura 3.7 Formação do cátion sódio e do ânion cloreto a partir dos átomos dos respectivos elementos químicos na fase gasosa e no estado fundamental, considerando o modelo atômico de Bohr--Sommerfeld. As esferas roxas e verdes representam os núcleos, as esferas amarelas representam os elétrons e os círculos representam as órbitas. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Considerando as espécies químicas em fase gasosa, o átomo de sódio, quando absorve determinada quantidade de energia, é ionizado, perdendo seu elétron da camada de valência. O átomo de cloro libera energia ao capturar um elétron. O resultado é a formação dos íons Na⁺ e Cl⁻, ambos com oito elétrons na camada de valência. A substância cloreto de sódio, presente no sal de cozinha, é formada pela ligação entre essas espécies na proporção 1:1, o que se reflete na neutralidade elétrica da substância.

Assim como na formação de moléculas, podemos considerar a regra do octeto para prever a ligação entre alguns átomos e obter a fórmula química de compostos iônicos, mas é preciso nos lembrarmos de suas limitações.

Como estudamos na formação de moléculas, as ligações químicas geralmente envolvem a formação de uma espécie energeticamente mais estável. Para compreendermos a síntese de um composto predominantemente iônico com base na estabilidade energética, vamos utilizar como exemplo a substância cloreto de sódio. Considere o sistema formado por átomos isolados de sódio e cloro, ambos em fase gasosa.

A formação de cátions sódio e ânions cloreto, ambos em fase gasosa, leva a um sistema de maior energia $(E_i(Na) > E_{ae}(Cl))$. Porém, as interações entre os íons formam um sistema em que cátions e ânions estão organizados de acordo com uma regularidade geométrica. Esse é um sistema de menor energia, mais estável que as espécies que o originaram. O processo de formação desse sistema pode ser representado pelas equações químicas a seguir.

Na(g)
$$\longrightarrow$$
 Na⁺(g) + e⁻ $E_i = +496 \text{ kJ mol}^{-1}$
Cl(g) + e⁻ \longrightarrow Cl⁻(g) $E_{ae} = -349 \text{ kJ mol}^{-1}$
Na⁺(g) + Cl⁻(g) \longrightarrow NaCl(s) $E_{reticulo} = -786 \text{ kJ mol}^{-1}$

Fonte: KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Tradução: Flávio Maron Vichi e Solange Aparecida Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. v. 1.

Note que a energia liberada na formação da substância em fase sólida supera a energia absorvida no processo de formação dos íons em fase gasosa. De maneira geral, esse modelo pode ser estendido aos demais compostos de cárater predominantemente iônico.

Entre os íons ocorrem interações eletrostáticas, ou seja, há repulsão entre íons de mesma carga e atração entre íons de carga oposta. Essas interações são denominadas **ligações iônicas**. Também se observa repulsão entre elétrons de átomos vizinhos e, de forma semelhante, entre seus núcleos.

Como resultado das forças eletrostáticas de atração e repulsão que ocorrem em todas as direções, os cátions e os ânions organizam-se simetricamente no espaço, resultando na estrutura denominada **retículo cristalino** (**Fig. 3.8**). Esse modelo ajuda a explicar por que o cloreto de sódio, bem como a maioria das substâncias iônicas (ou seja, as substâncias formadas por íons), é encontrado, a 25 °C e 1 atm, na forma de cristais, com geometria bem definida.

A partir da análise de formação do retículo cristalino do cloreto de sódio, é possível inferir quando a formação de uma ligação iônica é energeticamente favorável: uma vez que o átomo do elemento químico que formará o cátion

deve apresentar baixa energia de ionização e baixa afinidade eletrônica, geralmente têm-se elementos químicos metálicos constituindo tais cátions. Já os ânions serão constituídos por átomos de elementos químicos que apresentem grande energia de ionização e alta afinidade eletrônica, como os não metais. No geral, é energeticamente mais favorável que os metais formem cátions e os não metais formem ânions, interagindo por meio de ligação iônica.

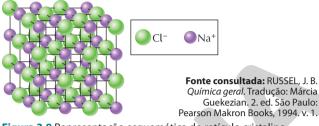


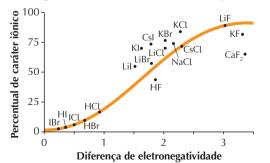
Figura 3.8 Representação esquemática do retículo cristalino do cloreto de sódio por meio do modelo de esferas e bastões. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

É importante ressaltar que no retículo cristalino não ocorrem ligações entre pares específicos de íons. Na realidade, como as interações eletrostáticas se dão em todas as direções, todos os íons interagem com os demais ao seu redor. A ligação iônica é uma característica do cristal como um todo. Assim, as fórmulas químicas dos compostos mostrados na **Tabela 3.1** indicam qual é a proporção mínima (menores números inteiros) entre os íons que constituem o retículo cristalino.

Ligação iônica ou ligação covalente?

Os modelos de ligação iônica e de ligação covalente estudados neste volume representam casos extremos. A maioria das ligações reais tem caráter parcial entre esses dois modelos. Dependendo da diferença de eletronegatividade entre os átomos que participam da ligação química, ocorre o predomínio de um ou de outro tipo. Observe na Figura 3.9 como varia a contribuição do modelo de ligação iônica em função da diferença de eletronegatividade entre os elementos químicos nos compostos.

Figura 3.9 Percentual de caráter iônico dos compostos em função da diferença de eletronegatividade entre os elementos químicos



Fonte: PETRUCCI, R. H. *et al. General chemistry:* Principles and modern applications. 10. ed. Toronto: Pearson Prentice Hall, 2010.

Pelo gráfico observa-se que, quando a diferença de eletronegatividade aproxima-se de 2, o caráter iônico passa a sobressair ao caráter covalente.

Os íons e a tabela periódica

A carga de um íon corresponde à quantidade de elétrons que pode ser removida ou ganha pelo átomo que o origina. Ela pode ser prevista por meio da tabela periódica para diversos elementos químicos classificados como representativos, conforme mostra a **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2 Alguns íons e os grupos aos quais pertencem os elementos químicos correspondentes

Símbolos dos íons

Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, Cs⁺

Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺

2

Al³⁺

O²⁻, S²⁻

16

F⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻

17

Fonte consultada: LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. Tradução: Henrique E. Toma, Koiti Araki e Reginaldo C. Rocha. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 1999.

Perceba que o símbolo de cada íon é formado pelo símbolo do elemento químico acompanhado da respectiva carga elétrica. Alguns elementos químicos formam apenas um tipo de íon – é o caso da maioria dos elementos representativos; há outros que podem formar íons com diferentes cargas – isso é comum entre os elementos de transição. O ferro, por exemplo, forma os íons Fe²⁺ e Fe³⁺.

Independentemente do composto iônico analisado, ele sempre será neutro, ou seja, a soma das cargas positivas será sempre igual à soma das cargas negativas. Assim, sua fórmula deve representar não a quantidade total de cátions e ânions, mas, sim, a proporção entre eles no retículo cristalino. Essa proporção é constante para determinada substância e, por isso, é um dos critérios usados para caracterizá-la.

A fórmula da substância pode ser melhor compreendida ao utilizarmos as fórmulas de Lewis (ou fórmula eletrônica) para representar a ligação iônica. Veja o exemplo com o óxido de alumínio, de fórmula ${\rm Al_2O_3}$, uma das substâncias presentes na bauxita.

Al O

Observe que para cada dois cátions alumínio (Al^{3+}) existem três ânions óxido (O^{2-}), portanto, em uma proporção 2:3, o que nos permite escrever a fórmula química do óxido de alumínio.

Íons poliatômicos e íons complexos

Nem todo composto iônico é formado pelo arranjo de apenas dois elementos químicos. Alguns íons, denominados **íons poliatômicos**, são formados por mais de um elemento químico, como é o caso do ânion fosfato, presente em substâncias encontradas na monazita e na xenotima (conforme **Tabela 3.1**). Esse ânion pode ser representado por PO₄³⁻. Isso significa que ele é formado por um átomo de fósforo ligado a quatro átomos de oxigênio, sendo a carga do conjunto indicada pelo número sobrescrito. A ligação

entre os átomos que formam esse ânion não é iônica, mas, sim, covalente. Outros exemplos de íons poliatômicos são os ânions sulfato (SO_4^{2-}) , hidróxido (OH^-) e nitrato (NO_3^-) .



Ânion fosfato

Nos chamados **íons complexos**, íons metálicos (o íon central da espécie química) encontram-se ligados covalentemente a moléculas (como a molécula de água) ou a outros íons, formando com eles uma unidade estrutural que não se dissocia na presença de solvente. Essas moléculas, ou íons, que compartilham um de seus pares de elétrons com o cátion central, são denominadas ligantes. Como exemplo, podemos citar o complexo $[ScF_6]^{3-}$, no qual o íon escândio $(Sc^{3+}$, terra-rara) acomoda em seus orbitais vazios de energia adequada pares de elétrons doados pelos íons fluoreto (F^-) . Nesse exemplo, o cátion escândio é o íon central e os ânions fluoreto são os ligantes.

Propriedades dos compostos iônicos

Os compostos de caráter predominantemente iônico apresentam, geralmente, temperaturas de fusão e de ebulição relativamente elevadas. Essas propriedades, que determinam diversas aplicações desses compostos, podem ser explicadas com o auxílio do modelo de ligação iônica. Elas relacionam-se à magnitude das interações eletrostáticas, as quais dependem da carga e do tamanho dos íons. Por exemplo, o NaCl funde-se a cerca de 800 °C, enquanto o MgO funde-se a cerca de 2.850 °C. Compare esses dados com as informações da Tabela 3.2.

Como estudamos, a formação da rede cristalina fornece estabilidade ao composto formado e regularidade à sua estrutura. A **Tabela 3.3** apresenta algumas propriedades dos compostos iônicos e seus modelos explicativos.

Tabela 3.3 Algumas propriedades dos compostos iônicos relacionadas à estrutura cristalina					
Propriedades	Modelo explicativo				
Na fase sólida não conduzem eletricidade.	Os íons positivos e negativos formam estruturas cristalinas, em redes mantidas pela atração entre as cargas opostas. Nessa estrutura, os íons apresentam pouca mobilidade.				
Quando estão na fase líquida, conduzem eletricidade.	Ao ser desfeita a rede cristalina, os íons livres apresentam elevada mobilidade e podem atuar na condução de corrente elétrica.				
Apresentam determinada dureza, mas são quebradiços.	Se certa pressão ou tensão é aplicada a um cristal, os planos cristalinos dispostos em redes deslizam, repelindo os íons de cargas iguais e fazendo com que o material seja fraturado.				

Fonte consultada: ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de Química*: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

:: Ligações metálicas

Os óxidos de ferro presentes nos minérios magnetita e hematita são compostos de caráter iônico, não participando da condução de eletricidade na fase sólida. Entretanto, o ferro metálico, que pode ser obtido por meio do beneficiamento desses minérios, apresenta alta condutibilidade elétrica, assim como outros metais, como o cobre, o alumínio e o zinco. Que hipótese pode ser levantada para explicar essa propriedade dos metais?

Os elementos químicos metálicos, de modo geral, apresentam baixa energia de ionização e baixa afinidade eletrônica, além de reduzida tendência em atrair os elétrons em uma ligação química, ou seja, há maior tendência para a perda de elétrons da camada de valência e a formação de cátions. Assim, quando dois átomos metálicos estão próximos, apresentam forças de atração entre núcleos e elétrons muito fracas.

Para que haja a maior atração e a menor repulsão possíveis entre os átomos metálicos, é necessário que muitos deles estejam próximos uns dos outros, em um arranjo tridimensional semelhante ao dos cristais iônicos, atraindo os elétrons dos átomos vizinhos em todas as direções. Essa soma de interações individualmente fracas resulta em interações muito fortes, quando se considera uma grande quantidade de átomos.

Em um dos modelos propostos para explicar essas interações, os elétrons mais externos dos átomos metálicos adquirem mobilidade entre os próprios átomos. Assim, os átomos dos elementos químicos metálicos têm comportamento semelhante aos cátions correspondentes e permanecem ligados pelas forças de atração entre eles e os elétrons livres dos outros cátions metálicos da estrutura. Por isso, pode-se relacionar esse modelo à presença de uma nuvem eletrônica, na qual há a livre circulação de elétrons em torno dos cátions, compondo uma rede ou estrutura metálica (**Fig. 3.10**).

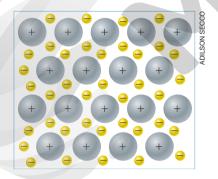


Figura 3.10 Representação submicroscópica de uma nuvem de elétrons livres em uma estrutura metálica, proposta para explicar a ocorrência da ligação metálica. As esferas amarelas com sinal negativo representam os elétrons livres, e as esferas cinza com sinal positivo representam os cátions metálicos. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nesse modelo, os elétrons de valência apresentam alta mobilidade, não estando ligados a nenhum átomo em particular. A formação dessa nuvem eletrônica é explicada pela baixa energia de ionização e pela baixa tendência dos átomos dos metais em atrair elétrons para si, o que favorece a formação de cátions. Desse modo, os elétrons de valência desses elementos químicos formam um conjunto de elétrons que circulam livremente na estrutura, sem uma localização definida.

Propriedades dos metais

As propriedades que os metais geralmente apresentam, como maleabilidade, brilho, alta temperatura de fusão, alta condutibilidade elétrica e térmica e resistência mecânica, se devem a propriedades submicroscópicas, como a facilidade de movimentação dos elétrons e a formação de estruturas organizadas.

De modo semelhante ao que ocorre com os compostos iônicos, as intensidades das forças de interação entre as partículas que formam a estrutura metálica, segundo o modelo discutido, fazem com que os metais apresentem altas temperaturas de fusão e de ebulição e elevadas densidades. As condutibilidades elétrica e térmica dos metais podem ser explicadas pela hipótese da existência de uma nuvem de elétrons que se movimentam livremente pela estrutura, o que permite a condução da corrente elétrica e a transferência de calor. Além disso, esses elétrons na superfície dos metais são capazes de absorver e reemitir a luz; por isso, os metais apresentam brilho característico.

O modelo de nuvem eletrônica proposto para a ligação metálica também explica a **maleabilidade** dos metais, isto é, a propriedade que permite a um material sofrer deformações sem que se quebre. Isso ocorre porque a presença de elétrons com grande liberdade de movimento produz uma ligação não direcionada. Assim, quando um material metálico é submetido a um esforço mecânico, pode ocorrer facilmente a acomodação de seus cátions e elétrons em novas posições. Essa é a principal diferença entre as estruturas metálicas e as cristalinas iônicas, que são mais rígidas e mais facilmente rompidas.

Outra propriedade que pode ser explicada por esse modelo é a dureza dos metais. Quanto maior a carga do íon metálico formado, maior o esforço necessário para deformá-lo. Isso acontece porque, quanto maior a carga, maior a atração efetiva entre os cátions e os elétrons livres, o que diminui a maleabilidade do metal.

Ligas metálicas

Ornamentos e utensílios de metal são marcas da cultura de diversas civilizações. Metais preciosos, como prata, ouro e platina, costumam ser empregados na produção de adornos e estátuas não só por sua beleza e por serem raros, mas por serem também muito resistentes a transformações químicas. Já utensílios como ferramentas, arados, armas e moedas requerem características que geralmente não são encontradas em uma substância metálica pura; para reunir as características desejáveis, é preciso misturar substâncias diferentes. Quando nessas misturas um dos componentes é

ADILSON SECCO

um metal, tem-se o que chamamos liga metálica. Como as ligas metálicas apresentam características diferentes das dos metais que as formam, elas podem apresentar vantagens para fins específicos. Veja as informações na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4 Algumas ligas metálicas, seus principais componentes e aplicações

• • •				
Nome da Principais componentes		Aplicações		
Aço	Fe e C	Utensílios domésticos, indústrias automobilística e naval		
Aço inoxidável	Fe, C e Cr	Utensílios domésticos, construção civil, próteses ósseas		
Latão	Cu e Zn	Tubos, instrumentos musicais		
Ouro 18 quilates	Au, Ag e Cu	Joias		
Solda	Pb e Sn	Soldagem de metais		
Bronze	Cu e Sn	Moedas, sinos		

Fonte consultada: ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de Química*: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

:: Beneficiamento de minérios

Como, na maioria das vezes, os minérios apresentam-se na natureza associados a outros minerais, rochas e terra, é necessário separar o conjunto de materiais não aproveitáveis daqueles que podem ser explorados economicamente. Essa separação é um dos objetivos do processo chamado **beneficiamento**.

O beneficiamento de alguns minérios, como o de ferro, requer grandes quantidades de recursos, como água e energia, além de gerar resíduos (rejeitos). Essa é uma das razões pelas quais a mineração pode causar grandes desastres – como o ocorrido em Brumadinho, em 2019.

A fim de diminuir os impactos negativos na economia, na saúde pública e no ambiente, vários centros de pesquisa vêm procurando alternativas para purificar substâncias, além de aprimorar as técnicas já existentes. O desenvolvimento da **química verde** já permitiu substituir determinadas técnicas e produtos tóxicos usados nas etapas de extração, separação e produção dos derivados minerais, mas nem todas as substâncias têm suas propriedades bem caracterizadas, o que dificulta a prevenção de impactos ambientais.

A extração de minérios é resultado das demandas da sociedade. Nesse sentido, ao lado do desenvolvimento científico e tecnológico de novos processos de separação, é preciso que as decisões sejam tomadas dentro de princípios éticos e que repensemos o nosso consumo, garantindo que os recursos naturais sejam utilizados de maneira inteligente, por nós e pelas futuras gerações.

Para melhor compreendermos a problemática envolvida no beneficiamento de minérios, especialmente seus impactos ambientais e sociais, é importante conhecer algumas etapas desse processo.

Técnicas de separação de misturas

Nas etapas iniciais do beneficiamento de minérios podem ser empregadas diferentes técnicas de separação de sistemas heterogêneos sólidos, como as que são apresentadas a seguir.

Peneiração

Geralmente, o beneficiamento se inicia com a fragmentação de grandes blocos de rocha retirados das minas, que contêm o minério de interesse misturado a outros materiais. Os pedaços fragmentados passam, então, por peneiras e são separados de acordo com sua granulometria (diferença de tamanho dos fragmentos). Ou seja, a **peneiração** é uma técnica de separação de sistemas heterogêneos de sólidos de acordo com a diferença de tamanho de seus constituintes.

Um tipo muito comum de peneiras utilizadas na mineração são as peneiras vibratórias (**Fig. 3.11**): máquinas com uma ou mais superfícies perfuradas e inclinadas, chamadas *decks*, que podem ser metálicas ou não. Os orifícios por onde passam os materiais retirados das minas podem ter formatos diversos para separar esses materiais com diferentes granulometrias; porém, em um mesmo *deck*, os tamanhos dos orifícios são os mesmos.

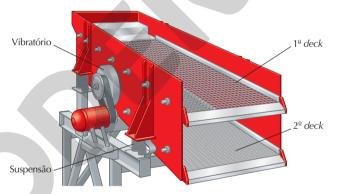


Figura 3.11 Representação esquemática de uma peneira vibratória com dois *decks* usada em mineração. Suas dimensões (largura \times comprimento) podem variar de 1,2 m \times 3,0 m a 3,0 m \times 7,3 m, e ela pode chegar a cerca de 16 t. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O material extraído é colocado na peneira para que passe através dos *decks*, separando-se as partículas menores das maiores. O processo é auxiliado pelo movimento vibratório do equipamento, acionado por um motor.

Quando são empregadas malhas mais finas para separar partículas de tamanhos menores, pode-se utilizar água a fim de melhorar a eficiência da peneiração. Nesse caso, são usadas peneiras com superfícies horizontais. Essa água, ao final do processo, apresenta partículas de terra e minerais, devendo ser tratada antes de retornar à natureza.

Levigação

O ouro, diferentemente da maioria dos elementos químicos metálicos, pode ser encontrado na natureza na forma de substância simples (Au), e não como constituinte de substâncias compostas, caso do ferro, que se apresenta, por exemplo, combinado com o oxigênio (Fe $_2$ O $_3$). Ainda assim, a substância

metálica ouro aparece em misturas com outros materiais, devendo também passar por processos de separação. Um dos processos utilizados nos garimpos é a **levigação**, que consiste em separar um sistema heterogêneo de sólidos pela passagem da água. Nesse processo, quando a corrente de água atravessa a mistura, os materiais menos densos – como a terra – são arrastados, separando-se do metal de interesse.

Os equipamentos utilizados na levigação podem ser um aparato de superfície inclinada, pela qual se faz passar água corrente, que arrasta os materiais menos densos, ou uma bateia (**Fig. 3.12**), espécie de bacia cônica que, com a passagem de água, retém os materiais mais densos, permitindo que os menos densos sejam arrastados para fora.



Figura 3.12 Monumento ao Garimpeiro, escultura em alumínio inaugurada no final da década de 1960 em que se pode ver a bateia (Boa Vista, RR, s/d).

Catação

Assim como a levigação, a **catação** é um processo artesanal ainda muito comum em alguns garimpos e consiste em inspecionar visualmente uma amostra e separar manualmente os minerais de interesse. Ela pode ser empregada com a peneiração e a levigação, quando realizadas de forma a garantir maior eficiência.

Separação magnética

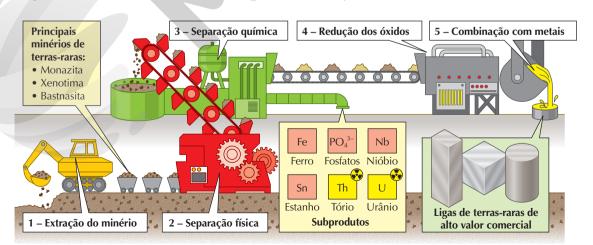
Além da catação, há diversas outras técnicas utilizadas para aumentar a concentração dos minérios, ou seja, aumentar a quantidade relativa desses minérios em uma amostra pela retirada dos materiais indesejáveis. Uma delas é a **separação magnética**, que consiste em separar os materiais que apresentam propriedades magnéticas, ou seja, que são influenciados pela aplicação de um campo magnético, por meio de um eletroímã, daqueles que não apresentam propriedades magnéticas. Na **Figura 3.5** é possível notar que a areia apresenta duas cores. A areia preta apresenta em sua composição óxido de titânio e ferro, em uma estrutura chamada ilmenita. Esse mineral é magnético, portanto, é possível separar as duas areias utilizando um imã.

Flotação

Essa é uma das principais técnicas usadas na indústria mineral, especialmente no beneficiamento de minério de ferro, para concentrar uma espécie de interesse. Para que a separação ocorra, prepara-se uma suspensão dos fragmentos de minério em água na presença de surfactantes ou tensoativos. Essas substâncias reagem com o material de interesse presente na amostra de minério formando partículas de caráter hidrofóbico, ou seja, que não interagem favoravelmente com a água. A flotação ocorre quando se borbulha ar no sistema. As partículas hidrofóbicas aderem às bolhas formando uma espuma que arrasta o material de interesse para a superfície do líquido, facilitando sua remoção.

Processos metalúrgicos e terras-raras

A fim de obter o metal a partir de seu mineral e utilizá-lo para os mais diversos fins, são empregados processos metalúrgicos que serão estudados no **Tema 4**. Esses processos envolvem, geralmente, várias etapas. A **Figura 3.13** apresenta algumas dessas etapas metalúrgicas para a obtenção de terras-raras.



Fonte consultada: O minério da vez. Em discussão!, n. 17, 2013. Disponível em: http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/Upload/201304%20-%20setembro/pdf/em%20discuss%C3%A3o!_setembro_2013_internet.pdf. Acesso em: 22 jun. 2020.

Figura 3.13 Representação esquemática das principais etapas do processo metalúrgico para a obtenção de terras-raras e suas ligas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Após a extração, que consiste na retirada do minério da litosfera, ocorre a **separação física**, que inclui fragmentação (britagem e moagem), peneiração e flotação. Essa etapa se baseia, portanto, nas diferenças entre as propriedades físicas do minério e do material sem valor comercial que o acompanha, denominado ganga. Com isso, a concentração do minério no material extraído aumenta.

Depois da concentração do minério, aplica-se uma variedade de processos químicos para a obtenção dos óxidos dos metais. No caso das terras-raras, essa etapa é muito complexa, pois esses elementos químicos apresentam propriedades físico-químicas muito semelhantes, o que dificulta e encarece os processos para sua separação.

Além disso, durante as reações são gerados subprodutos radioativos, como o tório (Th) e o urânio (U), que precisam de tratamento e armazenamento adequados para evitar contaminação ambiental.

Uma vez separados os óxidos metálicos, promove-se uma **transformação química** desses compostos, denominada redução, da qual obtemos os metais. A etapa final do processo consiste no refino (ou purificação) do metal obtido e na mistura desse metal com outras substâncias que alteram suas propriedades, quando necessário. Para as terras-raras, na etapa final são formadas **ligas metálicas** de alto valor comercial, como as ligas de neodímio e érbio de que são feitas as turbinas eólicas.

Atividades

1. Uma das possíveis estratégias para se gerar efeito de humor em uma charge é o uso do duplo sentido. É o que ocorre na charge a seguir. Analise-a e explique o emprego desse recurso expressivo pelo cartunista.



2. Leia o texto e responda aos itens a, b e c.

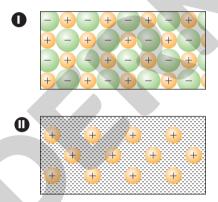
O minério cromita é valorizado pelo seu teor em óxido crômico (Cr_2O_3), sendo comercializado normalmente com teores de 35 a 55% de Cr_2O_3 . O ferro-cromo usualmente contém 50 a 60% de cromo (Cr), enquanto o cromo metálico apresenta mais de 99% de pureza.

Em virtude do aço inoxidável ser o principal uso final para o cromo, a sua produção mundial desempenha um papel determinante na demanda desse bem, com influência marcante sobre os preços das ligas de ferro-cromo e do minério cromita.

Fonte: BRASIL. Agência Nacional de Mineração.
Balanço mineral brasileiro – 2001. Departamento
Nacional de Produção Mineral (DNPM). Disponível em:
https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001/view>. Acesso em: 19 jun. 2020.

- a) Considerando os elementos químicos citados, classifique o tipo de ligação química presente no óxido crômico.
- b) Analise as representações esquemáticas de dois tipos de ligações químicas mostradas a seguir e associe o modelo adequado ao crômio e ao óxido crômico. Justifique sua resposta.

Registre em seu caderno



- c) Por causa do tipo de ligacão química existente no cromo – ou crômio – e no óxido crômico – ou óxido de crômio(III) –, algumas propriedades, como a condutibilidade elétrica, são bem distintas entre essas substâncias. Explique o porquê dessa diferença de condutibilidade.
- (Uerj) Para fabricar um dispositivo condutor de eletricidade, uma empresa dispõe dos materiais apresentados na tabela abaixo:

Material	Composição química
I	С
II	S
III	As
IV	Fe

Sabe-se que a condutividade elétrica de um sólido depende do tipo de ligação interatômica existente em sua estrutura. Nos átomos que realizam ligação metálica, os elétrons livres são os responsáveis por essa propriedade. Assim, o material mais eficiente para a fabricação do dispositivo é representado pelo seguinte número:

- a) I.
- **b)** II.
- c) III.
- d) IV.

- **4.** A eletrodiálise é uma técnica analítica que combina o uso de membranas de troca iônica com gradiente de potencial elétrico para a remoção de cátions e ânions de soluções aquosas. Com a aplicação de campo elétrico entre dois eletrodos, os íons são atraídos para o polo de carga oposta.
 - Considere a dissolução em água do FeSO₄, processo que leva à dissociação dos íons que compõem o retículo cristalino. Ao se aplicar um campo elétrico a essa solução, qual íon migrará no sentido do polo positivo e qual vai migrar para o polo negativo?
- 5. Um laboratório recebeu diferentes amostras e, após algumas análises, encontrou as informações apresentadas na tabela a seguir.

Resultado das análises químicas de algumas substâncias						
Amostra	Condutividade elétrica a 25°C e 1 atm	TF (°C) a 1 atm	TE (°C) a 1 atm			
I	Não	-223	-183			
II	Em solução	995	1.704			
III	Baixa	0	100			
IV	Alta	1.596	2.919			
V	Em solução	801	1.705			

Determine quais amostras podem ser de substância formada por ligações iônicas e de substância formada por ligações metálicas. Justifique.

- **6.** Com base na **Figura 3.8**, proponha uma representação para o retículo cristalino do brometo de potássio.
- 7. O latão é uma liga metálica formada pelos metais cobre e zinco, com porcentagens que variam entre 5% e 45% de zinco. Ele é utilizado vastamente pela indústria na produção de tubos de condensadores, torneiras, cadeados, terminais elétricos, tachos etc. Utilize a tabela a seguir, com informações sobre a condutividade do latão, e responda aos itens a e b.

% Cu (massa)	Condutividade elétrica (10°/Ωm)
95	3,37
90	2,59
85	2,17
80	1,90
70	1,63

Fonte consultada: LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

- a) Esboce um gráfico relacionando percentual de cobre e condutividade elétrica.
- b) Analisando as informações do gráfico, deduza qual dos dois metais apresenta maior condutividade elétrica quando puro. Justifique sua resposta.
- 8. Leia o texto a seguir e responda aos itens de a a d.

Entre as propriedades do mercúrio, está a capacidade [...] desse elemento [de] se acumular ao longo da cadeia alimentar, causando a contaminação de peixes e o risco de envenenamento de quem deles se alimenta, inclusive seres humanos. [...]

Para o garimpeiro, o que importa são outras propriedades do mercúrio. Primeiro, a capacidade de se unir a outros metais e formar amálgamas, o que é fundamental em garimpos, onde os minúsculos grãos de ouro precisam ser separados dos sedimentos dragados de leitos de rios ou da terra escavada.

[...]

A capacidade de formar amálgama não é a única propriedade do mercúrio que interessa aos garimpeiros. Ele se liquifica e evapora em temperaturas menores do que o ouro. Portanto, basta um maçarico para separar os dois metais e obter o ouro puro. Quando realizado em ambiente aberto, esta parte do processo libera o mercúrio em forma de gás para a atmosfera. [...]

Fonte: MUSEU GEOLÓGICO DA BAHIA. Porque o mercúrio é usado na mineração de ouro. Disponível em: http://www.mgb.ba.gov.br/novidades/porque-o-mercurio-e-usado-na-mineracao-de-ouro/>.

Acesso em: 28 mar. 2020.

- a) A substância simples formada pelo mercúrio apresenta uma característica única entre todas as outras formadas por metais. Que característica é essa e como ela auxilia a aplicação do mercúrio na separação do ouro?
- b) Em relação à produtividade do processo de extração, quais são as vantagens de utilizar mercúrio nos garimpos de ouro?
- c) As vantagens identificadas no item b justificam o uso do mercúrio diante dos problemas de saúde e ambientais que ele pode causar? Como o conhecimento químico poderia influenciar o trabalho e a qualidade de vida dos garimpeiros?
- d) Sabe-se que o mercúrio tem efeito bioacumulativo. No entanto, não consumir plantas e animais contaminados seria suficiente para evitar a intoxicação das pessoas por mercúrio? Justifique sua resposta com base em propriedades físicas do mercúrio citadas no texto.

Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

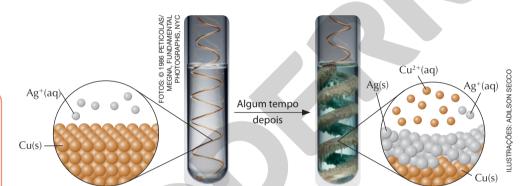
Competências gerais: 1; 5; 6 Habilidades: EM13CNT101; EM13CNT104; EM13CNT106; EM13CNT203; EM13CNT205; EM13CNT307

Processos metalúrgicos extrativos

A metalurgia extrativa compreende a Ciência e a tecnologia de extração de metais a partir de suas fontes naturais e sua preparação para uso prático. Ela geralmente envolve várias etapas, e em pelo menos uma delas há uma **reação de oxirredução**, também chamada de óxido-redução ou redox, a qual se caracteriza pela transferência de elétrons entre espécies químicas. As reações do tipo redox podem ser espontâneas, como ocorre nas pilhas comerciais e na formação da ferrugem, ou não, como é o caso da eletrólise, em que é necessário fornecer energia ao sistema para que a reação se processe.

:: Fundamentos das reações de oxirredução

Vamos analisar a reação de oxirredução espontânea entre o cobre metálico e uma solução aquosa de nitrato de prata levando à formação de prata metálica e de solução aquosa de nitrato de cobre(II) (**Fig. 4.1**).



Fonte consultada: KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*. Tradução Flávio M. Vichi e Solange A. Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, v. 2, 2012.

Figura 4.1 Reação de oxirredução entre o cobre (fio metálico) e a prata (solução aquosa de nitrato de prata, AgNO₃), acompanhada de modelos submicroscópicos nos quais, por simplificação, as moléculas de áqua e os ânions nitrato não foram representados. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Semirreação de oxidação	$Cu(s) \iff Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$
Semirreação de redução	$2 \text{ Ag}^+(\text{aq}) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 \text{ Ag(s)}$
Reação global	$Cu(s) + 2 Ag^{+}(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2 Ag(s)$

Observe que a espécie química que transfere o(s) elétron(s) se oxida, enquanto a que recebe o(s) elétron(s) se reduz. Assim, nessa reação, o cobre é oxidado pelos íons prata, ao mesmo tempo que os íons prata são reduzidos pelo cobre. Por isso, o íon prata nessa reação é denominado **agente oxidante**, e o cobre, **agente redutor**.

Como os fenômenos da oxidação e da redução sempre ocorrem juntos, a quantidade de elétrons transferida deve seguir a proporção estequiométrica estabelecida nas semirreações. Como cada mol de cobre metálico transfere 2 mol de elétrons, são necessários 2 mol de Ag⁺ para receber os elétrons transferidos pelo cobre. Caso a solução de nitrato de prata fosse substituída por uma solução de nitrato de platina, Pt(NO₃)₂, a semirreação de redução seria:

$$Pt^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Pt(s)$$

Note que os íons nitrato (NO_3^-) não participam da reação de oxirredução e, por isso, não foram representados na equação química que descreve a reação global do cobre metálico com a solução de nitrato de prata, embora pudéssemos escrevê-la assim:

$$Cu(s) + 2 AgNO_3(aq) \rightleftharpoons Cu(NO_3)_2(aq) + 2 Ag(s)$$

Fique por dentro

Bactérias mineradoras

VASCONCELOS, Y. *Pesquisa Fapesp*, ed. 200, out., 2000. A reportagem descreve uma parceria entre

A reportagem descreve uma parceria entre universidade e indústria cujo objetivo é avaliar a biolixiviação de cobre em rejeitos de mineração. Disponível em: https:// revistapesquisa.fapesp.br/ bacterias-mineradoras/>. Acesso em: 22 jun. 2020.

O mol, cujo símbolo é mol, é a unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) para a grandeza quantidade de matéria. Um mol contém exatamente 6,02214076 · 10²³ entidades químicas (átomos, moléculas, íons, partículas elementares etc.). Esse número é o valor fixado da constante de Avogadro.

A tendência dos metais à oxidação varia de acordo com as espécies químicas presentes no meio reacional e com as condições a que elas estão submetidas (**Fig. 4.2**).

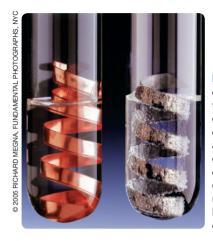


Figura 4.2 Tubos de ensaio contendo uma tira de cobre (à esquerda) e uma tira de zinco (à direita), ambas imersas em ácido clorídrico, HCl(aq). O cobre metálico não reage com o ácido, ao contrário do zinco metálico, que reage produzindo gás hidrogênio (H₂) e íons Zn²⁺ em solução.

Para prever a ocorrência de reações de oxirredução, pode-se determinar experimentalmente a tendência de uma espécie química a ser oxidada ou reduzida na presença de outra espécie química. Os resultados podem ser organizados em uma tabela, como a que é apresentada no final deste Volume, conhecida como **série de reatividade**. Ao consultá-la, você perceberá que o cobre tem uma tendência menor que o zinco a se oxidar quando entra em contato com os íons H⁺, provenientes do ácido. Os metais na base da série de reatividade, como o cobre, são mais estáveis e apresentam menor facilidade de formar compostos quando comparados aos metais localizados mais acima na série de reatividade. Por esse motivo, alguns deles podem ser encontrados isolados na natureza; eles foram importantes no início da história do uso dos metais pela humanidade.

A seguir, apresentamos alguns processos metalúrgicos mais comuns.

:: Pirometalurgia

A pirometalurgia é um processo metalúrgico que utiliza altas temperaturas, simbolizadas nas equações químicas por Δ , para fundir os compostos e promover reações de oxirredução espontâneas, obtendo assim a substância metálica de interesse. Esse processo é empregado para a obtenção de algumas terras-raras, além de poder ser utilizado na obtenção de ferro e cobre, dois metais de grande importância econômica. Juntos, ferro e cobre responderam por 80,5% da produção mineral comercializada pelo Brasil em 2017.

Na pirometalurgia, diferentes etapas podem ser empregadas, dependendo do metal que se deseja obter e das características físico-químicas do minério do qual ele será extraído.

Para a obtenção de algumas terras-raras por meio de seus óxidos (compostos binários de oxigênio) pelo processo pirometalúrgico, primeiro é produzido o fluoreto do metal, como representado a seguir, para a reação entre o óxido de lantânio(III), La_2O_3 , e o fluoreto de hidrogênio, HF.

$$La_2O_3(s) + 6 HF(g) \xrightarrow{\Delta} 2 LaF_3(s) + 3 H_2O$$

Depois, o fluoreto da terra-rara é reduzido com cálcio metálico em fornos de platina. Essa etapa está representada para o caso do fluoreto de lantânio(III) pela equação química a seguir. Também estão indicadas as cargas das espécies químicas antes e depois da reação.

Redução
$$\longrightarrow$$
 carga $+3$ carga 0 carga -1 $2 \text{ La}(s) + 3 \text{ Ca}(s) \xrightarrow{\Delta} 2 \text{ La}(l) + 3 \text{ Ca}(s)$ carga -1 carga 0 carga $+2$

Nota-se a transferência de 6 mol de elétrons $(2 \cdot 3 e^- = 3 \cdot 2 e^-)$.

Observe que os íons fluoreto não participam da reação de oxirredução, como evidenciado pela manutenção da carga dessa espécie química (-1) ao longo do processo, ou seja, esse íon não transfere nem recebe elétrons.

O processo é relativamente complexo e caro. Um dos motivos para o custo elevado se deve à utilização dos fornos de platina, um metal cerca de 25 vezes mais valioso que a prata. Com exceção do samário (Sm), do európio (Eu), do túlio (Tm) e do itérbio (Yb), as demais terras-raras podem ser obtidas por esse processo.

Na pirometalurgia dos minérios contendo sulfeto (S²-), faz-se o aquecimento a seco em temperatura inferior à temperatura de fusão das fases sólidas envolvidas e em presença de corrente de ar. Nesse processo, denominado **ustulação**, ocorre a remoção do enxofre pela formação do gás dióxido de enxofre (SO₂). Esse resíduo pode ser utilizado na produção de ácido sulfúrico, H₂SO₄(aq), uma importante *commodity*, assim como os minérios, o petróleo e a soja. *Commodities* são mercadorias em estado bruto ou com pequeno grau de industrialização negociadas em escala mundial no mercado financeiro.

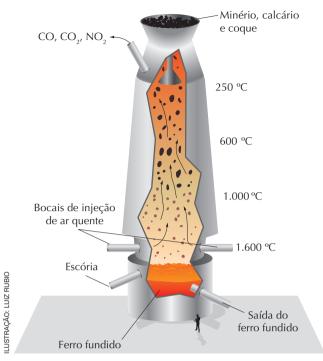
Pirometalurgia do ferro

Os primeiros objetos de ferro conhecidos foram feitos aproximadamente entre 4000 a.C. e 3500 a.C., a partir do ferro metálico presente em meteoritos. A **siderurgia**, ramo da metalurgia voltado à obtenção do ferro metálico a partir de seus minérios, só surgiu entre 3000 a.C. e 2000 a.C., possivelmente de maneira acidental, quando minérios que apresentavam compostos de ferro em sua constituição foram aquecidos na presença de carvão vegetal.

A introdução das técnicas de mineração e metalurgia do ferro no Brasil deve-se aos conhecimentos dos africanos, que foram escravizados e trazidos para cá pelos portugueses, oriundos da Costa da Mina – região que abrange atualmente os territórios de Gana, Togo, Benin e Nigéria. Essa região da África Ocidental é considerada um dos primeiros lugares do mundo a entrar na Idade do Ferro.

O aço, liga metálica cujo principal constituinte é o ferro, é um dos materiais mais utilizados no mundo atualmente. O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de minério de ferro, exportado principalmente para a China, que se destaca na produção de aço. Há duas principais fontes naturais de ferro na forma de óxidos: a hematita, Fe_2O_3 , e a magnetita, FeO e Fe_2O_3 .

Na indústria, os óxidos de ferro são reduzidos em um altoforno, que consiste em um enorme reator químico capaz de operar de forma contínua a elevada temperatura (**Fig. 4.3**).



Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central. Tradução: Robson Matos. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Figura 4.3 Esquema em corte do funcionamento de um alto-forno usado para a obtenção de ferro. Um alto-forno pode produzir até 10 mil toneladas de metal por dia. Os maiores fornos chegam a ter mais de 60 m de altura. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

No processo, o alto-forno é carregado com uma mistura de minério de ferro, uma fonte de carbono – que geralmente é o coque – e calcário. O ar quente que entra na base do alto-forno contém o gás oxigênio necessário para a combustão da fonte de carbono. Um importante avanço na metalurgia do ferro ocorreu com o advento das máquinas a vapor, na primeira Revolução Industrial, que possibilitou a automatização da injeção de ar no alto-forno.

O calcário (CaCO₃) atua como fonte do óxido de cálcio (CaO) que reage com a sílica (SiO₂) e outros componentes indesejados do minério de ferro para formar a escória. A escória é constituída, principalmente, de minerais de silicato fundidos e outros compostos iônicos e pode ser utilizada como matéria-prima da indústria de **cimento**. O coque é produzido por meio do aquecimento de carvão mineral na ausência de ar para eliminar os componentes voláteis, o que faz com que ele tenha aproximadamente de 85% a 90% em massa de carbono em sua composição. O coque é utilizado como combustível na reação de combustão, que, além de fornecer energia para o sistema, forma os gases monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), os quais apresentam caráter redutor.

A reação entre o gás oxigênio (O₂) do ar com o carbono do coque para formar monóxido de carbono pode ser representada pela seguinte equação química.

$$2 C(s) + O_2(g) \longrightarrow 2 CO(g)$$

O carvão vegetal, obtido da queima incompleta de certos tipos de madeira, também pode ser utilizado na siderurgia como fonte de carbono, como faz o Brasil, quando a qualidade do carvão mineral nacional não é adequada para a obtenção de coque.

O vapor-d'água presente no ar também reage com o carbono do coque, formando monóxido de carbono e gás hidrogênio, absorvendo calor.

$$C(s) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2(g)$$

Enquanto a reação do carbono com o gás oxigênio eleva a temperatura do alto-forno, a reação com o vapor-d'água diminui sua temperatura. As transformações químicas, realizadas à pressão constante, em que calor é transferido do sistema reacional para a vizinhança, são classificadas como **reações exotérmicas**, e as transformações químicas que ocorrem com transferência de calor da vizinhança para o sistema são classificadas como **reações endotérmicas**. Assim, o controle das quantidades de gás oxigênio e vapor-d'água permite regular a temperatura do alto-forno. O controle termoquímico do processo é fundamental para que ele ocorra com a maior economia de energia possível.

Na parte superior do alto-forno, os óxidos de ferro reagem com a mistura de monóxido de carbono e gás hidrogênio. Veja o caso da hematita.

As cargas formais, nos casos dos íons, ou hipotéticas, no caso dos átomos, estão indicadas pelos números coloridos nas partes superior e inferior das equações químicas.

Uma vez que aparecem substâncias moleculares tanto entre os reagentes (H_2 e CO) quanto entre os produtos (H_2 O e CO₂), precisamos recorrer ao conceito de **número de oxidação** (Nox), para compreender a transferência de elétrons nessas reações de oxirredução. No caso de moléculas e íons poliatômicos, ele pode ser entendido como a carga elétrica hipotética do átomo com base em sua **eletronegatividade**. Dessa forma, nas moléculas diatômicas – como o gás hidrogênio –, o Nox é zero e, no caso do carbono, ele varia em função da natureza e da quantidade do átomo ou átomos aos quais está ligado.

Podemos descobrir a quantidade de elétrons transferida nessa transformação analisando as variações nos números de oxidação (Δ Nox) e a quantidade de matéria de átomos ou íons de cada elemento químico:

	Reação entre Fe ₂ O ₃ e CO	Reação entre Fe ₂ O ₃ e H ₂
Oxidação	$\Delta Nox(C) = +4 - (+2) = 2$	$\Delta Nox(H) = +1 - (0) = 1$
Redução	Δ Nox(Fe) = 0 - (+3) = -3	Δ Nox(Fe) = 0 - (+3) = -3

Nota-se que ocorreu a transferência de 6 mol de elétrons nos dois casos:

$$2 \cdot 3 e^{-} = 6 \cdot 1 e^{-} = 3 \cdot 2 e^{-}$$

Observe também que o oxigênio (O) não tem seu Nox alterado, pois ele não participa da transferência de elétrons.

No fim do processo pirometalúrgico, o ferro fundido é coletado na base do forno e revestido com uma camada de escória fundida formada pela reação de óxido de cálcio com a sílica. Essa camada ajuda a evitar que o ferro fundido reaja com o ar que entra no alto-forno. Esse produto, chamado **ferro-gusa**, pode, então, ser encaminhado para outros processos, como refino e laminação, de acordo com a finalidade desejada.

:: Hidrometalurgia

Os processos pirometalúrgicos necessitam de grandes quantidades de energia para fundir os materiais e, geralmente, produzem grande quantidade de resíduos sólidos, que nem sempre podem ser reaproveitados em outros processos, além de produzir alguns gases poluentes. Como exemplo desses gases, temos o SO₂, no caso dos minérios contendo sulfeto – que está associado ao fenômeno da chuva ácida –, e o CO₂, no caso dos minerais do tipo óxido e carbonato – que está relacionado ao efeito estufa.

Em alguns casos, é possível empregar técnicas nas quais o metal é extraído de seus minérios por reações em meio aquoso, envolvendo menor gasto energético em processos relativamente mais simples e ambientalmente mais limpos. Essas técnicas compõem a hidrometalurgia e, por meio dela, metais de grande importância econômica, como o alumínio e o cobre, podem ser obtidos.

O processo hidrometalúrgico mais importante é a **lixiviação**, na qual o composto que apresenta metais em sua constituição é dissolvido de maneira seletiva. Os agentes lixiviadores mais comuns são soluções eletrolíticas que podem ter caráter ácido, básico ou neutro.

Hidrometalurgia do cobre

O cobre foi um dos primeiros metais que se tornaram conhecidos e passaram a ser utilizados pela humanidade. Ainda que seja difícil estabelecer a data de início de sua utilização, acredita-se que tenha sido entre 8000 a.C. e 7000 a.C. Sua metalurgia teve início provavelmente no Egito, por volta de 3500 a.C., a partir da malaquita, um mineral esverdeado contendo carbonato básico de cobre(II), atualmente utilizado na confecção de ornamentos. Porém, os minérios contendo sulfetos de cobre, que são mais abundantes, só começaram a ser explorados por volta de 2500 a.C., pois sua metalurgia é mais complexa.

A hidrometalurgia é o processo indicado para minérios do tipo óxido e carbonato, como a cuprita (Cu₂O) e a malaquita (Cu₂CO₃(OH)₂), respectivamente, embora possa ser utilizada para minérios do tipo sulfeto. No caso da malaquita, o agente lixiviante costuma ser ácido sulfúrico diluído, H₂SO₄(aq). A seguir, descreveremos um dos méto-

dos hidrometalúrgicos utilizados para a obtenção do cobre a partir da calcopirita (CuFeS₂).

Apesar de a calcopirita ser o minério de cobre mais abundante na Terra, o teor desse elemento químico no minério é relativamente baixo, sendo necessária uma etapa de enriquecimento por **flotação**. Essa técnica de separação de misturas consiste em pulverizar o minério e adicionar óleo, água e tensoativo em um tanque. A mistura é agitada, enquanto se faz passar ar comprimido através dela, fazendo com que as partículas da substância contendo cobre cobertas de óleo, de menor densidade, sejam conduzidas à superfície pelas bolhas de ar, em forma de espuma. A ganga corresponde à porção mais densa que decanta no tanque, enquanto a espuma, rica em cobre, é separada.

O minério enriquecido é então tratado com uma solução de cloreto de cobre(II), levando à formação do cloreto de cobre(I). Esse sal é insolúvel em água e facilmente separado do ferro, que permanece em solução.

$$^{+2+2-2}$$
 $\text{CuFeS}_2(s) + 3 \text{ Cu}^{2+}(aq) + 4 \text{ Cl}^-(aq) \longrightarrow$
 $^{+1-1}$
 0
 0
 0
 0

Depois da separação dos sólidos, a adição de solução de cloreto de sódio (NaCl) causa a dissolução do cloreto de cobre(l), em virtude da formação do íon complexo:

$$CuCl(s) + Cl^{-}(aq) \longrightarrow [CuCl_{2}]^{-}(aq)$$

Os compostos de cobre(I) são instáveis se comparados aos compostos de cobre(II) e ao cobre metálico. Assim, o íon complexo [CuCl₂] – passa por uma reação denominada **desproporcionamento**, em que um íon em certo estado de oxidação forma íons do mesmo elemento químico com estados de oxidação maior e menor. Acompanhe:

$$\begin{array}{c} +1 \\ 2 \left[\mathsf{CuCl}_2 \right]^{-}(\mathsf{aq}) & \longrightarrow & \begin{array}{c} 0 \\ \mathsf{Cu}(\mathsf{s}) + \mathsf{CuCl}_2(\mathsf{aq}) + 2 \ \mathsf{Cl}^{-}(\mathsf{aq}) \end{array}$$

O cobre obtido desse processo apresenta pureza de aproximadamente 99%, índice insatisfatório para empregá-lo em fios condutores, sua principal aplicação. Como a presença de impurezas reduz muito a condutividade do metal, o cobre, obtido pela pirometalurgia ou pela hidrometalurgia, pode ser purificado por meio do processo estudado a seguir. Além do uso como fio elétrico, o cobre pode ser transformado, por exemplo, em tubos empregados em situações que necessitam de grande resistência, tanto química quanto à proliferação de microrganismos.

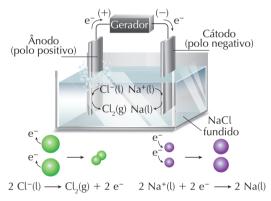
:: Eletrometalurgia

O uso da eletricidade em processos metalúrgicos remonta ao início do século XIX. Utilizando corrente elétrica como um meio de estudar a matéria, o químico inglês Humphry Davy (1778-1829) obteve, em 1807, os metais sódio (Na) e potássio (K) a partir do hidróxido de sódio (NaOH) e do hidróxido de potássio (KOH) fundidos. No ano seguinte, Davy também conseguiu obter o magnésio (Mg), o cálcio (Ca), o estrôncio (Sr) e o bário (Ba).

Esse tipo de decomposição de substâncias compostas em substâncias simples por meio da eletricidade foi chamado de **eletrólise**. Atualmente, eletrólise pode ser definida como reações de oxirredução não espontâneas que ocorrem em consequência do fornecimento de energia elétrica para o sistema reacional, a partir de uma fonte externa. Esse processo tem aplicações que vão além da metalurgia, por exemplo, recarga de pilhas e baterias.

Eletrólise ígnea: isolando substâncias simples

O método empregado por Davy foi chamado de eletrólise ígnea, por utilizar substâncias fundidas, e permitiu obter metais alcalinos, alcalinoterrosos e o alumínio, os quais, por serem muito reativos, não tinham sido isolados antes, o que causou grande impacto na indústria. O sódio metálico, por exemplo, pode ser produzido pela aplicação de uma corrente elétrica ao cloreto de sódio em fase líquida (fundido), conforme a **Figura 4.4**.



Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Figura 4.4 Representação esquemática de uma célula eletrolítica utilizada na eletrólise ígnea do cloreto de sódio e modelos submicroscópicos dos processos que ocorrem na interface dos eletrodos inertes. Uma vez que o cloreto de sódio funde a aproximadamente 800 °C sob 1 atm, a célula eletrolítica deve operar acima dessa temperatura. Como o sódio metálico é menos denso que o cloreto de sódio, ele se acumula na superfície, facilitando sua retirada. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Nesse sistema, conhecido como **célula eletrolítica**, duas lâminas ou bastões de material condutor e que não reagem nas condições do sistema reacional, por isso denominados **eletrodos inertes**, são colocados em contato com o sal fundido e conectados pelo circuito elétrico externo. Um exemplo de eletrodo inerte é a platina.

Por definição, o eletrodo no qual acontece a oxidação é chamado de **ânodo**. É para esse eletrodo que os ânions se deslocam e cedem seus elétrons. O eletrodo no qual acontece a redução é chamado de **cátodo**. É para esse eletrodo que os cátions migram, recebendo os elétrons provenientes do gerador.

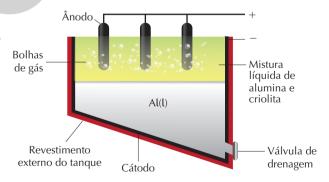
Note que, nesse sistema reacional, a fonte de corrente elétrica contínua externa (uma pilha ou bateria, por exemplo) deve fornecer força eletromotriz (voltagem ou tensão) suficiente para que a reação redox não espontânea ocorra.

Extração eletrolítica do alumínio

O principal minério do qual se extrai o metal alumínio é a bauxita, uma mistura contendo óxido de alumínio (Al_2O_3) e algumas impurezas, como óxidos de silício e de ferro(III), SiO_2 e Fe_2O_3 . Esse óxido de alumínio, também chamado de alumina, apresenta temperatura de fusão superior a 2.000 °C, o que torna a obtenção do alumínio metálico por eletrólise ígnea um processo com altos custos de produção.

Porém, em 1886, o químico alemão Charles Martin Hall (1863-1914) e o químico francês Paul Héroult (1863-1914) desenvolveram, de maneira independente, um método de obtenção do alumínio por eletrólise ígnea da alumina a 1.000 °C, que ficou conhecido como processo Hall-Héroult. Isso foi possível pela mistura do óxido com o minério criolita (Na₃AlF₆), que provoca a diminuição de sua temperatura de fusão, tornando a eletrólise ígnea da alumina economicamente viável. Como a criolita é encontrada naturalmente apenas na Groenlândia, em quantidades que compensam a exploração comercial, atualmente as indústrias utilizam criolita sintética no processo. Para termos uma ideia do impacto econômico do processo Hall-Héroult, o preço médio de 450 g de alumínio, em 1885, era de 100 dólares, e, em 1890, de apenas 2 dólares.

Nesse processo eletrolítico, o ânodo (polo positivo) atrai os ânions $O^{2-}(l)$, que são oxidados a gás oxigênio (O_2) , enquanto no cátodo (polo negativo) os cátions $Al^{3+}(l)$ são reduzidos a alumínio metálico Al(l). Ou seja, os ânions óxido são os agentes redutores, enquanto os cátions alumínio são os agentes oxidantes. No entanto, reações secundárias são comuns e afetam a eficiência do processo. Por exemplo, os eletrodos de carbono grafite reagem tanto com o gás oxigênio, sendo oxidados, quanto com o alumínio metálico, sendo reduzidos, respectivamente, a gás carbônico (CO_2) e a ânions carbeto (C^{2-}) . Note que nesse caso os eletrodos não são inertes, diferentemente do que foi visto na obtenção do sódio, e devem ser trocados periodicamente (**Fig. 4.5**).



Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a Ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Figura 4.5 Esquema simplificado de uma célula eletrolítica utilizada no processo de Hall-Héroult. Alternativamente, o alumínio metálico fundido pode ser retirado do tanque com um sifão. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Reciclagem do alumínio

A reciclagem de latas de liga de alumínio é um dos melhores exemplos do conceito de **economia circular**, e o Brasil é um dos líderes mundiais nesse setor. Em 2018, reciclamos 96,9% das latas, segundo levantamento da Associação Brasileira do Alumínio (Abal) e da Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (Abralatas). Ou seja, quase a totalidade do que foi colocado no mercado retornou ao ciclo produtivo.

Essa é a base do modelo econômico circular: redução do consumo, reutilização e reciclagem de matéria-prima e energia. A reciclagem das latas consome apenas 5% da energia elétrica necessária para produzir alumínio metálico a partir do minério. Representa, ainda, geração de renda para catadores e reduz o impacto ambiental em decorrência da menor quantidade de lixo que vai para os aterros sanitários e de resíduos da etapa de purificação dos minérios que são dispostos em barragens como as de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais.

Fique por dentro

Fundação Ellen MacArthur - Economia circular

Nessa página da internet, você pode saber mais sobre a economia circular. A fundação Ellen MacArthur, que se dedica a promover a transição da economia linear para esse novo modelo econômico, foi concebida pela velejadora que dá nome à entidade durante uma circum-navegação pelo planeta, que durou 72 dias e envolveu grande restrição de recursos.

Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito. Acesso em: 22 jun. 2020.

Refino eletrolítico

O refino eletrolítico é utilizado com o objetivo de purificar metais, sendo possível alcançar índices superiores a 99,99% de pureza. Para realizar o refino eletrolítico, emprega-se como ânodo a amostra de metal que se pretende purificar, e como cátodo uma fina lâmina ou fio do metal previamente purificado. Além disso, a cuba é preenchida com solução contendo íons do metal de interesse.

Ao aplicar voltagem suficiente, ocorre diminuição da massa do ânodo, pela passagem de íons para solução, e aumento da massa do cátodo, pela deposição do metal purificado. O processo gera como subproduto um resíduo que não se dissolve na solução e acaba depositado no fundo das células eletrolíticas. Esse subproduto é conhecido como lama anódica e, no caso do refino do cobre, constitui-se em fonte de metais preciosos como ouro, prata, platina e irídio.

Eletrólise em solução aquosa

Por causa da alta temperatura de fusão dos compostos iônicos, a obtenção de metais por eletrólise ígnea é geralmente um processo de custo elevado. No entanto, para os compostos iônicos solúveis em água, é possível a realização da eletrólise em solução aquosa à temperatura ambiente.

Nesse tipo de eletrólise, deve-se considerar, além dos íons provenientes do composto iônico, que a água se autoioniza e que pode ser decomposta em gás oxigênio e gás hidrogênio pela passagem de corrente elétrica, processos que podem ser representados pelas equações químicas a seguir.

```
Autoionização:

H_2O(l) \iff H^+(aq) + OH^-(aq)

Redução (cátodo, polo –):

2 H_2O(l) + 2 e^- \iff H_2(g) + 2 OH^-(aq)

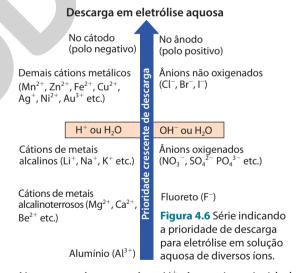
Oxidação (ânodo, polo +):

2 H_2O(l) \iff 4 H^+(aq) + O_2(g) + 4 e^-
```

Por essa razão, nem sempre os produtos da eletrólise ígnea e da eletrólise em solução aquosa coincidem. A eletrólise industrial da salmoura – uma solução concentrada de cloreto de sódio –, por exemplo, produz duas das substâncias mais utilizadas na indústria química: o hidróxido de sódio (NaOH) e o gás cloro (Cl₂). Observe que um dos produtos formados é diferente dos obtidos na eletrólise ígnea do cloreto de sódio, estudada anteriormente. No lugar do sódio metálico, há formação de íons hidróxido (OH $^-$) em razão da redução de água, o que permite obter NaOH pela evaporação da água residual.

Com base na observação experimental da eletrólise de soluções aquosas de diversos eletrólitos, elaborou-se uma série que apresenta a prioridade de descarga nos eletrodos de oxidação (ânodo) e redução (cátodo). Nesse caso, a palavra descarga é usada como sinônimo de perda de carga elétrica, ou seja, transformação em uma espécie química eletricamente neutra.

Observe, na **Figura 4.6**, uma versão simplificada dessa série, que auxilia a prever as espécies que serão preferencialmente oxidadas ou reduzidas em boa parte das eletrólises em solução aquosa de interesse industrial.



Note que a água e os íons H⁺ têm maior prioridade de descarga, no caso de serem reduzidos, do que os cátions Na⁺. Já os íons Cl⁻ têm maior prioridade de descarga, no caso de serem oxidados, que os íons OH⁻ e a água.

Para prever qual substância será formada em cada eletrodo, é necessário identificar as espécies químicas presentes e suas respectivas concentrações, além de avaliar seus **potenciais-padrão do eletrodo**. Os potenciais-padrão de redução são uma medida da tendência de uma espécie química em ser reduzida em uma condição padronizada, realizada a certa temperatura, em que todos os reagentes e produtos em solução têm concentração de 1,0 mol L⁻¹, todos os gases estão a 1 bar de pressão e todos os sólidos e líquidos estão puros.

Como tanto os íons $OH^-(aq)$ quanto os íons $H^+(aq)$, provenientes da autoionização da água, estão presentes em concentrações muito baixas no início da reação $(1,0\cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}, \text{ a } 25 \,^{\circ}\text{C})$, eles não têm grande relevância no processo de oxirredução. De acordo com os dados da **Tabela 4.1**, os íons $OH^-(aq)$ apresentam o menor potencial-padrão de redução entre as espécies químicas que podem ser oxidadas na eletrólise da salmoura. Em contrapartida, os íons $H^+(aq)$ apresentam o maior potencial-padrão de redução entre as espécies químicas passíveis de serem reduzidas nesse processo eletroquímico.

Tabela 4.1 Potenciais-padrão de redução a 25 °C				
$\operatorname{Cl}_2(g) + 2 e^- \longrightarrow 2 \operatorname{Cl}^-(aq)$	+1,36 V			
$O_2(g) + 4 H^+(aq) + 4 e^- \implies 2 H_2O(l)$	+1,23 V			
$O_2(g) + 2 H_2O(l) + 4 e^- \longrightarrow 4 OH^-(aq)$	+0,40 V			
$2 H^{+}(aq) + 2 e^{-} \iff H_{2}(g)$	0,00 V*			
$2 H_2O(I) + 2 e^- \iff H_2(g) + 2 OH^-(aq)$	−0,83 V			
$Na^+(aq) + e^- \longrightarrow Na(s)$	−2,71 V			

^{*} Como não é possível medir isoladamente os potenciais de eletrodo, adotou-se o eletrodo-padrão de hidrogênio como referencial, ao qual se convencionou o valor de 0 V (zero volt).

Fonte: LIDE, D. R. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Além dos fatores citados anteriormente, questões cinéticas também devem ser consideradas. Por isso, para fins práticos, o uso de séries como a de reatividade e a de prioridade de descarga é útil, desde que utilizadas apropriadamente.

Aspectos quantitativos da eletrólise

Atualmente, é possível relacionar a quantidade de carga elétrica (Q) fornecida durante um período (t) em um processo eletrolítico com a massa (m) e a quantidade de matéria (n) das espécies químicas participantes.

Duas importantes contribuições no estabelecimento dessas relações foram os trabalhos do físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867), entre 1831 e 1834, e do físico estadunidense Robert Andrews Millikan (1868-1953), de 1909. Faraday demonstrou que a quantidade de produto formada ou de reagente utilizada é diretamente proporcional à quantidade de corrente elétrica que flui pela célula eletrolítica, ou seja, é estequiometricamente equivalente à quantidade de elétrons fornecida. Millikan determinou experimentalmente a carga do elétron (carga elementar).

Se multiplicarmos a carga de um elétron (1,602176634 \cdot 10⁻¹⁹ C) pela constante de Avogadro (N_A = 6,02214076 \cdot 10²³ mol⁻¹), obteremos a constante de Faraday (F), que representa a carga em 1 mol de elétrons e equivale a aproximadamente 96.500 C mol⁻¹.

Uma grandeza bastante empregada para caracterizar um circuito elétrico é a intensidade de corrente elétrica (i), que representa a quantidade de carga que atravessa uma secção do circuito por unidade de tempo. Essa grandeza

apresenta como unidade no SI o ampère (A). Cada ampère corresponde à carga de 1 coulomb (1 C), que passa por determinada secão do circuito em 1 segundo: $1 A = 1 C s^{-1}$.

Multiplicando a intensidade de corrente de um circuito elétrico por seu tempo de funcionamento, em segundo, obtém-se a quantidade de carga elétrica que atravessou o circuito: O = it.

Combinando a quantidade de carga elétrica com a constante de Faraday, podemos determinar a quantidade total de elétrons envolvida na eletrólise e, com base nas proporções estequiométricas estabelecidas nas semirreações, calcular a quantidade dos reagentes e produtos.

Vamos retomar alguns exemplos dados ao longo do Tema, consultando a tabela periódica para obter os valores de massa molar.

Cu(s)
$$\leftarrow$$
 Cu²⁺(aq) + 2 e⁻

Para transferir cerca de 193.000 C, deve ocorrer a oxidação de 63,6 g (1 mol) de cobre.

$$2 \text{ Cl}^-(\text{aq}) \iff \text{Cl}_2(g) + 2 e^-$$

Para transferir cerca de 193.000 C, deve ocorrer a oxidação de 71 g (2 mol) de íons cloreto.

$$Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \iff Al(s)$$

Para depositar 27 g (1 mol) de alumínio, são necessários cerca de 289.500 C.

$$Na^+(aq) + e^- \longrightarrow Na(s)$$

Para depositar 23 g (1 mol) de sódio, são necessários cerca de 96.500 C.

Note que para transferir a mesma quantidade de carga é necessária uma quantidade de matéria (e de massa) maior de íons cloreto do que de cobre metálico. Observe também que, para obter alumínio metálico, gasta-se muito mais energia do que para obter massa similar de sódio metálico.

Admitindo que determinada lata de bebida com 13,8 g é feita de uma liga metálica que contém 98% de alumínio, vamos calcular quantas horas deveria durar a eletrólise da alumina, sob uma corrente de 10 A, para obter a massa de alumínio contida em uma única lata.

Primeiro, obtém-se a quantidade de alumínio necessária:

$$m(Al) = 13.8 \,\mathrm{g} \cdot 98\% \approx 13.5 \,\mathrm{g}$$

Em seguida, determina-se a quantidade de carga a ser fornecida:

Al³⁺(aq) + 3 e⁻
$$\longrightarrow$$
 Al(s)
289.500 27 g
Q 13,5 g
 $Q = \frac{289.500 \, \text{C} \cdot 13,5 \, \text{g}}{27 \, \text{g}} \therefore Q = 144.750 \, \text{C}$

Por fim, calcula-se o tempo:

$$Q = it \Rightarrow t = \frac{Q}{i} \Rightarrow t = \frac{144.750 \,\mathrm{C}}{10 \,\mathrm{A}}$$
$$\therefore t = 14.475 \,\mathrm{s} \approx 4 \,\mathrm{h}$$

Perceba que tempo e intensidade de corrente elétrica são grandezas inversamente proporcionais. Assim, se dobrarmos a intensidade de corrente elétrica, observaremos uma redução do tempo pela metade.

Registre em seu caderno

- 1. Identifique, entre as transformações representadas a seguir, as reações de oxirredução e determine a quantidade de matéria de elétrons transferida em cada caso.
 - a) $2 \text{ ZnS(s)} + 3 \text{ O}_2(g) \longrightarrow 2 \text{ Zn(s)} + 2 \text{ SO}_3(g)$
 - b) $ZnSO_4(aq) + CaCl_2(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + CaSO_4(s)$
 - c) $N_2(g) + 3 H_2(g) \longrightarrow 2 NH_3(g)$
- 2. Muitos metais podem ser obtidos a partir de seus compostos por meio da reação destes com hidrogênio gasoso. Considere a equação química para a obtenção do estanho metálico, apresentada abaixo, e faça o que se pede.

$$SnO_2(s) + 2 H_2(g) \longrightarrow Sn(s) + 2 H_2O(g)$$

- a) Identifique os elementos químicos cujo Nox varia na reação e o valor dessa variação (Δ Nox).
- b) Classifique a atmosfera em que ela ocorre em oxidante ou redutora, justificando sua resposta.
- 3. Um dos primeiros métodos para a obtenção das terras-raras lantânio, cério, promécio e neodímio, na forma metálica e em pequenas quantidades, foi desenvolvido em 1952 por químicos canadenses. Por esse método, os óxidos reagem para produzir cloretos, e estes são reduzidos com cálcio metálico à temperatura de 1.450 °C, formando o respectivo metal e cloreto de cálcio.
 - a) De acordo com o processo descrito, escreva, em seu caderno, a equação química para a obtenção de neodímio metálico a partir do cloreto de neodímio(III).
 - b) Qual substância é o agente redutor e qual é o agente oxidante nessa reação?
- 4. Quando a ustulação do sulfeto de zinco é feita em atmosfera de oxigênio mantendo-se a temperatura entre 600 °C e 800 °C, é obtido o sulfato de zinco. Nesse processo, o controle da temperatura deve ser rigoroso, uma vez que o sulfato de zinco tende a se decompor em temperaturas acima de 800 °C, formando óxido de zinco e trióxido de enxofre.
 - a) Identifique o processo metalúrgico. Justifique.
 - b) Escreva, em seu caderno, a equação química do processo de ustulação.
 - c) Qual é o agente oxidante e qual é o agente redutor do processo de ustulação?
 - d) Escreva a equação química da reação de decomposição do sulfato de zinco e explique se o processo pode ou não ser considerado uma reação de oxirredução.
- **5.** (Enem)

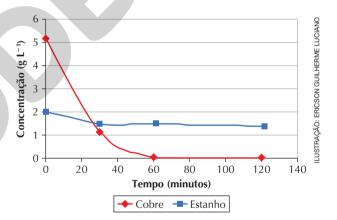
Eu também podia decompor a água, se fosse salgada ou acidulada, usando a pilha de Daniell como fonte de força. Lembro o prazer extraordinário que sentia ao decompor um pouco de água em uma taça para ovos quentes, vendo-a separar-se em seus elementos, o oxigênio em um eletrodo, o hidrogênio no outro. A eletricidade de uma pilha de 1 volt parecia tão fraca, e, no entanto, podia ser suficiente para desfazer um composto químico, a água.

SACKS, O. Tio Tungstênio: memórias de uma infância química. São Paulo: Cia. das Letras, 2002.

O fragmento do romance de Oliver Sacks relata a separação dos elementos que compõem a água.

O princípio do método apresentado é utilizado industrialmente na:

- a) obtenção de ouro a partir de pepitas.
- b) obtenção de calcário a partir de rochas.
- c) obtenção de alumínio a partir de bauxita.
- d) obtenção de ferro a partir de seus óxidos.
- e) obtenção de amônia a partir de hidrogênio e nitrogênio.
- 6. Com o intuito de avaliar a viabilidade da recuperação dos metais cobre e estanho de placas de circuito impresso encontradas em sucatas eletrônicas, dissolveram-se as placas em ácido sulfúrico e, em seguida, monitorou-se a variação da concentração em gramas de íons por litro de solução ao longo do tempo de passagem de corrente elétrica pelo sistema.



Fonte consultada: VEIT, H. M. et al. Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. Revista Escola de Minas (Ouro Preto), v. 61, n. 2, p. 159-164, 2008.

- a) Os íons depositaram-se no cátodo ou no ânodo? Justifique.
- b) Para qual dos dois metais o processo metalúrgico extrativo empregado foi mais eficiente? Justifique seu raciocínio.
- 7. Sabendo que o refino eletrolítico do cobre é feito com solução ácida de sulfato de cobre(II), CuSO₄, descreva a semirreação que acontece no ânodo por meio de um modelo submicroscópico como os da Figura 4.4. Tenha em mente que o raio do cátion é menor do que o raio do átomo correspondente.
- 8. (Unicamp-SP) Em um determinado processo eletrolítico, uma pilha mostrou-se capaz de fornecer $5.0 \cdot 10^{-3}$ mol de elétrons, esgotando-se depois.

- a) Quantas pilhas seriam necessárias para se depositar 0,05 mol de cobre metálico, a partir de uma solução de Cu²⁺, mantendo-se as mesmas condições do processo eletrolítico?
- b) Quantos gramas de cobre seriam depositados nesse caso?
- 9. Considere a eletrólise em solução aquosa das substâncias a seguir. Monte uma tabela identificando, para cada caso, que espécie se reduz e que espécie se oxida, tendo como base a série de prioridade de descarga apresentada no Tema. Identifique apropriadamente as colunas da sua tabela.
 - a) MgSO₄

c) $Ni(NO_3)_2$

b) KI

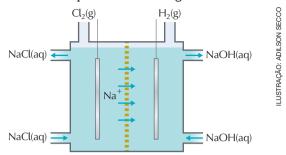
d) CuBr₂

10. Copie e complete, em seu caderno, a tabela a seguir considerando os aspectos quantitativos da eletrólise ígnea do cloreto de sódio.

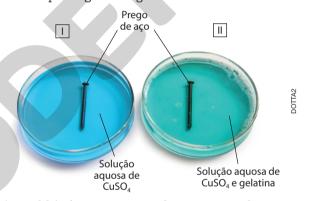
Condição	m(Na)	i	t
I	115 g		1 h
II		100 A	129 min
III	46 g	20 A	

- **11.** A eletrólise, sob as mesmas condições de uma solução aquosa contendo íons V^{3+} e de uma solução aquosa contendo íons V^{2+} , não produz a mesma massa de vanádio metálico. Por quê?
- 12. Uma estudante realizou um experimento que consistiu na passagem de corrente elétrica contínua em uma solução aquosa de iodeto de potássio (KI). Para auxiliar a identificação dos produtos, foram adicionadas, próximo aos eletrodos, solução alcoólica de fenolftaleína e suspensão de amido em água. A solução alcoólica de fenolftaleína muda de incolor para rosa na presença de concentrações de íons OH⁻ (aq) a 25 °C superiores a de cerca de 10⁻⁸ mol L⁻¹, e a suspensão de amido adquire intensa coloração azul na presença de I₂. Sobre os resultados observados, é correto afirmar:
 - a) houve formação de gás no cátodo.
 - b) a solução tornou-se rosa próximo ao ânodo.
 - c) a solução tornou-se azul próximo ao cátodo.
 - d) não foram identificadas evidências de transformação química.
- 13. (Unicamp-SP) A produção mundial de gás cloro é de 60 milhões de toneladas por ano. Um processo eletroquímico moderno e menos agressivo ao meio ambiente, em que se utiliza uma membrana semipermeável, evita que toneladas de mercúrio, utilizado no processo eletroquímico convencional, sejam dispensadas

anualmente na natureza. Esse processo moderno está parcialmente esquematizado na figura abaixo.



- a) Se a produção anual de gás cloro fosse obtida apenas pelo processo esquematizado na figura, qual seria a produção de gás hidrogênio em milhões de toneladas?
- b) Na figura, falta representar uma fonte de corrente elétrica e a formação de íons OH⁻. Complete o desenho, em seu caderno, com essas informações, não se esquecendo de anotar os sinais da fonte e de indicar se ela é uma fonte de corrente alternada ou de corrente contínua.
- **14.** A uma estudante foi apresentada a seguinte questão: é possível diminuir a rapidez de uma reação de oxirredução? Ela pesquisou e propôs o teste representado pela figura a seguir.



- a) Qual hipótese essa estudante provavelmente quer testar com essa atividade?
- b) Escreva, em seu caderno, a equação química da reação principal que ocorre no sistema I sem incluir o íon que não participa do processo, justificando sua resposta por meio da série de reatividade dos metais. Essa reação também deve ocorrer no sistema II?
- c) Haverá diferença na rapidez da reação nos dois sistemas? Caso haja, em qual deles a reação será mais rápida? Justifique.
- d) Em grupo, escrevam um roteiro detalhando as etapas para a execução do teste proposto pela estudante.

Reflita sobre seu aprendizado!



Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?



Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 5; 6 Habilidades: EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT306; EM13MAT308

Figura 5.1 (A) Jangada em Porto de Galinhas (PE, 2013). (B) Carro de boi em Mossâmedes (GO, 2018). Esses são exemplos de tecnologias muito antigas utilizadas para transporte.

Leis de Newton, máquinas simples e dinâmica do movimento circular

:: O movimento necessita de uma causa?

Os meios de transporte mostrados nas **Figuras 5.1 A** e **5.1 B**, utilizados desde tempos remotos, ajudaram a moldar o pensamento a respeito das causas do movimento. A ideia de que só existe movimento enquanto houver um agente motor tem raízes na Antiguidade; por exemplo, para se movimentar, a jangada necessita de remos ou da ação do vento e o carro de boi precisa da ação dos animais. Essa ideia se baseava na observação do movimento de um corpo a partir da ação de uma **força** exercida por outro corpo. Mas será que essa ideia é absolutamente correta? A pergunta é muito complexa e levou aproximadamente 2 mil anos para ser respondida, período entre as publicações do filósofo grego Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) e as do matemático e físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) a esse respeito.





Chamaremos de **força** uma interação ou ação entre dois corpos capaz de deformá-los ou modificar seu movimento.

Para Aristóteles, o movimento horizontal dos corpos ocorria apenas quando eram puxados ou empurrados, ou seja, enquanto uma força atuasse sobre eles. Essa visão de Aristóteles a respeito do movimento, aliada a diversas outras – como o movimento dos corpos celestes não seguir as mesmas regras do movimento dos corpos da Terra, ou a queda dos corpos ser um movimento natural causado pela tendência dos "graves" (corpos em queda) de buscarem seu lugar natural que é a Terra –, formava a chamada Mecânica Aristotélica.

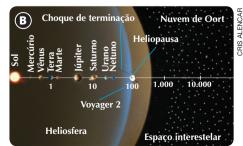
Com os trabalhos de Galileu Galilei e, posteriormente, os do matemático e físico inglês Isaac Newton (1643-1727), essa visão se modificou.

:: Movimento inercial

A sonda Voyager 2 (**Fig. 5.2 A**) foi lançada em 1977 e percorreu todo o Sistema Solar, passando próximo dos planetas e registrando fotos que foram enviadas à Terra. Atualmente, ela está se afastando do Sol, a uma velocidade de aproximadamente $55.000 \, \mathrm{km} \, \mathrm{h}^{-1}$, e já fora do Sistema Solar. A Voyager 2 não é empurrada nem puxada por nenhum corpo ou astro. Então, como ela mantém sua velocidade?

Figura 5.2 (A) Sonda Voyager 2.
(B) Representação que mostra a distância entre a sonda Voyager 2 e o Sol. A distância entre o Sol e a Terra, chamada de unidade astronômica, é indicada pelo valor 1. Os outros valores no eixo se baseiam nessa unidade.
(Imagens sem escala; cores-fantasia.)





Galileu propôs que todo corpo tende a manter seu movimento, e que essa tendência permanece até que ele interaja com outro corpo, alterando assim seu estado de movimento. Esse é o conceito de **inércia**. Ao dizer que um corpo tem inércia, estamos nos referindo à tendência desse corpo de manter seu movimento no vácuo. Na época de Galileu, acreditava-se que o vácuo não existia; logo, essa situação era hipotética. Galileu propôs esse modelo para explicar que o fato de os corpos caírem em linha reta não era justificativa para afirmar que a Terra está parada, o que se acreditava até então. Galileu afirmava que, se a Terra está em movimento, ao soltar um objeto, ele também está em movimento lateral. Durante a queda, o objeto adquire movimento vertical, mas mantém o movimento lateral inicial. Um raciocínio brilhante, que ajudou a mudar a visão do mundo e do Universo.

:: Primeira lei de Newton

Newton escreveu, 96 anos após a publicação do estudo de Galileu, uma das obras mais importantes da Ciência: *Princípios matemáticos da Filosofia Natural* (os *Principia*). Nessa obra, são apresentadas de forma sistemática, organizada e matemática todas as bases da Mecânica. Newton atribui ao **princípio da inércia** o nome de primeira lei, posteriormente chamada de **primeira lei de Newton**. Segundo esse princípio, todo corpo tende a se manter em repouso ou em movimento em linha reta com velocidade constante sempre que a resultante de todas as forças aplicadas sobre ele for nula.

Como **resultante das forças**, entende-se a soma vetorial de todas as forças aplicadas no corpo.

Quando estamos em um carro em movimento e ele freia bruscamente, nosso corpo tende a manter seu movimento, em linha reta, na velocidade com que vinha se deslocando até então. É comum as pessoas falarem que foram "arremessadas para a frente". Mas, na verdade, como nenhuma força atuou na horizontal, o movimento se manteve, sendo o carro que ficou mais devagar. Esse é mais um exemplo de movimento inercial, e é daí que vem a importância do cinto de segurança e do *airbag* (**Fig. 5.3**). Eles servem para que, quando o carro diminui a velocidade ou colida, o motorista e os passageiros também tenham sua velocidade reduzida.



Figura 5.3 Simulação com boneco para verificar a eficiência do cinto de segurança e do *airbag*, que impede que as pessoas dentro de um veículo mantenham o movimento inercial em caso de freadas bruscas ou colisões.

:: Forças

Para alterarmos o movimento de um corpo, alguma força deve ser aplicada sobre ele; seja para um carro acelerar, um avião decolar ou frear, um corredor de 100 metros rasos largar, seja para chutar uma bola ou para o goleiro fazer uma defesa. A alteração do movimento para deixá-lo mais rápido, desacelerá-lo ou mudar a sua direção está sempre associada a uma ou mais forças sendo aplicadas. Veremos a seguir algumas forças capazes de produzir essas alterações e as suas características.

Força gravitacional ou peso

Uma das primeiras forças que experimentamos é o **peso**, pois desde bebês brincamos com o seu efeito, observando como os objetos caem. Quando aprendemos a andar, o fazemos mediante um equilíbrio que é alterado continuamente. Nosso corpo é constantemente atraído para baixo pela Terra. Essa força com a qual a Terra ou qualquer outro astro atrai os objetos para o seu centro é chamada de **força gravitacional** ou **peso**.

Quanto maior a massa (m) do corpo, maior a força com que a Terra o atrai. Com isso, estabelece-se uma proporção, sendo a razão entre a força peso e a massa uma constante que depende do local onde o peso está sendo medido,

chamada de **aceleração da gravidade**
$$\left(\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}\right)$$
.

O valor da aceleração da gravidade (g) em um local é igual ao valor da aceleração de um corpo em queda livre. Se conhecermos a aceleração da gravidade no local, podemos calcular o peso de um corpo de massa m por meio da equação:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de força é o newton (N), em homenagem a Isaac Newton, sendo $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$.

Na visão aristotélica da Mecânica, quanto mais pesado for o corpo, mais rápido ele tende a cair. No entanto, Galileu, ao formular suas teorias a respeito dos movimentos dos corpos mediante a gravidade, afirmou que a aceleração com a qual um corpo cai independe da sua massa.

Em 1971, o astronauta estadunidense David Scott (1932-), tripulante da missão Apollo 15, soltou próximo da superfície da Lua um martelo e uma pena, confirmando a hipótese de Galileu. Claramente essa confirmação já havia sido feita em diversos outros momentos, porém seu feito teve valor histórico.

Sabemos que a massa do martelo era 1,3 kg, que 9,8 m s $^{-2}$ é o valor da aceleração da gravidade próximo à superfície da Terra e que 1,6 m s $^{-2}$ é o valor da aceleração da gravidade próximo à superfície da Lua. Qual é a intensidade do peso do martelo próximo à superfície da Terra e da Lua?

Em relação à Terra, temos:

$$P = mg \Rightarrow P_{\text{Terra}} = 1.3 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m s}^{-2} \therefore P_{\text{Terra}} = 12,74 \text{ N}$$

A intensidade do peso do martelo na superfície da Lua vale:

$$P = mg \Rightarrow P_{Lua} = 1.3 \text{ kg} \cdot 1.6 \text{ m s}^{-2} : P_{Lua} = 2.08 \text{ N}$$

Isso quer dizer que um objeto próximo à superfície da Terra é aproximadamente seis vezes mais pesado do que se estivesse próximo à da Lua, embora a massa (quantidade de matéria) seja a mesma em qualquer local.

Força normal

Observe a **Figura 5.4 A**. Com os pés, o atleta aplica uma força sobre a plataforma do aparelho de ginástica. De fato, para que o atleta estique as pernas, ele deve **empurrar** a superfície da plataforma. Na **Figura 5.4 B**, vê-se de forma esquemática o par de forças trocado entre os pés e a plataforma. Forças como essas, que são trocadas por superfícies em contato que se empurram mutuamente, são chamadas de **forças normais** (\vec{F}_N) . Observe que a direção dessa força é sempre perpendicular à superfície de contato dos corpos.





Figura 5.4 (A) No exercício físico mostrado na imagem, uma força é aplicada entre os pés e a plataforma do aparelho de ginástica. **(B)** Representação esquemática das forças aplicadas. (Cores-fantasia.)

Força de tração

Na **Figura 5.5 A**, podemos observar um atleta que se pendura em uma corda. O peso (força gravitacional) puxa o atleta para baixo. Como está em equilíbrio, de acordo com a primeira lei de Newton, sabemos que a resultante das forças aplicadas no atleta deve ser nula; para isso, alguma força deve atuar no atleta no sentido contrário, para cima.

Há, nesse caso, mais um par de forças entre as mãos do atleta e a corda; o atleta puxa a corda para baixo e é, simultaneamente, puxado pela corda para cima (**Fig. 5.5 B**). Forças como essa, que são aplicadas por cordas e cabos, são chamadas de forças de tração (\vec{T}).

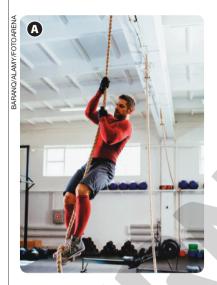




Figura 5.5 (A) Ao se pendurar em uma corda, há um par de forças entre as mãos do atleta e a corda. (B) Representação esquemática das forças. (Cores-fantasia.)

A força de tração, assim como a força normal, necessita do contato entre as superfícies dos corpos para ocorrer. Forças que necessitam do contato entre as superfícies são chamadas de **forças de contato**, e as que não necessitam de contato são chamadas de **forças de campo**, como é o caso da força peso.

Força de atrito



Figura 5.6 Trabalhador operando um esmerilador para afiar um formão.

Na **Figura 5.6**, o trabalhador usa um esmerilador, máquina usada para desbastar e polir peças e para afiar ferramentas, por meio de um rebolo com material abrasivo (o esmeril). O rebolo aplica uma força que desgasta a peça que está sendo afiada, chegando a arrancar fragmentos incandescentes dessa peça. Isso ocorre porque a temperatura das superfícies de contato tende a subir a níveis muito altos, fazendo com que os fragmentos emitam radiação na faixa do espectro visível. Observe que os fragmentos são lançados em uma **direção paralela** (ou tangencial) à superfície de contato, que é uma característica da **força de atrito** (\vec{F}_{at}) . A sua direção é sempre paralela (ou tangencial) à superfície de contato, e o sentido é contrário ao sentido do **escorregamento** ou tentativa de escorregamento.

Nesse exemplo, há escorregamento de fato entre o rebolo e o formão, e por esse motivo dizemos que a força de atrito é **dinâmica**. A força de atrito dinâmica pode ser observada em diversas situações de escorregamento: quando o corpo de um jogador desliza sobre o piso da quadra; quando as rodas de um carro derrapam no chão deixando marcas sobre o asfalto por causa de uma freada brusca; quando riscamos a lousa com um giz etc. Em todas essas situações, as rugosidades das superfícies dos corpos em contato se interpenetram, como pode ser visto na **Figura 5.7**, e o escorregamento, para ocorrer, deve ser forçado. Além disso, como há movimento relativo entre as duas superfícies e interpenetração das rugosidades, ocorre o desgaste dos materiais.



Figura 5.7 Representação de duas superfícies rugosas se interpenetrando. Ao movimentar a superfície superior para a direita, surge uma força para a esquerda, no sentido contrário ao escorregamento, em virtude do contato entre as rugosidades.

Quanto maior for a força normal devida à compressão entre as superfícies, maior será a força de atrito dinâmica. A relação aproximada entre essas duas forças pode ser calculada na maioria dos casos de atrito seco, ou seja, quando não há um material lubrificante entre as superfícies, como:

$$\frac{F_{\rm at}}{F_{\rm N}}$$
 = constante

O valor dessa constante depende dos materiais utilizados nas superfícies e é chamado de **coeficiente de atrito dinâmico** (μ_d). Podemos escrever a equação da força de atrito dinâmico como:

$$\textit{F}_{at} = \mu_{d} \cdot \textit{F}_{N}$$

Nas situações em que há **tentativa de escorregamento**, mas ele não ocorre, a força de atrito é denominada **força de atrito estático**. Assim como a força de atrito dinâmico, a força de atrito estático ocorre devido à interpenetração das rugosidades das superfícies de contato. Porém, no caso estático, o escorregamento não acontece, de forma que as rugosidades permanecem inalteradas e não há desgaste do material. Veja alguns exemplos na **Figura 5.8**.





Figura 5.8 (A) Ao fazer uma escalada, para evitar o escorregamento, muitas vezes se utiliza um pó feito com magnésio, que aumenta o atrito estático máximo entre as mãos do atleta e a superfície. (B) Na situação ilustrada pela imagem, não há escorregamento entre as patas do cão e a rampa, sendo esse um tipo de atrito estático.

Diferentemente da força de atrito dinâmico, a força de atrito estático não tem um valor determinado, que possa ser calculado a partir de uma expressão. A intensidade da força de atrito estático depende do esforço que está sendo executado para tentar retirar o corpo da situação de equilíbrio.



Figura 5.9 A intensidade da força de atrito estático depende da força que está atuando no corpo. **(A)** Atuação de uma força (\vec{F}) de 10 N. **(B)** Atuação de uma força (\vec{F}) de 20 N.

Na **Figura 5.9**, um corpo está em repouso sobre uma superfície horizontal. Se aplicarmos uma força de 10 N, a força de atrito estático necessária para manter o corpo em equilíbrio será 10 N. Se aplicarmos uma força de 20 N, a intensidade necessária para a força de atrito estático manter o corpo em equilíbrio será 20 N, e assim por diante. Porém, essa situação tem um limite. Existe uma força máxima que pode ser aplicada antes de o corpo sair da situação de equilíbrio. Esse valor corresponde à **intensidade máxima da força de atrito estático** ($F_{\rm atmáx}$). A intensidade máxima da força de atrito estático é proporcional à intensidade da força normal, assim como a intensidade da força de atrito dinâmico. Porém, a constante de proporcionalidade para o caso do valor máximo da força de atrito estático es

NELSON MATSUDA

LUSTRACÕES:

é diferente da constante de proporcionalidade para o caso dinâmico (μ_d). No caso estático, temos:

$$F_{ ext{at máx}} = \mu_{ ext{e}} \cdot F_{ ext{N}}$$

O valor de μ_e também depende dos materiais que compõem as superfícies. Na **Tabela 5.1**, são apresentados valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico para alguns materiais que compõem superfícies em atrito.

Tabela 5.1 Valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico para alguns materiais em atrito

<u>·</u>					
Materiais	Coeficiente de atrito estático (μ_{e})	Coeficiente de atrito dinâmico (μ_d)			
Borracha sobre concreto	1,0	0,8			
Alumínio sobre aço	0,61	0,47			
Madeira sobre neve molhada	0,14	0,10			
Gelo sobre gelo	0,10	0,03			

Fonte: SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. Princípios de Física: Mecânica Clássica e relatividade. Tradução da 5ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 1.

Observe que o coeficiente de atrito estático é sempre maior do que o coeficiente de atrito dinâmico. Logo, é necessário aplicar uma força maior para retirar o corpo do repouso, devido ao valor máximo da força de atrito estático, do que para manter o corpo em movimento uniforme com atrito dinâmico.

Na **Figura 5.10**, vemos um homem empurrando uma caixa com duas crianças dentro. Suponhamos que a massa total seja de 50 kg. O homem aplica na caixa uma força na direção horizontal de intensidade F. O coeficiente de atrito estático vale $\mu_e=0$,4, e o coeficiente de atrito dinâmico vale $\mu_d=0$,2. Quais são os módulos das forças de atrito estático e dinâmico nessa situação?



Figura 5.10 Crianças dentro de uma caixa que está sendo empurrada, o que gera força de atrito entre o solo e a caixa.

Primeiro, vamos calcular a força normal. Nessas condições, a intensidade da força normal tem o mesmo valor que o peso, pois a resultante das forças não tem componente vertical; logo:

$$F_N = P \Rightarrow F_N = m \cdot g \Rightarrow F_N = 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m s}^{-2} \therefore F_N = 500 \text{ N}$$

A intensidade máxima da força de atrito estático será:

$$F_{\text{at máx}} = \mu_{\text{e}} \cdot F_{\text{N}} \Longrightarrow F_{\text{at máx}} = 0.4 \cdot 500 \text{ N} : F_{\text{at máx}} = 200 \text{ N}$$

Isso quer dizer que, se o homem aplicar uma força com intensidade de até 200 N, a caixa não sairá do lugar.

Se ele iniciar o deslizamento da caixa aplicando uma força inicialmente maior que 200 N, a força de atrito se tornará dinâmica, calculada como:

$$F_{at} = \mu_d \cdot F_N \Rightarrow F_{at} = 0.2 \cdot 500 \text{ N} :: F_{at} = 100 \text{ N}$$

Portanto, ao iniciar o deslizamento, se o homem reduzir a força para 100 N, a caixa continuará em movimento retilíneo uniforme, com a resultante das forças nula.

Força elástica

Imagine-se sendo transportado por um carro cujas rodas estivessem rigidamente presas ao chassi. Qualquer oscilação da roda seria transmitida diretamente ao veículo todo, tornando sua viagem inviável. Em um veículo, o sistema de suspensão, além de promover a sua estabilidade, mantém o peso distribuído em molas (**Fig. 5.11**), tornando independente o movimento de trepidação dos eixos. Por isso, quando passamos sobre pequenos buracos ou pedras, não sentimos as trepidações tão bruscamente no interior do veículo.



Figura 5.11 A mola azul mostrada na imagem faz parte do sistema de suspensão de um automóvel.

A mola do carro, assim como as molas de diversos equipamentos, tem a propriedade de ser **elástica**, isto é, de passar por **deformações** causadas por uma força aplicada sobre ela. Mas, ao retirarmos a força aplicada, ela retorna ao comprimento original. A deformação *x* pode ser definida como a mudança no comprimento da mola em relação ao seu comprimento original.

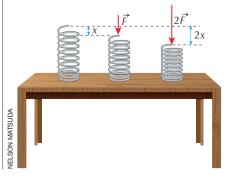


Figura 5.12
Representação
da relação entre
a deformação de
uma mola e a força
aplicada. (Imagem
sem escala; coresfantasia.)

No exemplo da **Figura 5.12**, há, sobre uma mesa, três molas iguais. A mola da esquerda está com seu comprimento natural. Na mola central, é aplicada uma força de intensidade *F*, que faz com que seu comprimento seja deformado até um valor *x*. Perceba que para a deformação ser de 2*x*, na mola da direita, é necessário aplicar uma força com intensidade 2*F*.

A relação entre a intensidade da **força elástica** ($F_{\text{elást}}$), que é o nome dado à intensidade da força aplicada pela mola, e a deformação x nos materiais elásticos é uma constante chamada **constante elástica da mola** (k). Essa relação pode ser expressa por:

$$\frac{F_{\text{elást}}}{X} = k \text{ ou } F_{\text{elást}} = kx$$

A unidade da constante elástica é N m⁻¹ no Sistema Internacional de Unidades (SI). Esse valor representa quantos newtons devem ser aplicados na mola para deformá-la em uma unidade de medida no comprimento. Na prática, ela estabelece a proporção entre a intensidade da força aplicada e a deformação.

O **dinamômetro** é um instrumento usado para medir a intensidade de forças mecânicas. Um tipo de dinamômetro usualmente empregado é o dinamômetro de mola. Como ilustra a **Figura 5.13**, ele tem seu comprimento alterado de acordo com a intensidade da força aplicada. Imagine que nesse dinamômetro, quando se pendura um objeto de 300 g de massa, o comprimento da mola varie 2 cm. Qual é a constante elástica da mola?



Figura 5.13 Representação de um dinamômetro de mola, instrumento para medir forças, em duas situações distintas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A intensidade da força aplicada pela mola, para cima, deve ter a mesma intensidade que o peso do objeto para haver equilíbrio. Logo, a intensidade da força elástica pode ser calculada como:

$$F_{\rm elást} = P \Rightarrow F_{\rm elást} = mg \Rightarrow F_{\rm elást} = 0.3 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m s}^{-2}$$

$$\therefore F_{\rm elást} = 3 \text{ N}$$

Nesse caso, a constante elástica da mola é:

$$k = \frac{F_{\text{elást}}}{X} \Rightarrow k = \frac{3 \text{ N}}{2 \text{ cm}} \Rightarrow k = \frac{300 \text{ N}}{2 \text{ m}}$$

 $\therefore k = 150 \text{ N m}^{-1}$

Se outro objeto de massa desconhecida for pendurado no dinamômetro e ele tiver o seu comprimento alterado para x = 3.5 cm, qual será o peso do corpo?

Primeiro, vamos calcular a intensidade da força elástica:

$$F_{\mathrm{elást}} = kx \Longrightarrow F_{\mathrm{elást}} = 150 \,\mathrm{N \, m^{-1} \cdot 0,035 \, m} \therefore F_{\mathrm{elást}} = 5,25 \,\mathrm{N}$$

Como o corpo está em equilíbrio, sob a ação apenas da força elástica e do próprio peso, a intensidade do peso valerá, também:

$$P = 5.25 \text{ N}$$

:: Segunda lei de Newton

Imagine que queremos acelerar três veículos: um carro de boi com massa de 3.000 kg, uma locomotiva a vapor de 200.000 kg e um foguete de 1.000.000 kg, com a mesma aceleração. Como a massa de cada um é distinta, precisamos de forças resultantes diferentes para modificar o movimento de cada um. Por exemplo, para acelerar a locomotiva em 1 m s⁻², precisaremos de uma força maior do que para acelerar o carro de boi também em 1 m s⁻², assim como para acelerar o foguete em 1 m s⁻² é necessária uma força maior do que para acelerar a locomotiva em 1 m s⁻². Newton, ao deduzir o que chamamos hoje de **segunda lei de Newton**, estabeleceu a relação entre a resultante das forças (\vec{F}_R) e a aceleração (\vec{a}) em um objeto de massa m:

$$\vec{F}_{R} = m\vec{a}$$

Observe que a unidade da intensidade da resultante das forças será a mesma da unidade de força, 1 kg m s $^{-2}$ = 1 N.

A segunda lei de Newton é uma relação vetorial entre a resultante das forças e a aceleração, isto é, a direção e o sentido da resultante das forças e da aceleração são sempre os mesmos, uma vez que o valor de *m* é sempre positivo.





Figura 5.14 (A) Bola de futebol sendo chutada em uma cobrança de escanteio. **(B)** Bolinha de golfe prestes a ser tacada. No chute e na tacada há forças aplicadas na bola, resultando na mudança da velocidade.

Vejamos o exemplo da **Figura 5.14 A**. Durante uma cobrança de escanteio em um jogo de futebol, ao chutar a bola, o jogador aplica com o pé uma determinada força (força de contato) sobre ela. Sendo 450 g a massa da bola e sabendo que ela atingiu uma velocidade de 30 m s⁻¹ após o chute que durou 8 ms (1 ms = 10^{-3} s), determine a intensidade da resultante das forças médias sobre a bola.

Durante o chute, no período de aceleração da bola, o movimento pode ser considerado retilíneo. Em um movimento retilíneo, como a velocidade inicial da bola era nula, a aceleração é dada por:

$$a_{\rm fut} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_{\rm fut} = \frac{30 \text{ m s}^{-1} - 0 \text{ m s}^{-1}}{0,008 \text{ s}}$$

 $\therefore a_{\rm fut} = 3.750 \text{ m s}^{-2}$

Para calcular a intensidade da resultante das forças, basta multiplicar o valor da aceleração pela massa da bola, em quilogramas. A intensidade da resultante das forças, portanto, é igual a:

$$F_{R_{\text{fut}}} = ma \implies F_{R_{\text{fut}}} = 0,45 \text{ kg} \cdot 3.750 \text{ m s}^{-2}$$

 $\therefore F_{R_{\text{fut}}} = 1.687,5 \text{ N}$

Considere outra situação: uma tacada em um jogo de golfe (**Figura 5.14 B**). Sabendo que a bola de golfe tem 46 g de massa e atinge uma velocidade de 60 m s⁻¹ depois da tacada, e que a interação com o taco é de 0,4 ms $(1 \text{ ms} = 10^{-6} \text{ s})$, qual é a intensidade da resultante das forças?

De maneira similar ao caso do chute na bola de futebol, vamos primeiramente calcular a aceleração da bola de golfe.

$$\begin{split} a_{\text{golfe}} &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_{\text{golfe}} = \frac{60\,\text{m s}^{-1} - 0\,\text{m s}^{-1}}{0,0004\,\text{s}} \\ \therefore \ a_{\text{golfe}} &= 150.000\,\text{m s}^{-2} \\ F_{\text{Rgolfe}} &= ma \Rightarrow F_{\text{Rgolfe}} = 0,046\,\text{kg} \cdot 150.000\,\text{ms}^{-2} \\ \therefore \ F_{\text{Rgolfe}} &= 6.900\,\text{N} \end{split}$$

É muito importante não confundir o sentido da aceleração com o sentido do movimento, pois muitas vezes o movimento está no sentido contrário ao da resultante das forças.

Em relação aos movimentos retilíneos, sabemos que:

- Se a resultante das forças tem o mesmo sentido do movimento, o movimento é acelerado.
- Se a resultante das forças tem sentido contrário ao do movimento, o movimento é retardado.



Figura 5.15 Marcas de pneu no asfalto, indicando uma freada brusca.

A **Figura 5.15** mostra marcas de pneu no asfalto causadas por uma freada brusca. Conhecendo o coeficiente de atrito dinâmico entre o pneu e o asfalto, é possível determinar a velocidade do automóvel no início da freada e verificar se ele estava ou não acima dos limites de velocidade.

Considere o coeficiente de atrito dinâmico $\mu_d=0.6$ do asfalto com o pneu. Qual era a velocidade do veículo ao iniciar o freamento?

Primeiro podemos representar esquematicamente as forças aplicadas no veículo, conforme mostra a **Figura 5.16**.

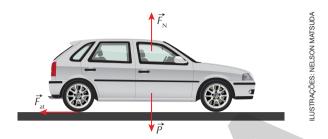


Figura 5.16 Representação esquemática das forças aplicadas sobre o veículo.

Como o movimento se dá na direção horizontal, a componente da resultante das forças na direção vertical é nula. Logo, a força normal e o peso se cancelam.

Dessa forma, a resultante das forças é apenas a força de atrito. Repare, no entanto, que a força de atrito (\vec{F}_{at}) representada na **Figura 5.16** é a força de atrito resultante das quatro forças de atrito (\vec{F}_{at}) aplicadas nos quatro pneus do carro, como mostra a **Figura 5.17**.

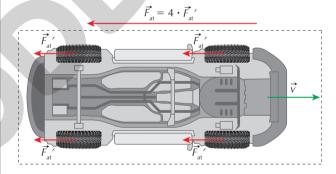


Figura 5.17 Carro visto por baixo, com a representação esquemática das quatro forças de atrito agindo sobre os quatro pneus do carro.

Portanto, substituindo a intensidade da força de atrito resultante na segunda lei de Newton, temos:

$$F_{\rm R} = ma \Rightarrow F_{\rm at} = ma$$

Substituindo a expressão que permite calcular a intensidade da força de atrito dinâmica, temos:

$$\mu_{d} \cdot N = ma \Rightarrow \mu_{d} \cdot mg = ma \Rightarrow a = \mu_{d} \cdot g \Rightarrow$$

 $\Rightarrow a = 0.6 \cdot 10 \text{ m s}^{-2} \therefore a = 6 \text{ m s}^{-2}$

Para calcular a velocidade inicial (v_0) em função da distância percorrida (Δs), podemos utilizar a equação de Torricelli ($v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$) e considerar a = -6 m s⁻², uma vez que o movimento é retardado e a velocidade é tomada como positiva. Portanto, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \Rightarrow 0 = v_0^2 - 2 \cdot 6 \text{ m s}^{-2} \cdot 75 \text{ m}$$

 $\therefore v_0 = 30 \text{ m s}^{-1}$

:: Terceira lei de Newton

Em uma corrida, no momento da largada, a atleta empurra para trás um bloco que serve de apoio (**Fig. 5.18 A**); entretanto, se observarmos com cuidado, veremos que não só a atleta empurra o bloco exercendo uma força, mas o bloco também empurra a atleta para a frente, exercendo uma força (**Fig. 5.18 B**). São forças aplicadas mutuamente.





Figura 5.18 (A) Atletas no momento da partida de uma corrida de atletismo. **(B)** Representação de par de forças indicando a lei da ação e reação.

Portanto, sempre que um corpo *A* aplica força em um corpo *B*, a recíproca acontece, ou seja, o corpo *B* também aplica força no corpo *A*. Newton enunciou essa afirmação como a terceira lei, que mais tarde passou a ser chamada de **terceira lei de Newton** ou **lei da ação e reação**. Ela afirma:

Sempre que um corpo A aplicar uma força \vec{F} em um corpo B (ação), o corpo B aplicará uma força $-\vec{F}$ no corpo A (reação), ou seja, uma força com a mesma intensidade, porém no sentido contrário.

Observe que a lei da ação e reação envolve dois corpos, a e b, mas, se houver um terceiro corpo na situação, outros pares de força se formarão. Note também que pares de ação e reação são sempre aplicados em corpos diferentes.





Figura 5.19 (A) Carro sendo rebocado. **(B)** Nessa representação, o rebocador puxa o carro, e o carro puxa o rebocador. Os dois veículos trocam um par de forças.

Observe o caminhão de reboque na **Figura 5.19**. Considere que ele tenha 2.000 kg e aplique uma força de intensidade *F* em um automóvel de 1.000 kg. Sendo a intensidade da força motora no caminhão de 3.000 N, com direção horizontal e sentido para a direita, e desconsiderando todas as forças contrárias ao movimento do carro, qual é a aceleração do conjunto, carro mais reboque, e a forca entre os dois?

Para o caminhão, a resultante das forças é dada por:

$$F_{R_{caminhão}} = 3.000 - F$$

Isso porque a força peso e a normal se cancelam. Para o carro, no qual o peso e a normal também se cancelam, a resultante das forças tem intensidade:

$$F_{R_{carro}} = F$$

Aplicando para o carro e para o caminhão a segunda lei de Newton, temos:

$$\begin{cases} F_{\mathsf{R}_{\mathsf{caminh}\mathring{a}o}} = m_{\mathsf{caminh}\mathring{a}o} a \\ F_{\mathsf{R}_{\mathsf{carro}}} = m_{\mathsf{carro}} a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3.000 - F = 2.000a \\ F = 1.000a \end{cases}$$

As equações obtidas formam um sistema de duas equações e duas incógnitas, o qual apresenta a solução:

$$a = 1 \text{ m s}^{-2}$$

 $F = 1.000 \text{ N}$

:: Máquinas simples

Nossa vida é rodeada de máquinas, das mais simples às mais sofisticadas. Podemos definir **máquina**, em Mecânica, como um dispositivo que altera a direção e/ou a intensidade de uma força, com o objetivo de realizar uma tarefa específica. Em geral, dispositivos mecânicos mais sofisticados são constituídos por diversas máquinas mais básicas, que são chamadas de **máquinas simples**. Uma de suas principais características é o **ganho mecânico**, que relaciona a razão entre o módulo da força aplicada à máquina e o módulo da força exercida pela máquina. Estudaremos, a seguir, as características principais de algumas máquinas simples.

Polia fixa



Figura 5.20 Em um poço como o que aparece na imagem, o balde é preso a uma corda que passa por uma polia fixa.

Para içar o balde no poço mostrado na **Figura 5.20**, uma pessoa pode aplicar uma força para baixo na corda, já que a corda passa por uma polia. A **polia** é um tipo de máquina

VELSON MATSUDA

BLURAZ/SHUTTERSTOCK

simples composta por uma roda sulcada, geralmente de madeira ou metal, por onde passa um cabo ou uma corda. O esquema mostrado na **Figura 5.21** representa a polia, o balde e um contrapeso. A que vemos na imagem é uma **polia fixa**, pois ela está presa a um ponto de apoio, nesse caso, no suporte de madeira. Considerando que a corda tem massa desprezível, quando comparada à massa do sistema, podemos provar que, independentemente da altura relativa entre o balde e o contrapeso, o sistema se equilibra quando o contrapeso e o balde têm o mesmo peso.



Figura 5.21 Representação esquemática das forças que agem no sistema composto de contrapeso, corda e balde. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Vamos analisar as forças necessárias para que o balde fique em equilíbrio. A força de tração deve ter a mesma intensidade que o peso do balde. Olhando a outra ponta da corda, na qual está o contrapeso, se há equilíbrio, a intensidade do peso do contrapeso é igual à intensidade da força de tração. Concluímos, então, que a força de tração tem a intensidade igual ao peso do corpo e igual ao peso do balde.

Dizemos, nesse caso, que o **ganho mecânico** da polia fixa é 1, isto é, a razão entre a força aplicada por um lado e a força utilizada para realizar a tarefa do outro, no caso elevar o balde, é igual a 1.

Polia móvel



Figura 5.22 Polia móvel de um guindaste.

A polia da **Figura 5.22** faz parte de um sistema de elevação no qual o objeto que será elevado é preso ao gancho, que por sua vez está preso à polia. Portanto, quando o objeto sobe, a polia sobe também. Esse tipo de polia é chamado de **polia móvel**. A **Figura 5.23** representa uma situação na qual um objeto de massa *m* equilibra um objeto de massa *M*

por meio de uma polia fixa no teto e uma polia móvel presa ao objeto de massa *M*.



Figura 5.23 Representação esquemática de polias móvel e fixa e das forças que atuam em cada uma. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: NELSON MATSUDA

Observando as forças aplicadas no objeto de massa *m*, temos a força de tração para cima e o peso para baixo. Como esse objeto se encontra em equilíbrio, a força de tração tem a mesma intensidade do peso. Assim:

$$T = P_1$$

No conjunto formado pelo objeto de massa M e pela polia móvel, cuja massa é desprezível, há duas forças de tração atuando para cima e o peso do objeto atuando para baixo. Logo, no equilíbrio, temos:

$$P_{2} = 2T$$

Comparando as duas equações, concluímos que:

$$P_2 = 2P_1$$

Isso nos permite dizer que, com o auxílio de uma polia móvel, é possível equilibrar um corpo em relação a outro com o dobro do peso. Portanto, nesse caso, temos uma polia móvel com um ganho mecânico igual a 2.

Plano inclinado





Figura 5.24 (A) Caminhão de reboque equipado com uma rampa. **(B)** Representação esquemática de um carro em cima de uma rampa com inclinação de ângulo θ e sob ação de uma força \vec{F} . (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

O plano inclinado é outro tipo de máquina simples. Para colocar um veículo sobre um caminhão de reboque, usualmente são utilizadas rampas com determinada inclinação em relação à horizontal, por exemplo. Imagine um carro de massa M que esteja apoiado em um plano inclinado e sendo puxado para cima para subir na rampa do caminhão (Figura 5.24 A). A força que puxa o carro é transmitida do motor do caminhão para o carro por meio de um cabo de aço com um gancho na ponta. A rampa possui uma inclinação de ângulo θ com a horizontal, conforme mostra a Figura 5.24 B. Se quisermos que o carro fique parado, desconsiderando as forças de atrito, uma força de intensidade F deve ser aplicada paralelamente ao plano inclinado. Mas qual é o valor da intensidade dessa força?

Primeiro, vamos representar todas as forças aplicadas ao carro parado sobre o plano inclinado, que são: o peso, que é vertical para baixo; a normal, que é perpendicular ao plano; e a força F aplicada pelo motor do caminhão. A representação das forças pode ser observada na Figura 5.25.

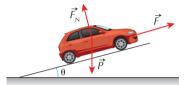


Figura 5.25 Representação esquemática das forças atuantes sobre o carro no plano inclinado. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

A força peso pode ser decomposta em duas componentes: uma paralela ao plano \vec{P}_x e uma perpendicular ao plano $\vec{P}_{v'}$ conforme mostra a **Figura 5.26 A**.

Portanto, desconsiderando as forças de atrito, se queremos obter a intensidade da força com que o carro deve ser puxado pelo quincho para se manter em equilíbrio, devemos calcular P_x .

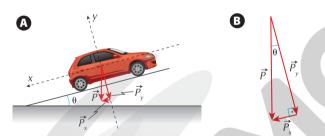


Figura 5.26 (A) Representação esquemática da decomposição da força peso. (B) Componentes do peso formando um triângulo. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Para calcular o módulo dos vetores $\vec{P}_x \in \vec{P}_y$ em função de \vec{P} , vamos considerar a **Figura 5.26 B**. No triângulo retângulo formado pelas componentes do peso, vemos um cateto formado por \vec{P}_v e a hipotenusa por \vec{P} . Como \vec{P}_v é perpendicular ao plano inclinado e \vec{P} é perpendicular à horizontal, então, o ângulo entre esse cateto e a hipotenusa é igual ao ângulo entre o plano e a horizontal, isto é, θ .

Usando as definições de seno e cosseno de um ângulo, temos as equações que nos permitem calcular a intensidade das componentes P_x e P_y :

$$P_x = P \cdot \text{sen } \theta$$
$$P_y = P \cdot \cos \theta$$

$$P_{v} = P \cdot \cos \theta$$

Portanto, em um plano inclinado, para equilibrar um corpo de peso P, precisamos aplicar ao longo do plano uma força com intensidade equivalente a $P_y = P \cdot \text{sen } \theta$.

O ganho mecânico em um plano inclinado é (sen θ)⁻¹, em que θ é o ângulo de inclinação do plano com a horizontal.



Figura 5.27 Estrada na serra do Rio do Rastro, em Santa Catarina, 2018. As curvas facilitam a subida. Por quê?

Em uma estrada que acompanha a subida de uma montanha, o traçado em alças, como mostra a Figura 5.27, faz com que a inclinação da pista em relação à horizontal figue menor. Logo, a componente do peso no eixo x será menor, exigindo menos esforço do motor do carro para subir. No entanto, a distância a ser percorrida será maior. Essa é uma regra que pode ser aplicada a todas as máquinas simples: se, por um lado, há um ganho mecânico, por outro, a força deve ser aplicada ao longo de um deslocamento maior. Ganha-se em força, mas "perde-se" quanto à distância a ser percorrida.



Figura 5.28 Garota descendo de skate por uma rampa.

Em outro exemplo, uma garota desce uma rampa com inclinação θ , conforme mostra a **Figura 5.28**. Que aceleração ela adquire ao descer a rampa, desconsiderando o atrito da rampa com as rodas do skate?

Primeiro, vamos representar esquematicamente as forças aplicadas (Fig. 5.29 A).

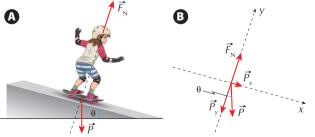


Figura 5.29 (A) Representação esquemática das forças aplicadas. (Imagem sem escala; cores-fantasia.) (B) Decomposição das componentes do peso.

Na **Figura 5.29 A**, podemos ver que as duas únicas forças aplicadas são o peso e a normal. A força peso pode ser decomposta nas componentes \vec{P}_x e \vec{P}_y , conforme mostra a **Figura 5.29 B**. Como o movimento será acelerado na direção paralela ao plano, as forças perpendiculares ao plano se cancelam; logo, a intensidade de \vec{P}_y é igual à intensidade da força normal. Assim:

$$P_y = F_N$$

Portanto, a intensidade da resultante das forças é igual somente a P_x .

$$F_{\rm R} = P_{\rm x} \Longrightarrow F_{\rm R} = P \operatorname{sen} \theta$$

Aplicando a segunda lei de Newton, encontramos a aceleração com a qual a garota no *skate* desce o plano.

$$F_{R} = ma \Rightarrow a = \frac{F_{R}}{m} \Rightarrow a = \frac{P \operatorname{sen} \theta}{m} \Rightarrow a = \frac{mg \operatorname{sen} \theta}{m} \Rightarrow a = \frac{mg \operatorname{sen} \theta}{m} \therefore a = g \operatorname{sen} \theta$$

Com essa equação, podemos calcular diretamente a aceleração que um corpo adquire ao descer um plano inclinado com atrito desprezível.

:: Movimento circular

Na **Figura 5.30 A**, observamos uma motocicleta que apresenta movimento circular, isto é, cuja trajetória corresponde a um arco de circunferência. De acordo com a primeira lei de Newton, se o movimento não é retilíneo nem uniforme, a resultante das forças aplicada não é nula. Na **Figura 5.30 A**, as forças aplicadas na moto são o peso, a normal e a força de atrito. Como o movimento é horizontal, a força peso se anula com a força normal. Logo, a resultante das forças é a força de atrito, que aponta para o centro da trajetória curva, como mostra a **Figura 5.30 B**.





Figura 5.30
(A) Moto fazendo uma curva em uma estrada.
(B) Representação da força de atrito agindo sobre a moto. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Em todo movimento circular uniforme (MCU), a resultante das forças aplicadas tem direção que passa pelo centro da trajetória curva (**Fig. 5.31**). Essa direção é chamada de **radial**. Um vetor que está na direção radial e tem o sentido apontado para o centro é chamado de **centrípeto**. Portanto, dizemos que a resultante das forças é centrípeta no MCU.

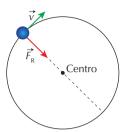


Figura 5.31 Resultante das forças em um movimento circular uniforme.

Observe que, mesmo a resultante das forças sendo nula, o movimento pode ser uniforme. No caso de um **movimento circular uniforme**, a resultante das forças na direção transversal (tangencial) ao movimento é responsável apenas pela **mudança na direção do movimento**, não acelerando nem desacelerando o corpo.

Aplicando a segunda lei de Newton, a resultante das forças na direção centrípeta (\vec{F}_{cp}) é dada por:

$$\vec{F}_{cp} = m \cdot \vec{a}_{cp}$$

Em que \vec{a}_{cp} é a aceleração na direção centrípeta, chamada de **aceleração centrípeta**.

Assim, o módulo da aceleração centrípeta (a_{cp}) de um objeto com velocidade v em uma trajetória circular de raio R pode ser calculado assim:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

Essa expressão pode ser comprovada pelo exemplo da moto. Quanto mais rápida ela estiver na curva, maior será a intensidade de uma força tangencial para que a curva seja feita. Logo, maior será a intensidade da resultante das forças na direção centrípeta. Com isso, a aceleração centrípeta em uma curva feita com velocidade maior é sempre maior.

Vejamos outra situação, em que uma acrobata, presa a uma corda, balança-se descrevendo um movimento circular. A **Figura 5.32** mostra o momento em que ela passa pelo ponto mais baixo do seu movimento. Considerando que a acrobata tem 50 kg, que sua velocidade é de 3 m s⁻¹ e que a corda tem 5 m, qual é a intensidade da força de tração na corda nesse ponto?



Figura 5.32 Acrobata passando pelo ponto inferior do movimento circular.

No ponto mais baixo do movimento, a acrobata não está acelerando (o que ocorre na descida) nem desacelerando (o que ocorre na subida). Portanto, nesse ponto, a resultante das forças que atuam sobre ela apresenta direção e sentido que passam pelo centro e apontam para esse mesmo centro, que está acima dela. Logo, a tração tem intensidade maior do que o peso. Na expressão da resultante das forças na direção centrípeta, temos:

$$F_{cp} = m \cdot a_{cp} \Rightarrow m \cdot a_{cp} = T - P \Rightarrow m \cdot \frac{v^2}{R} = T - mg \Rightarrow T = m \cdot \frac{v^2}{R} + mg$$

Substituindo os valores da massa, da velocidade e do comprimento da corda, que é igual ao raio, podemos calcular a intensidade da força de tração:

$$T = m \cdot \frac{v^2}{R} + mg \Rightarrow 50 \text{ kg} \cdot \frac{9 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}}{5 \text{ m}} + 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m s}^{-2} \therefore T = 590 \text{ N}$$

Fique por dentro

Forças e movimento: noções básicas

Veja nesse simulador como varia o movimento dos objetos ao serem puxados ou empurrados por forças de diferentes intensidades.

Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html. Acesso em: 3 abr. 2020.

Atividades

Registre em seu caderno



- 1. Mencione e explique qual lei de Newton se refere a cada afirmação a seguir.
 - a) Corpos de massas maiores aceleram menos do que corpos de massas menores se a mesma resultante das forças for aplicada para movimentá-los.
 - b) Quando um martelo bate em um prego, o prego também aplica força no martelo.
 - c) Quando estão em um ônibus, os passageiros em pé se seguram nas barras, pois a tendência de manter o movimento faria com que eles se movimentassem em relação ao ônibus no momento de uma freada, caso não se segurassem.
- **2.** Reproduza, no caderno, esta figura e represente todas as forças mostrando os pares ação e reação.



3. Considere dois meninos brincando de cabo de guerra. Por que, mesmo que eles puxem um ao outro com uma força de mesma intensidade, a resultante das forças sobre um deles não é sempre nula? Ou seja, por que o sistema não permanece em equilíbrio, e um deles vence?

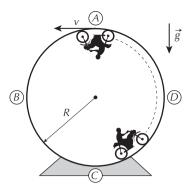
- **4.** (Uece) Suponha que uma esfera de aço desce deslizando, sem atrito, um plano inclinado. Pode-se afirmar corretamente que, em relação ao movimento da esfera, sua aceleração
 - a) aumenta e sua velocidade diminui.
 - b) e velocidade aumentam.
 - c) é constante e sua velocidade aumenta.
 - d) e velocidade permanecem constantes.
- 5. (Enem) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- e) Vertical e sentido para cima.
- **6.** (IFCE) Considere a figura a seguir, na qual é mostrado um piloto acrobata fazendo sua moto girar por dentro de um "globo da morte".

Ao realizar o movimento de loop dentro do globo da morte (ou seja, percorrendo a trajetória ABCD mostrada a seguir), o piloto precisa manter uma velocidade mínima de sua moto para que a mesma não caia ao passar pelo ponto mais alto do globo (ponto A).

GREISS DESIGN/SHUTTERSTOCK



Nessas condições, a velocidade mínima ν da moto, de forma que a mesma não caia ao passar pelo ponto A, dado que o globo da morte tem raio R de 3,60 m, é (Considere a aceleração da gravidade com o valor $q=10~{\rm m~s^{-2}}$.)

- a) 6 km h^{-1}
- c) 21,6 km h⁻¹
- e) 18 km h⁻¹

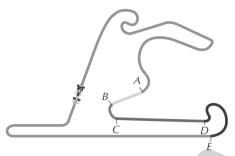
- **b)** 12 km h⁻¹
- d) 15 km h⁻¹
- 7. (Ifsul) Quantos trabalhadores serão necessários para conseguir colocar a caixa em movimento?



Em uma construção, será necessário arrastar uma caixa sobre uma superfície horizontal, conforme ilustra a figura acima. Para tanto, verifica-se que a caixa tem massa de 200 kg e que os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre as superfícies de contato da caixa e do plano são, respectivamente, 0,5 e 0,3. Sabe-se ainda que cada trabalhador dessa construção exerce uma força horizontal de 200 N e que um só trabalhador não é capaz de fazer o serviço sozinho. Considere que todos os trabalhadores exercem forças horizontais no mesmo sentido e que a aceleração da gravidade no local tem módulo igual a 10 m s⁻². Após colocar a caixa em movimento, os trabalhadores a deslocam com velocidade constante por uma distância de 12 m.

- **a)** 3
- b) 4
- **c)** 5
- **d)** 6

8. (Uerj) Um carro de automobilismo se desloca com velocidade de módulo constante por uma pista de corrida plana. A figura abaixo representa a pista vista de cima, destacando quatro trechos: AB, BC, CD e DE.



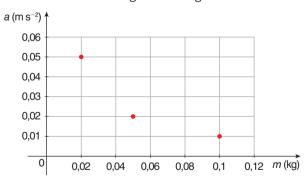
A força resultante que atua sobre o carro é maior que zero nos seguintes trechos:

- a) AB e BC
- c) DE e CD
- b) BC e DE
- d) CD e AB
- **9.** Imagine que um técnico de uma equipe de automobilismo analise a *performance* de diversos carros. Ao examinar as características dos carros, ele apresenta à equipe uma tabela com os valores abaixo:

	F (N)	m (kg)	a (m s ⁻²)
Carro A	7738	730	10,6
Carro B	7770	740	10,5
Carro C	7488	720	10,4

Analisando os dados da tabela, determine qual dos carros tem a maior aceleração.

10. Motores iônicos, utilizados em sondas espaciais, fornecem uma pequena intensidade de força propulsora, mas podem ficar acionados por muito tempo, 20.000 h ou mais. Em um estudo, foi observada a aceleração *a* que um objeto de massa *m* obteria com a força aplicada por um motor iônico. Os dados observados estão no gráfico a seguir.



De acordo com os dados observados, qual é o valor da intensidade da força propulsora dessa sonda?

Reflita sobre seu aprendizado!



Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?

6 Equilibrio

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 5; 6

Habilidades: EM13CNT204; EM13CNT301; EM13CNT306; EM13MAT308

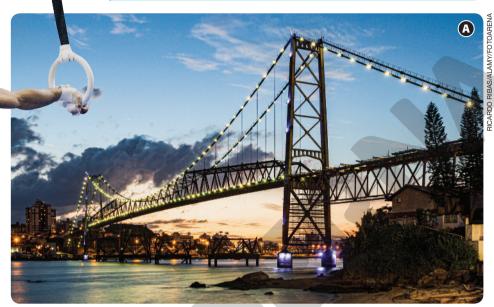


Figura 6.1 (A) Ponte Hercílio Luz, localizada em Florianópolis, SC (2015). (B) Na ginástica artística o movimento chamado cruz é executado nas argolas (Anaheim, Califórnia, 2004).

O que há em comum entre a ponte (**Fig. 6.1 A**) e o ginasta fazendo o movimento cruz nas argolas (**Fig. 6.1 B**)?

Enquanto o ginasta está fazendo o movimento cruz, ele se mantém em **equilíbrio**, assim como a ponte. Tanto no ginasta como na ponte há a aplicação de diversas forças, em destaque a força peso. A intensidade dessas forças e a distribuição delas em relação aos **pontos de apoio** para manter o equilíbrio seguem regras que serão estudadas com detalhes neste Tema.

:: Equilíbrio

Estima-se que o Stonehenge (**Fig. 6.2**) tenha sido construído em três fases, iniciando em 3100 a.C. e terminando por volta de 2070 a.C., em um local que hoje pertence à Inglaterra. É uma impressionante obra feita com pedras de até 25 toneladas. É motivo de estudo, até os dias de hoje, o modo como essa construção foi erguida, com apenas o conhecimento que se tinha na época. De que forma algumas dessas enormes pedras foram colocadas em cima de outras e lá estão, **em repouso**, há 5 mil anos?





STEPHEN DUNN/GETTY IMAGES

As pedras que estão em repouso em cima das outras (**Fig. 6.2**) estão em uma condição de **equilíbrio**. Há três tipos de equilíbrio: **estável**, **instável** e **indiferente**, como veremos a seguir.

Considere uma esfera que está apoiada sobre uma superfície côncava, como mostra a **Figura 6.3**. Quando a esfera está em repouso $(\vec{v} = \vec{0})$, a soma das forças que agem sobre ela é nula. Note que, se a esfera for deslocada da sua posição de equilíbrio, ela tende a retornar a essa posição. Nesse caso, dizemos que a esfera em repouso está em **equilíbrio estável**.

Considere agora uma esfera no topo de uma superfície convexa, como mostra a **Figura 6.4**. Quando a esfera está em repouso $(\vec{v} = \vec{0})$, a soma das forças que agem sobre ela é nula. Note que, se a esfera for deslocada da sua posição de equilíbrio, ela não vai retornar à posição de repouso. Nesse caso, dizemos que, no topo da superfície convexa, a esfera está em **equilíbrio instável**.

Temos agora a mesma esfera em uma superfície plana (**Fig. 6.5**). Na posição indicada na imagem, a soma das forças que agem sobre a esfera é nula, e ela está em repouso ($\vec{v} = \vec{0}$). Note que, se a esfera for deslocada para qualquer posição dessa superfície, as forças voltam a se equilibrar e a esfera fica em uma nova posição de equilíbrio. Nesse caso, dizemos que, nessa superfície, a esfera está em **equilíbrio indiferente**.

Quando olhamos para um prédio alto, como o da **Figura 6.6**, imaginamos que ele se mantém em uma posição constantemente fixa. Porém, se nos posicionarmos fora do edifício e olharmos atentamente para uma de suas extremidades, perceberemos que ele não está em repouso. Ele oscila, minimamente, em razão de perturbações como vibrações externas provenientes do solo e da força dos ventos. Podemos considerar o centro dessa oscilação como um estado de equilíbrio. Como ocorrem perturbações, o prédio é deslocado desse estado. Mas esse estado de equilíbrio citado é estável, instável ou indiferente?

Como, ao ser deslocado de seu estado de equilíbrio, o edifício tende a **voltar** para esse estado, esse equilíbrio é estável. Se fosse instável, ele tenderia a ir para um dos sentidos da perturbação e posteriormente tombaria. Se fosse indiferente, se deslocaria e ficaria na posição levada pela perturbação.

:: Corpo extenso e ponto material

Qualquer objeto pode ser considerado um corpo. Mas chamamos de **corpo extenso** aquele que tem dimensões (extensões) **relevantes** para um estudo – no nosso caso, o estudo do seu equilíbrio. Caso as dimensões não sejam relevantes, chamamos o objeto de **ponto material**. No estudo das condições de equilíbrio, a principal diferença entre um corpo extenso e um ponto material consiste no fato de que, no caso do ponto material, nos preocupamos

apenas com o equilíbrio em relação à translação, que é o movimento que o corpo faz de um ponto a outro. Afinal, se as dimensões do corpo não são relevantes, não há como caracterizar o movimento de rotação, ou seja, o movimento do corpo ao girar ao redor de um eixo. No caso de um corpo extenso, nos preocupamos com as condições de equilíbrio relativas à translação e à rotação. O corpo em equilíbrio estático não é deslocado para nenhuma direção, tampouco gira ao redor de um eixo de rotação.

Figura 6.6 Aparentemente a posição dos prédios é fixa, mas as vibrações do solo e as geradas pelos ventos fazem um edifício oscilar (São Paulo, SP, 2011).

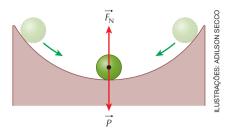


Figura 6.3 Esquema de esfera em equilíbrio estável.

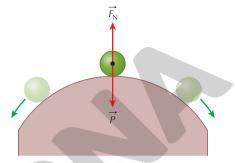


Figura 6.4 Esquema de esfera em equilíbrio instável.

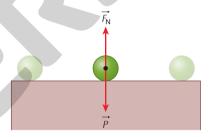


Figura 6.5 Esquema de esfera em equilíbrio indiferente.



Alguns exemplos são apresentados na **Figura 6.7**. O mosquetão amarrado por uma corda (**Fig. 6.7 A**) está sujeito à ação de diversas forças, mas suas dimensões não são relevantes para o estudo do equilíbrio. Nesse caso, portanto, ele é considerado um ponto material. A escultura (**Fig. 6.7 B**), por sua vez, está em equilíbrio e não tomba. Nos cálculos, é necessário considerá-la um corpo extenso, para que permaneça no estado de equilíbrio.





Figura 6.7 (A) Um mosquetão amarrado por uma corda. **(B)** Escultura de grandes proporções em uma praça na Argentina, 2020 (CATALANO, Eduardo. *Floralis generica*. 2002. Escultura, $44 \text{ m} \times 23 \text{ m}$).

:: Equilíbrio de um ponto material

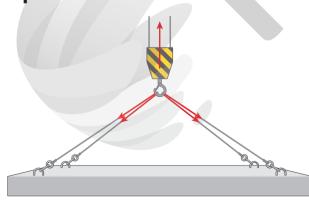


Figura 6.8 Na situação representada, o gancho é um ponto material. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

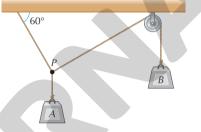
Várias forças atuam no gancho que aparece na **Figura 6.8**. A respeito desse gancho, diferentemente da placa que ele eleva, queremos saber apenas se será acelerado

para cima, para baixo, para a esquerda ou para a direita. Em outras palavras, queremos saber se haverá translação do gancho ou não. Portanto, ele pode ser considerado um ponto material. Nesse caso, e no de qualquer ponto material em equilíbrio, para que ele não seja acelerado em nenhuma direção, a soma vetorial das forças aplicadas deve ser nula.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

Vejamos um exemplo envolvendo dois blocos, como mostra a **Figura 6.9**. Qual deve ser a massa do bloco *B* para que o sistema se mantenha em equilíbrio, considerando que o bloco *A* tem massa de 10 kg? Adote: sen $30^{\circ} = \cos 60^{\circ} = 0,50$; sen $60^{\circ} = \cos 30^{\circ} = 0,87$; e $q = 10 \text{ m s}^{-2}$.

Figura 6.9 Esquema mostrando dois blocos suspensos por uma corda e uma polia. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



Vamos considerar as forças que atuam no ponto *P*. Colocando os vetores das forças em um plano cartesiano, de acordo com o gráfico da **Figura 6.10**, temos:

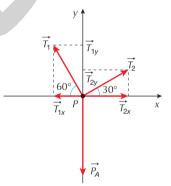


Figura 6.10 Forças que atuam no ponto *P*.

Das componentes no eixo x, temos:

$$T_{2x} - T_{1x} = F_{R(x)}$$

Como o sistema está em equilíbrio, $F_{R(x)} = 0$, logo:

$$T_2 \cdot \cos 30^\circ - T_1 \cdot \cos 60^\circ = 0$$

Das componentes no eixo y, temos:

$$T_{1y} = T_{2y} - P_A = F_{R(y)}$$

Novamente, como o sistema está em equilíbrio, $F_{R(y)} = 0$, logo:

$$T_1 \cdot \text{sen } 60^\circ + T_2 \cdot \text{sen } 30^\circ - 100 = 0$$

$$T_1 \cdot \text{sen } 60^\circ + T_2 \cdot \text{sen } 30^\circ = 100$$

Portanto, obtemos o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} T_2 \cdot \cos 30^\circ - T_1 \cdot \cos 60^\circ = 0 \\ T_1 \cdot \sin 60^\circ + T_2 \cdot \sin 30^\circ = 100 \text{ N} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_2 \cdot 0.87 - T_1 \cdot 0.50 = 0 \\ T_1 \cdot 0.87 + T_2 \cdot 0.50 = 100 \text{ N} \end{cases} 2$$

Da equação 1, temos:

$$T_2 \cdot 0.87 = T_1 \cdot 0.50 : T_2 = T_1 \cdot 0.57$$

Substituindo T_2 na equação 2, temos:

$$T_1 \cdot 0.87 + (T_1 \cdot 0.57) \cdot 0.50 = 100 \text{ N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_1 \cdot 0.87 + T_1 \cdot 0.28 = 100 \text{ N} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_1 \cdot 1,15 = 100 \text{ N} :: T_1 \approx 87 \text{ N}$$

Substituindo o valor de T_1 , na equação (1):

$$T_2 \cdot 0.87 - 87 \,\mathrm{N} \cdot 0.50 = 0 \Rightarrow T_2 \cdot 0.87 = 43.5 \,\mathrm{N}$$

$$T_2 = 50 \text{ N}$$

A partir da figura do enunciado, sabemos que $T_2 = P_{B'}$ portanto, a massa do bloco B deve ser:

$$P_B = m_B \cdot g \Rightarrow 50 \text{ N} = m_B \cdot 10 \text{ m s}^{-2} :: m_B = 5 \text{ kg}$$

:: Momento de uma força

Ao girar a maçaneta para abrir uma porta ou ao trocar o pneu de um carro com o auxílio de uma ferramenta, sempre tendemos a aplicar uma força o mais distante possível do eixo de rotação desses corpos. Para trocar o pneu de um carro, podemos usar uma chave de roda (**Fig. 6.11**). Essa ferramenta é composta de um **braço de alavanca** que permite aplicar a força o mais distante possível do eixo de rotação do parafuso, facilitando sua rotação. A ação que envolve a força e a tendência, ou a capacidade de uma força para girar um corpo ou alterar o estado de rotação de um corpo, é chamada de **momento de uma força** ou **torque**.



Figura 6.11 O eixo de rotação do pneu está no eixo da roda.

Observe agora o guindaste na **Figura 6.12 A**. Ele está suspendendo uma determinada carga. Há na barra horizontal diversas forças sendo aplicadas.

Vamos primeiro considerar a força (\vec{F}_1) aplicada no cabo que sustenta a carga (**Fig. 6.12 B**). Essa força age para girar a barra horizontal no sentido anti-horário, ao redor do ponto O. Dizemos, então, que há um **momento** dessa força, e chamamos de **braço** a distância entre a linha de ação da força e o ponto O.

Em nosso exemplo do guindaste, quanto maior o braço (b_1), maior é o efeito da força na rotação da barra horizontal e, consequentemente, maior é o momento da força ao redor do ponto O.

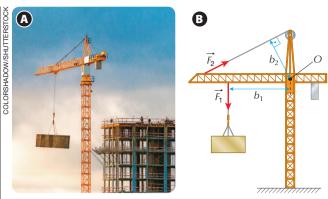


Figura 6.12 (A) Guindaste suspendendo uma carga. **(B)** Esquema de forças agindo nos cabos do guindaste. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Ainda considerando a **Figura 6.12 B**, o momento da força \vec{F}_2 no cabo inclinado age para girar a barra horizontal no sentido horário, ao redor do mesmo ponto O. Mesmo que a força \vec{F}_1 tenha a mesma intensidade da força \vec{F}_2 , o momento da força \vec{F}_2 é menor, uma vez que o braço b_2 é menor que b_1 .

Vimos como é prático calcular o momento de uma força \vec{F} em relação a um ponto O. Portanto, podemos definir o **momento de uma força**, em função da intensidade da força (F) e do braço (b), como:

$$M = \pm F \cdot b$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o momento de uma forca é dado em N m.

Os sinais positivo e negativo se devem à definição do momento:

- Positivo (M > 0), se a força que atua sobre o corpo gerar uma tendência de giro ou uma rotação no sentido anti-horário (Fig. 6.13 A).
- Negativo (M < 0), se a força que atua sobre o corpo gerar uma tendência de giro ou uma rotação no sentido horário (Fig. 6.13 B).

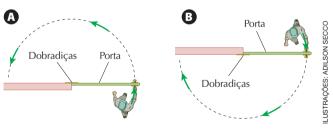


Figura 6.13 (A) Momento positivo (M > 0): giro ou rotação no sentido anti-horário. **(B)** Momento negativo (M < 0): giro ou rotação no sentido horário. (Imagens sem escala; cores-fantasia.)

Vejamos um exemplo usando o conceito de momento de uma força, em uma sala que tem uma porta com 2,10 m de altura e 72 cm de largura.

Qual é a intensidade do momento para abrir a porta mostrada na **Figura 6.14**, supondo que a maçaneta esteja a 70 cm da dobradiça (eixo de rotação da porta), e que uma força (\vec{F}) de 100 N é aplicada? E qual seria a intensidade da força para abrir a porta com o mesmo valor de momento calculado anteriormente, mas supondo que a maçaneta esteja à distância de 35 cm do eixo de rotação?



Representação do movimento da porta da sala. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Para a primeira questão, pelo enunciado e pela figura, temos b = 70 cm = 0.70 m e M > 0, uma vez que o sentido de giro é anti-horário. Dessa forma, podemos calcular a intensidade do momento como:

$$M = + F \cdot b \Rightarrow M = 100 \cdot 0.70 : M = 70 \text{ N m}$$

Na segunda questão, b = 35 cm = 0.35 m. Usando a intensidade do momento calculado anteriormente, 7 N m, temos:

$$M = + F \cdot b \Rightarrow F = \frac{M}{b} \Rightarrow F = \frac{70}{0.35} \therefore F = 200 \text{ N}$$

Vantagem mecânica

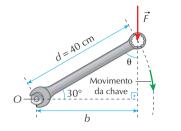
Uma vantagem mecânica envolvendo o momento de uma força está na distância entre o ponto em que a força é aplicada e o eixo de rotação do objeto. Note que, quanto maior for o braço da alavanca da força, maior será o momento. Assim, se estiver muito difícil girar um parafuso com uma chave de boca, experimente usar outra, mais comprida, ou um objeto que sirva de prolongador da chave, como mostra a Figura 6.15.



Figura 6.15 Chave de roda com um extensor.

Outro exemplo de vantagem mecânica pode ser observado na seguinte situação: uma pessoa está fazendo uma instalação hidráulica e precisa prender uma porca em uma torneira. A pessoa coloca a chave de boca para apertar a porca e aplica uma força \vec{F} com 20 N de intensidade na direção vertical e no sentido de cima para baixo na extremidade da chave, como mostra a Figura 6.16.

Figura 6.16 Representação da chave de boca usada para apertar a porca. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)



LUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Nessa situação, qual é a intensidade do momento aplicado pela pessoa? Em qual direção da força o momento seria máximo para a mesma intensidade de força aplicada?

Considerando a **Figura 6.16**, temos d = 40 cm = 0.40 m, $\theta = 60^{\circ}$ e M < 0, com sentido de giro horário em relação ao ponto O.

Em primeiro lugar, calculamos o braço da força:

$$b = d \cdot \text{sen } 60^{\circ} :: b \approx 0.35 \text{ m}$$

Agora, podemos calcular a intensidade do momento:

$$M = -F \cdot b \Rightarrow M = -20 \cdot 0.35 : M = -7 \text{ N m}$$

Com relação à direção da força, para que o momento seja máximo, a força aplicada deve formar um ângulo de 90° com a chave, pois nessa posição o braço é o maior possível.

:: Equilibrio de um corpo extenso



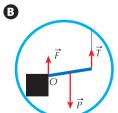


Figura 6.17 (A) Ponte levadiça (Schiedam, Países Baixos, 2018). (B) Representação de forças aplicadas na parte da ponte que aparece em destaque na foto.

A ponte levadiça da Figura 6.17 A é içada por meio de uma força de tração aplicada em uma das suas extremidades. Na Figura 6.17 B, observamos um lado da ponte e as três forças aplicadas: o peso, a tração e a força na articulação. Em relação à articulação (ponto O), a força \vec{F} tem momento nulo, uma vez que o braço dessa força é zero. A tração tem momento positivo, já que tende a girar a ponte em relação ao ponto O no sentido anti-horário. E o peso tem momento negativo, pois a tendência do giro causado pelo peso é ir no sentido horário. Para que a ponte fique em equilíbrio, assim como qualquer outro corpo extenso, devemos garantir que:

- a resultante das forças que agem sobre o corpo seja nula $(\sum \vec{F} = \vec{0})$. Nesse caso, o corpo está em **equilíbrio de translação**;
- a soma das intensidades de todos os momentos das forças que atuam sobre o corpo, em relação ao eixo de rotação, seja nula $(\sum M = 0)$. Nesse caso, o corpo está em **equilíbrio de rotação**.

Vejamos uma aplicação dos conceitos de equilíbrio em corpos extensos, como mostra a **Figura 6.18**. Uma ponte de 40 m, com um pilar em cada extremidade, deve suportar o próprio peso de 10^6 N e o de um caminhão de $2 \cdot 10^5$ N parado a 10 m de um dos pilares. Qual é a força exercida em cada um dos pilares, considerando que o sistema está em equilíbrio?

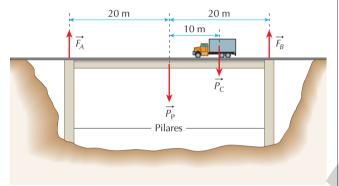


Figura 6.18 A ponte deve suportar o próprio peso e o do caminhão. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o sistema está em equilíbrio de translação, ou seja, todos os corpos estão parados, pois não há aceleração, a soma das forças é igual a zero $\left(\sum \vec{F} = \vec{0}\right)$. Adotando como positivo o sentido para cima, temos:

$$F_A + F_B - P_C - P_P = 0 \Rightarrow F_A + F_B = P_C + P_P \Rightarrow$$

 $\Rightarrow F_A + F_B = 2 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^6$
 $\therefore F_A + F_B = 12 \cdot 10^5 \text{ N}$

Adotando como eixo de rotação o ponto em que age a força $\vec{F}_{A'}$, temos uma tendência de giro para cada uma das forças, como mostra a **Figura 6.19**.

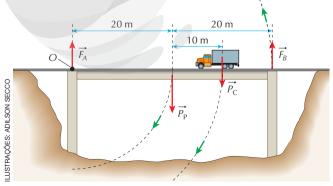


Figura 6.19 As linhas tracejadas indicam a tendência de giro das forças. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Como o sistema está parado, também temos equilíbrio de rotação $(\sum M = 0)$.

A força \vec{F}_A não tem influência de giro sobre o ponto O; assim, adotando o sentido anti-horário como positivo e o horário como negativo, temos:

$$(F_A \cdot 0) + (F_B \cdot 40 \text{ m}) - (P_P \cdot 20 \text{ m}) - (P_C \cdot 30 \text{ m}) = 0 \Rightarrow$$

 $\Rightarrow F_B \cdot 40 \text{ m} = P_P \cdot 20 \text{ m} + P_C \cdot 30 \text{ m}$
 $\therefore F_B = 6.5 \cdot 10^5 \text{ N}$

Assim:

$$F_A + F_B = 12 \cdot 10^5 \Rightarrow F_A + 6.5 \cdot 10^5 = 12 \cdot 10^5$$

 $\therefore F_A = 5.5 \cdot 10^5 \text{ N}$

Alavancas

Em sua obra *Vidas paralelas*, o escritor grego Plutarco (46 d.C.-120 d.C.) atribuiu ao filósofo, inventor e matemático grego Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.) a seguinte frase: "Dê-me uma alavanca longa o bastante e um ponto de apoio e eu moverei o mundo". Arquimedes dedicava-se ao estudo de conceitos e fenômenos que hoje relacionamos à Geometria e à Física, pois, naquela época, não se fazia a separação dos conhecimentos por áreas como fazemos hoje. Entre os estudos de Arquimedes, estão as **alavancas**, que também são **máquinas simples** como as que vimos no Tema 5. Por meio delas podemos multiplicar a intensidade de forças ou mudar sua direção, com o objetivo de facilitar determinada tarefa. Alguns tipos de alavanca que encontramos no dia a dia podem ser vistas na **Figura 6.20**.



Figura 6.20 (A) Abridor de latas. **(B)** Abridor de garrafas. **(C)** Anel de lata de alumínio. Todos são aparatos criados com base no princípio da alavanca.

ILUSTRAÇÃO: ANGELO SHUMAN

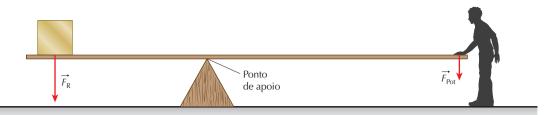


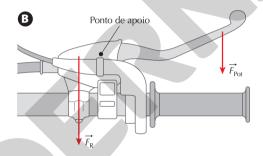
Figura 6.21 Representação das forças que agem sobre uma alavanca. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Quando uma alavanca é usada para levantar cargas, duas forças (Fig. 6.21) têm momento não nulo:

- A força potente (\vec{F}_{Pot}) que é aplicada para erguer a carga.
- A força resistente (\vec{F}_R) que é a força peso da carga. Como o braço da \vec{F}_{Pot} é maior que o braço da \vec{F}_R , no equilíbrio \vec{F}_{Pot} tem intensidade menor que \vec{F}_R . Há vários tipos de alavanca, como as que são indicadas a seguir.
- Interfixa: esse tipo de alavanca apresenta um ponto de apoio fixo entre a força resistente e a força potente. Alguns exemplos são gangorra, tesoura, martelo, guindaste, freio de uma motocicleta (Fig. 6.22).

Figura 6.22 (A)
Alavanca de freio de
uma moto. (B) A força
potente é aplicada
pelos dedos e a força
resistente é a tração
do cabo. (Imagem sem
escala; cores-fantasia.)





Inter-resistente: esse tipo apresenta força resistente entre o ponto de apoio e a força potente.
 Um exemplo é o carrinho de mão da Figura 6.23.



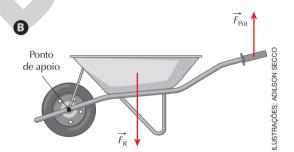


Figura 6.23 (A) Carrinho de mão como alavanca inter-resistente. (B) A força resistente é o peso da carga, enquanto a força potente é aplicada pela pessoa que leva o carrinho. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

• **Interpotente:** esse tipo de alavanca apresenta força potente entre o ponto de apoio e a força resistente. Alguns exemplos são pinça, vara de pesca, braço (**Fig. 6.24**).

Figura 6.24 (A) Homem levantando peso.
(B) O antebraço funciona como uma alavanca interpotente, tendo o cotovelo como ponto de apoio. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)





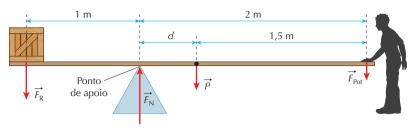


Figura 6.25 Esquema de alavanca usada para levantar a caixa. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Já que o sistema está em equilíbrio de rotação, vamos adotar o ponto de apoio como eixo de rotação. O momento de \vec{F}_R ao redor desse eixo é positivo (tendência de giro horário), enquanto o momento de \vec{F}_R e o momento de \vec{P} são negativos (tendência de giro anti-horário). Como nessa situação a soma dos momentos é nula, temos:

$$F_{\rm R} \cdot d_{\rm R} - F_{\rm Pot} \cdot d_{\rm Pot} - P \cdot d = 0$$

Da figura, temos:

$$d_{Pot} = 2 \,\mathrm{me}\,d_{R} = 1 \,\mathrm{m}$$

A distância *d* pode ser calculada como:

$$d = 2 - 1.5 : d = 0.5 \text{ m}$$

Logo:

300 N
$$\cdot$$
 1 m F_{Pot} \cdot 2 m $-$ 50 N \cdot 0,5 m \Rightarrow F_{Pot} \cdot 2 m $=$ 300 N m $-$ 25 N m

$$\therefore F_{Pot} = 137,5 \text{ N}$$

Como o sistema está em equilíbrio de rotação, temos:

$$F_{\rm N} = F_{\rm R} + F_{\rm P} + P \Rightarrow F_{\rm N} = 300 \,{\rm N} + 137,5 \,{\rm N} + 50 \,{\rm N} \, \therefore \, F_{\rm N} = 487,5 \,{\rm N}$$

Assim como as alavancas podem nos auxiliar em atividades cotidianas, também podem oferecer riscos. O uso inadequado de ferramentas por alavanca pode induzir o desequilíbrio, se manipulado de forma incorreta e, consequentemente, provocar acidentes. Por isso, é muito importante manusear as ferramentas seguindo os padrões de segurança.

Fique por dentro

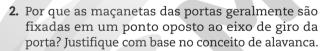
Balançando

Nesse site você encontra uma simulação que pode ser aproveitada como laboratório virtual para diversos experimentos de equilíbrio envolvendo corpos rígidos.
Disponível em: httml/balancing-act_pt_BR.html.

Acesso em: 30 jun. 2020.

Atividades

1. Um objeto pode estar em equilíbrio estático quando apenas uma força age sobre ele? Por quê?



3. Uma pessoa de 50 kg está parada no meio de um andaime, que está preso por duas cordas, uma em cada ponta, com tensão de 400 N em cada uma. Qual é o peso do andaime?



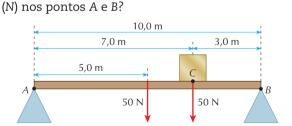
5. Uma barra uniforme tem peso de 50 N e 10 m de comprimento. A barra está apoiada em suportes no

60 cm

Registre em seu caderno

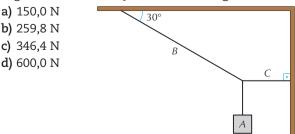
chão pelas suas extremidades A e B. Em um ponto C localizado a 1 m do ponto B, há um bloco com peso

LUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



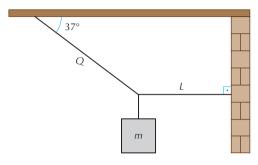
de 50 N. Qual é a intensidade das forças de reação

6. (PUC-RJ) Uma caixa A, de peso igual a 300 N, é suspensa por duas cordas, B e C, conforme a figura a seguir. O valor da tração na corda B é igual a:



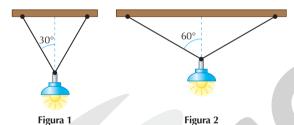
145

(Dados: $\cos 37^{\circ} = 0.8 \text{ e sen } 37^{\circ} = 0.6$)



- a) 144 N
- c) 192 N
- e) 320 N

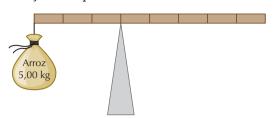
- **b)** 180 N
- d) 240 N
- 8. (Unesp) Um lustre está pendurado no teto de uma sala por meio de dois fios inextensíveis, de mesmo comprimento e de massas desprezíveis, como mostra a figura 1, onde o ângulo que cada fio faz com a vertical é 30°. As forças de tensão nos fios têm a mesma intensidade.



Considerando cos $30^{\circ} \simeq 0,87$, se a posição do lustre for modificada e os fios forem presos ao teto mais distantes um do outro, de forma que o ângulo que cada um faz com a vertical passe a ser o dobro do original, como mostra a figura 2, a tensão em cada fio será igual a:

- a) 0,50 do valor original.
- d) 2,00 do valor original.
- b) 1,74 do valor original.
- e) 3,46 do valor original.
- c) 0,86 do valor original.
- 9. (Enem) Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso,

os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.



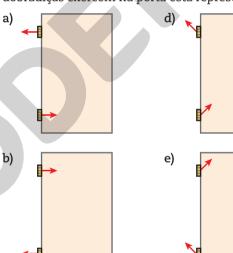
Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

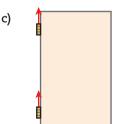
- a) 3,00 kg
- c) 5,00 kg
- e) 15,00 kg

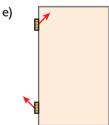
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998

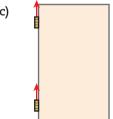
- **b)** 3,75 kg
- d) 6,00 kg
- 10. (Enem) O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que a porta seja fixada no móvel ou no portal, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em:









Reflita sobre seu aprendizado!

Registre em seu caderno

Como eu avalio minha compreensão das principais ideias discutidas no Tema e sua relação com os objetivos gerais da Unidade: excelente, razoável ou ainda preciso melhorar?

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 1; 2;

4; 5; 7; 8; 9

Habilidades: EM13CNT305; EM13CHS502; EM13LGG102

Conhecimentos científicos podem ser usados para justificar um preconceito?

Reflita sobre a questão acima e registre suas ideias. Em seguida, leia o texto e responda às questões.

Em 1876, o médico italiano Cesare Lombroso (1835--1909) publicou parte de seus estudos no livro O homem delinquente, que foi um dos primeiros registros de um conjunto de teorias aparentemente científicas que ficou conhecido como antropologia criminal. O livro trazia informações que, supostamente, permitiam identificar o caráter criminoso em homens adultos a partir das características físicas dos indivíduos. O trabalho de Lombroso teve início logo após ele se formar em Medicina, na Universidade de Pavia (Itália), aos 23 anos, quando assumiu a direção do manicômio de Pesaro. Posteriormente, foi designado médico na penitenciária de Turim, e foi a partir dessa convivência com os internos que Lombroso passou a defender a ideia de que o biotipo do indivíduo - por exemplo, o tamanho das mandíbulas, o formato do crânio, a forma do cérebro, a estrutura óssea – e o porte de tatuagens seriam indícios suficientes para constatar um histórico criminoso ou uma propensão ao crime. Na visão de Lombroso, a criminalidade – ou delinguência – e os desvios comportamentais tinham, de alguma forma, uma origem biológica, ou seja, eram fruto da genética. A teoria da criminalidade inata, como também ficaram conhecidas as afirmações de Lombroso, é um dos vários exemplos de teorias classificadas como darwinismo social, que, apesar do nome, não têm relação com os estudos do cientista inglês Charles Darwin (1809-1882).

A ideia de darwinismo social se fundamenta em tentativas de aplicar a teoria da evolução às sociedades, por exemplo, considerando que os seres humanos possam ser aperfeiçoados, física ou socialmente. Nessas tentativas, pessoas buscaram indevidamente nas Ciências da Natureza evidências que confirmassem suas hipóteses a respeito da ordem social ou, ainda, usaram práticas de investigação aparentemente científicas para comprovar suas teorias, muitas vezes manipulando dados e estabelecendo relações de causa e consequência enviesadas.

Algumas das ideias que contribuíram para o surgimento do darwinismo social são mais antigas do que a própria expressão, que passou a ser usada a partir da década de 1870. Por volta do século IX a.C. surgiu a cidade de Esparta, que, com o passar dos anos, tornouse uma sociedade de exímios guerreiros, prezando por atributos físicos como força e beleza. Para garantir a boa

linhagem espartana era comum que crianças nascidas com alguma deficiência física fossem assassinadas logo após o nascimento. Outro exemplo remonta ao período das Grandes Navegações, em que era comum a ideia de que os povos colonizados, fossem os nativos americanos, africanos ou asiáticos, não conseguiriam por si só alcancar o desenvolvimento sem a intervenção e ajuda dos colonizadores. Mas foi no século XIX que esse modo de pensar e agir ganhou o nome de eugenia, dado pelo antropólogo inglês Francis Galton (1822-1911), primo de Charles Darwin. Galton acreditava que as sociedades europeias ocidentais concentravam uma raça de seres humanos mais evoluída, pois segundo ele essas sociedades eram mais desenvolvidas, civilizadas e industrializadas. Dessa forma, seria necessário, para o bem da humanidade, garantir que as pessoas dessas raças vistas como superiores gerassem descendentes e os demais, aqueles classificados como raças inferiores, não.

A palavra eugenia tem origem no grego antigo e pode ser traduzida como "boa origem" ou "bom parentesco". As ideias eugenistas foram muito difundidas pelo mundo no final do século XIX e início do século XX, sendo usadas como pretexto para a institucionalização do racismo, da xenofobia e de outras discriminações. Nos Estados Unidos, por exemplo, diversos estados criaram leis que previam a esterilização compulsória de criminosos, alcóolatras e prostitutas como estratégia para que as características, que eram consideradas de base biológica, com potencial de serem passadas de pais para filhos, não fossem transmitidas às próximas gerações. Ao mesmo tempo, eram altamente desaconselhados casamentos inter-raciais. No Brasil não foi diferente. Em 1929 aconteceu o 1º Congresso Brasileiro de Eugenia, visando difundir as ideias de aperfeiçoamento genético da população e garantir uma pátria ideal por meio do melhoramento racial. Por aqui a eugenia foi recebida com grande aceitação pelas elites da época. Um dos motivos foi o apoio e a divulgação por médicos, sanitaristas, escritores, intelectuais, políticos e outros influenciadores daquele período, de forma que a Constituição de 1934 previa, no item b do artigo 138, o estímulo à "educação eugênica" como parte dos atributos da União, Estados e Municípios, permitindo, entre outras coisas, a segregação dos estudantes em função da classe social, origem familiar ou cor da pele.

O caso mais conhecido de eugenia da história é o holocausto, promovido na Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial, quando as ideias de Galton foram levadas ao limite com o extermínio dos cidadãos de nacionalidades, etnias ou condutas diferentes daquelas tidas como ideais pelos governantes. E, enquanto milhares morriam nos campos de concentração, outras tantas pessoas, consideradas inferiores, serviram de objeto de estudos para que os cientistas subordinados ao governo nazista realizassem todo tipo de experimentação, sem preocupação ética, em prol, segundo eles, do desenvolvimento científico.

Felizmente, casos nos quais houve deturpação das teorias ou práticas de investigação científica representam uma fração ínfima do conhecimento produzido pela humanidade. Com o passar do tempo, a participação da sociedade na luta pelos direitos civis contribuiu para que houvesse maior preocupação com a ética na experimentação científica, com a validade dos resultados obtidos e com as conclusões tiradas na prática científica, possibilitando que outros episódios, semelhantes aos que foram citados neste texto, não se repetissem. Embora casos de discriminação por cor, classe social, credo e orientação sexual ainda aconteçam em nossa sociedade, eles não encontram respaldo em teorias científicas, senão por meio de uma interpretação equivocada ou possivelmente mal-intencionada das teorias de Darwin.

Atividades

Registre em seu caderno

 Os trechos a seguir foram extraídos da Declaração Universal dos Direitos Humanos (1948) e da Constituição Federal Brasileira, respectivamente.

Artigo 1º Todos os seres humanos nascem livres e iguais em dignidade e em direitos. [...]

Artigo 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País

- a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade [...]:
- I homens e mulheres são iguais em direitos e obrigações, nos termos desta Constituição; [...]
- Que relações podem ser estabelecidas entre os trechos desses documentos e o conteúdo trabalhado nesta seção?
- 2. Adolf Tobeña, professor e pesquisador do Departamento de Psiquiatria e Medicina Legal da Universidade Autônoma de Barcelona, afirmou em seu livro *Cérebro e poder*, publicado em 2010, que "A testosterona é 'o núcleo do poder'", sugerindo, dessa forma, que os níveis desse hormônio no organismo são determinantes para exercer funções de liderança.

Fonte consultada: LIDERANÇA é questão de testosterona, diz psiquiatra. Folha de S.Paulo, 11 set. 2010. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/me1109201006.htm>. Acesso em: 23 jun. 2020.

- a) Qual é a relação entre o hormônio testosterona e o gênero de um indivíduo?
- b) Trace um paralelo entre o que o texto introdutório assevera e a afirmação atribuída a Adolf Tobeña. Apresente exemplos que se contraponham à afirmação do pesquisador.
- 3. Retome o registro feito no início desta seção refletindo e reavaliando sua resposta. Procure identificar quais fatores contribuem para a perpetuação do preconceito na nossa sociedade. Resuma sua ideia em um texto curto (cerca de dez linhas) e crie uma nuvem de palavras utilizando a ferramenta on-line disponível em: https://www.wordclouds.com/ (acesso em: 23 jun. 2020). Para compreender o panorama das ideias preparadas pelos demais colegas, entregue ao professor o texto em formato digital para a produção da nuvem de palavras da sala. Após a apuração das ideias, compare sua nuvem de palavras com a dos colegas. Discuta com eles a fim de compreender o motivo do uso de algumas das palavras não empregadas em seu texto.

Pensamento crítico e argumentação

Registre em seu caderno

Melhor prevenir ou remediar? Os desastres ambientais causados por vazamentos de barragens de rejeitos

Na seção *Pensamento crítico e argumentação* da Unidade 1, estudamos que no ato de argumentar há uma necessidade inerente de convencimento, que requer uma justificativa para a ideia que está sendo apresentada. Vamos olhar agora para alguns tipos de argumento e como eles apresentam essas justificativas.

A **indução**, a **dedução** e a **analogia** são formas de argumentação que incorporam estratégias variadas para apresentar justificativas. Para entender as diferenças entre elas é importante compreender alguns conceitos: proposição, premissas e conclusão.

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 2;

4; 7; 9; 10 **Habilida**

Habilidades: EM13CNT104; EM13CNT203; EM13CNT206; EM13CNT306; EM13CHS103; EM13LP05 A **proposição** é uma frase em que se afirma ou se nega algo. Por exemplo, "o ser humano é um animal racional". As **premissas** são as proposições que levam a uma conclusão. E o argumento é o raciocínio, isto é, o encadeamento de proposições que nos levam a uma conclusão, processo denominado **inferência**.

Assim, partindo de premissas consideradas verdadeiras, é possível extrair delas uma **conclusão válida**. O argumento, portanto, é válido quando sua conclusão é consequência lógica de suas premissas.

Dependendo das premissas, é possível **generalizar** ou não um argumento, e podemos usar as ideias contidas em um argumento para fazer **predições** ou expressar uma ideia da probabilidade de algo ocorrer.

Em diferentes medidas, os três tipos de argumento nos ajudam a lidar com problemas diários. Por exemplo, usamos a indução quando fazemos observações de casos particulares e tentamos prever o que vai ocorrer em casos gerais. A dedução se faz presente, por exemplo, quando conhecemos regras gerais e tentamos prever o que vai acontecer em um caso específico. Já a analogia é utilizada quando comparamos objetos ou fenômenos diferentes e inferimos a existência de pontos de semelhança.

- 1. As frases a seguir trazem características dos três tipos de argumentos apresentados: dedutivo, indutivo e por analogia. Em trios, analisem e discutam as frases, classificando-as em um dos três tipos de argumento. Considerem que (i) há informações nas frases para ajudar nessa classificação e (ii) cada um dos tipos de argumento está relacionado a cinco frases.
 - a. Passa da ideia para a observação.
 - b. Começa com as observações e se move em direção a generalizações e teorias.
 - c. Usa similaridades entre fatos e objetos específicos para prever comportamentos associados a eles.
 - d. Começa com uma afirmação (ou hipótese), que será testada por meio da observação.
 - e. Começa com uma comparação, que pode ser observada entre dois fatos ou objetos, para então concluir (inferência) sobre um deles.
 - f. Passa da observação para a ideia.
 - g. Apresentam conclusões inatacáveis, pois assume-se que todas as premissas são verdadeiras.
 - h. Se as premissas são verdadeiras, a conclusão é definitivamente válida.
 - i. Usa um caso especial para entender um princípio geral (passa do mais específico para o mais geral).
 - j. Passa da comparação para a construção de uma inferência.

- k. Apresenta alguma probabilidade de ser verdadeiro, o que pode variar com base na força das evidências usadas para apoiá-lo.
- Usa um princípio geral para compreender um caso em especial (passa do mais geral para o mais específico).
- m. Os argumentos são fracos ou fortes dependendo da relevância das semelhanças observadas para o estabelecimento da conclusão.
- n. Se as premissas são verdadeiras, a conclusão provavelmente é válida.
- o. Se há semelhanças justificáveis por premissas consideradas verdadeiras entre o que está sendo analisado, a inferência sobre outra semelhança, ou seja, a conclusão, é provavelmente válida.
- 2. Agrupem-se com outros trios de modo que a turma seja dividida em três grupos. Cada grupo fará a revisão das frases que contêm as características de um dos tipos de argumento. Em seguida, organizem as frases do tipo de argumento analisado por seu grupo, relacionando cada frase a uma das seguintes categorias: ideia geral, ponto de partida, movimento cognitivo, força do argumento e conclusão do argumento. No final, compartilhem com toda a turma o resultado dessa organização.
- 3. Retomem a organização inicial por trios e discutam como poderiam avaliar a qualidade de cada tipo de argumento. Nesse processo, considerem as particularidades de cada tipo de argumento.
- 4. Em novembro de 2015, uma barragem de rejeitos de mineração se rompeu no município de Mariana, Minas Gerais. Em janeiro de 2019, o rompimento de outra barragem ocorreu em Brumadinho, Minas Gerais. O número de mortes e os danos ambientais e econômicos causados pelas duas tragédias suscitaram um amplo debate sobre responsabilidade ambiental e os desafios do setor da mineração. Nesse contexto, vamos exercitar as ideias sobre argumentos que temos discutido. Ainda em trios, leiam os trechos a seguir sobre as tragédias ocorridas em Minas Gerais e classifiquem-nos em dedutivo, indutivo ou por analogia. Justifiquem a resposta caso a caso.

a)

[...] O vazamento de 32 milhões de metros cúbicos de lama com rejeitos de minérios agravou a situação de rios que já sofriam degradação com a descarga contínua de esgotos e resíduos de mineração, além da perda das matas que protegiam suas margens. "A bacia do rio Doce é hoje a mais impactada do Brasil", comentou Pavan, com base nos trabalhos em campo e de laboratório do Giaia. [...]

Fonte: FIORAVANTI, C. Águas mortas. Revista Pesquisa Fapesp, edição 243, maio 2016. Disponível em: <a href="mailto: em: mortas/>. Acesso em: 23 jun. 2020.

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

[...] Um estudo feito por pesquisadores canadenses, com base na análise de 143 desastres em mineração reportados no mundo entre 1968 e 2009, apontou que há uma correlação entre os ciclos de alta e de baixa dos preços dos minérios no mercado internacional com rompimentos de barragens de rejeitos. [...]

Fonte: ALISSON, E. Risco de rompimento de barragens de rejeitos aumenta com queda no preço dos minérios. *Agência Fapesp*, 26 fev. 2019. Disponível em: https://agencia.fapesp.br/risco-de-rompimento-de-barragens-de-rejeitos-aumenta-com-queda-no-preco-dos-minerios/29893/.

Acesso em: 23 jun. 2020.

c)

[...] O método conhecido como "alteamento a montante", no qual a barreira de contenção recebe camadas do próprio material do rejeito da mineração, era usado pela mina Córrego do Feijão em Brumadinho e também pela mina do Fundão, [...] em Mariana, onde uma barragem se rompeu há três anos.

"É a forma mais comum porque é mais barata para se construir e mais rápida de se licenciar porque ocupa menos espaço da bacia hidrográfica. Mas é também a mais perigosa e com maior risco. Por isso países com características similares às do Brasil não usam ou estão proibindo", explica o geólogo Eduardo Marques, professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ele cita o Chile e o Peru como países que baniram o método e a África do Sul como um dos que podem proibir em breve. A Austrália, porém, ainda o usa. "Mas a região é mais seca que no Brasil e os vales são mais abertos que os de Minas Gerais", salienta Marques. [...]

Fonte: ODILLA, F. Brumadinho: quais são os tipos de barragem e por que a Vale construiu a menos segura na mina Córrego do Feijão? *BBC News Brasil*, 29 jan. 2019. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47048439>.

Acesso em: 23 jun. 2020.

5. Com base nas discussões e em informações pesquisadas em fontes confiáveis e diversificadas, vocês devem escolher um dos tipos de argumento que estudamos até aqui para elaborar um texto e responder à pergunta: do ponto de vista ambiental, quais são os argumentos favoráveis à prevenção dos vazamentos em barragens de rejeitos?

Valores e atitudes 🗷

Registre em seu caderno

A criação de novas empresas é fundamental para o desenvolvimento econômico de um país ao gerar divisas e empregos. Cientistas, empresários e investidores do mundo inteiro têm vislumbrado a possibilidade de transferência de conhecimento científico-tecnológico para o mercado produtivo. Os exemplos vão desde a criação de *kits* aeroespaciais para escolas e desenvolvimento de sensores para estudos científicos até a exploração de minérios provenientes de meteoros e asteroides.

Por dentro da BNCC

Competências gerais: 2; 6; 8; 10

Habilidade: EM13CHS404

Nesse contexto de empreendedorismo de base tecnológica, surgem diversas *startups*: pequenas empresas que buscam oferecer produtos e/ou serviços inovadores e diferenciados.

Mas quem são esses empreendedores? Apresentamos, a seguir, duas histórias diferentes que se configuram em casos bem-sucedidos.

O objetivo de William Whittaker, da Carnegie Mellon University, era ganhar o Google Lunar X Prize, competição lançada em 2007 que prometia US\$ 30 milhões para a equipe que fizesse um pouso com sucesso na Lua. Não havia plano de negócios, sequer [slides] mostrando de onde a equipe iria tirar os recursos necessários para financiar a jornada. Pouco depois de começar as pesquisas, a equipe percebeu que era preciso buscar outras fontes de receita. "Percebemos rapidamente que precisaríamos de mais dinheiro, e que precisávamos criar algo maior do que o prêmio", diz John Thornton, cofundador [...] da [...] empresa que resultou da brincadeira. [...] A solução foi criar um serviço completamente novo: o transporte de cargas à superfície lunar.

Fonte: FRABASILE, D. Conheça as *startups* que querem conquistar o espaço. *Revista Época Negócios*, São Paulo, 17 jul. 2018. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/ Empreendedorismo/noticia/2018/06/conheca-startups-que-querem-conquistar-o-espaco.html>.

Acesso em: 23 jun. 2020.

[...] Nanda [Carvalho]: nascida e criada na favela do Jacarezinho, no Rio de Janeiro, ouvia desde criança que pessoas como ela não teriam oportunidade de estudar e crescer na vida. Que dirá, então, empreender. Porém, com persistência e uma boa dose de cara de pau, como ela mesma diz, encontrou na tecnologia uma oportunidade de mudar a sua realidade. [...] A jovem criou a plataforma [...] de compra e venda de produtos voltada para micro e pequenos empreendedores.

Continua

[...] Se juntou com um amigo, [...] e decidiram juntos unir seus conhecimentos e criar algo que pudesse ter um impacto social na vida de pessoas como eles. A jovem brinca que a ideia surgiu durante um banho. Diante de alguns pensamentos soltos, [...] observou que não conhecia nenhuma rede social voltada para pequenos e microempreendedores onde se pudesse comprar e vender produtos por meio de um ambiente virtual. Foi então que a *startup* [...] surgiu.

[...] dois grandes diferenciais do sistema é que os vendedores não precisam pagar para ficar mais bem ranqueados (como acontece em alguns serviços de compra e venda *online*) e a porcentagem destinada à *startup* será sempre de 10%.

Fonte: CRUZ, B. S. Da favela à *startup*: jovem empreendedora conquista apoio do Facebook. *UOL*, 2017. Disponível em: httm. Acesso em: 23 jun. 2020.

Esses empreendedores, em geral, apresentam algumas das características apresentadas a seguir.

Características do comportamento empreendedor (CCE)

Busca de oportunidade e iniciativa

Persistência

Comprometimento

Exigência de qualidade e eficiência

Correr riscos calculados

Estabelecimento de metas

Busca de informação

Planejamento e monitoramento sistemático

Persuasão e rede de contatos

Independência e autoconfiança

Fonte: SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. Disciplina de Empreendedorismo. Manual do Aluno. Módulo 1 – o empreendedor. 2013. Disponível em: https://fundec.edu.br/public/arquivos/unifadra/empreendedorismo/DISCIPLINA%20DE%20EMPREENDEDORISMO_Aluno%20Modulo%201.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

1. Agora é hora de refletir sobre seu comportamento empreendedor. Após analisar os exemplos e o quadro, responda:

- a) Quais dessas características apresentadas por empreendedores você gostaria de desenvolver ou aperfeiçoar e por quê?
- b) Que estratégia(s) você pode utilizar para desenvolvê-las ou fortalecê-las? Lembre-se de determinar prazos para alcançar essas metas.
- 2. Em ambas as histórias, percebe-se que os fundadores das startups enxergaram as demandas do mercado e transformaram suas ideias em oportunidade de negócio. Agora é a sua vez! Considerando sua realidade local, reflita e busque informações sobre o que você poderia fazer. Utilize o quadro a seguir para desenhar e testar a sua ideia.
 - 1. Quais insights ou dados você obteve que favorecem a criação de um serviço ou produto?
- 2. Como você descreveria esse produto ou serviço?
- 3. Quem será o seu público-alvo? Por que ele precisa do seu produto ou serviço? Em que situação ele o usará?
- 4. Por que ele escolheria seu produto ou serviço?
- 5. Como seu serviço ou produto pode ser implementado? Exemplos de perguntas que você pode se fazer: "Que estratégias eu posso adotar para meus possíveis clientes saberem que existo?", "Vou precisar de parceiros?", "Vou precisar de estrutura física ou virtual?".
- 6. Se possível, teste a sua ideia. Reúna dois ou três potenciais clientes entre seus colegas de turma e fale sobre seu produto ou servico. Depois. invertendo os papéis, solicite que simulem uma venda para você. O objetivo é que os próprios clientes exponham suas necessidades. Com isso, espera-se que você consiga analisar os argumentos dos "novos vendedores", identificar as informações relevantes e avaliar quais mensagens foram mais bem compreendidas – e, assim, melhorar seu produto ou serviço.

Fonte consultada: ROSA, C. A.; COUTO, G. M.; LAGE, M. G. *Guia essencial para novos empreendedores*: ideação. Belo Horizonte: Sebrae/MG, 2015. 124 p. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20">https://www.sebrae/UFs/DF/Anexos/Volume%202%20

Revise e amplie!

Registre em seu caderno

Agora que o trabalho com a Unidade foi finalizado, é o momento de autoavaliar seu aprendizado e identificar novos interesses para continuar aprendendo. Para isso, reflita sobre as questões abaixo.

- O que eu aprendi sobre a temática humanos, metais e máquinas?
- O que mais eu gostaria de saber sobre essa temática?

Tabela periódica



18	2	hélio	4,003	0	Se	neônio 20 18	18	Ar	argônio 39,95	36	Ž	criptônio 83,80	54	Xe	xenônio 131,3	98	Rn	radônio	118	Ö	oganessônio	
		17	2	6	щ	flúor	17	ፘ	cloro 35,45	35	Br	bromo 79,90	53	_	iodo 126,9	85	At	astato	117	Ls	tennesso	
		16	2	∞ .	0	oxigênio	16	S	enxofre 32,06	34	Se	selênio 78,97	52	Те	telúrio 127,6	84	Po	polônio	116	۲۸	livermório	
		ر	2	\	Z	nitrogênio	15	Ь	fósforo 30,97	33	As	arsênio 74,92	- 21	Sp	antimônio 121,8	83	B.	bismuto 209,0	115	Mc	moscóvio	
		14	•	9	ပ	carbono 12 01	41	Si	silício 28,09	32	Ge	germânio 72,63	20	Sn	estanho 118,7	82	Pb	chumbo 207,2	114	ェ	fleróvio	
		13	2	٠	2	boro	13	¥	alumínio 26,98	31	Са	gálio 69,72	49	므	índio 114,8	81	=	tálio 204,4	113	ج Z	nihônio	
			_				1		12	30	Zu	zinco 65,38	48	5	cádmio 112,4	80	E T	mercŭrio 200,6	112	C	copernício	
									1	29	D D	cobre 63,55	47	Ag	prata 107,9	79	Αu	ouro 197,0	111	Rg	roentgênio	
															paládio 106,4			4			darmstádtio	
				,					6	27	ဝ	cobalto 58,93	45	R	ródio 102,9	77	_	irídio 192,2	109	¥		
									8	76	Fe	ferro 55,85	44	Ru	rutênio 101,1	9/	ő	ósmio 190,2	108	Hs	hássio	
									7	25	Mn	nanganês 54,94	43	T _C	tecnécio	75	Re	rênio 186,2	107	Bh	bóhrio	
									9	24	ڻ	crômio r 52,00	42	Mo	molibdênio 95,95	74	>	ungstênio 183,8	106	Sg	seabórgio	
			-[00	_				5				╁		nióbio n 92,91	\vdash						
		ogenda.	curate.	numero atomico	símbolo	nome massa atômica			4	22	ï	titânio 47,87	40	Zr	zircônio 91,22	72	Η̈́	háfnio 178,5	104	Rf	utherfórdio	
		00	2	1	S		J		3	21	Sc	scândio 44,96	39	>	ftrio 88,91	57-71	ntanídios		89-103	(0)	_	-
		6	, [4	Be	berílio	12	Mg	nagnésio 24,31	H			\vdash		estrôncio 87,62		_					-
_	- :	□ rogênio	+	٦,	_	lítio 5 94	+		_	-					ubídio e 85,47							

_	28	29	09	61	62	63	64	65	99	29	89	69	70	71
	Ce	Př	ž	Pm	Sm	Eu	рS	1	Dy	Ho	ш	Tm	γ	Γn
	cério	praseodímio	neodímio	promécio	samário	európio	gadolínio	térbio	disprósio	hôlmio	érbio	túlio	itérbio	lutécio
	140,1	140,9	144,2		150,4	152,0	157,3	158,9	162,5	164,9	167,3	168,9	173,1	175,0
	06	91	92	93	94	95	96	- 6	86	66	100	101	102	103
	드	ح		Z	Pu	Am	Cu	BK	Ç	Es	Fm	M	Z	_
	tório	protactínio	urânio	netúnio	plutônio	amerício	cúrio	berquélio	califórnio	einstênio	férmio	mendelévio	nobélio	laurêncio

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tabela para consulta



Série d	le reativio	lade de r	netais em s	olução ac	luosa
Substância		Equação	química da re	ação de oxi	idação
Lítio	Li(s)	\rightleftharpoons	Li ⁺ (aq)	+ e ⁻	
Potássio	K(s)	\Longrightarrow	K ⁺ (aq)	+ e ⁻	
Bário	Ba(s)	\Rightarrow	Ba ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Cálcio	Ca(s)	\Rightarrow	Ca ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Sódio	Na(s)	\Rightarrow	Na ⁺ (aq)	+ e ⁻	
Magnésio	Mg(s)	\Rightarrow	Mg ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Alumínio	Al(s)	\Rightarrow	Al ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	
Manganês	Mn(s)	\Rightarrow	Mn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Zinco	Zn(s)	\Rightarrow	Zn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Cromo	Cr(s)	\Rightarrow	Cr ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	
Ferro	Fe(s)	\Rightarrow	Fe ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Cádmio	Cd(s)	=	Cd ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Cobalto	Co(s)		Co ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Níquel	Ni(s)	\Rightarrow	Ni ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Estanho	Sn(s)	\Rightarrow	Sn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Chumbo	Pb(s)	\Rightarrow	Pb ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Hidrogênio	H ₂ (g)	\rightleftharpoons	2 H ⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Cobre	Cu(s)	\Rightarrow	Cu ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Prata	Ag(s)	\Longrightarrow	Ag ⁺ (aq)	+ e ⁻	
Mercúrio	Hg(l)	\Rightarrow	Hg ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Platina	Pt(s)	\Rightarrow	Pt ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	
Ouro	Au(s)	<u></u>	Au ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	

A facilidade de oxidação aumenta

Fonte consultada: BROWN, T. L. et al. Química: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2016.

Respostas



UNIDADE 1

Tema 1

- **2.** c
- **3.** D \simeq 5,2 Mpc
- **4.** c
- **5.** b
- **6.** e
- 7. b) O gêmeo que viajou terá 60 anos de idade.
- **8.** c
- **9.** a) $v = 3 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$
 - **b)** $\Delta t = 12,5 \text{ min}$
- **10.** b

Tema 2

- 4. a) 75
 - **b)** 75
 - c) 75
 - d) Rênio
- **7.** b
- **9.** d

Tema 3

- **6.** $D_{\text{ano-luz}} \simeq 1.6 \cdot 10^{-5}$ ano-luz; $D_{parsec} \simeq 4,84 \cdot 10^{-6} pc$
- 7. $\Delta t \simeq 3 \cdot 10^9$ anos
- 8. $d = 7.29 \cdot 10^{15} \text{ km}$
- **9.** e
- **10.** a
- **11.** c

Tema 4

- 1. C₃H₆
- 4. Tetraédrica e apolar
- 5. a) C₇H₁₃ON₂Cl
 - b) Polar

- **8.** e
- 9. a) Gasosa, gasosa e líquida.

Tema 5

- **1.** c
- **4.** b
- **7.** c
- **9.** d
- **10.** a

UNIDADE 2

Tema 1

- **1.** d
- **4.** b
- **5.** e
- **6.** b

Tema 2

- **1.** d
- **2.** d
- 3. a) Sapos 6 indivíduos (0,1 indivíduo/ m²); gafanhotos - 25 indivíduos (0,42 indivíduo/ m²).
 - b) Densidade de gafanhotos após 10 dias \approx 0,22 indivíduo/m². A população de gafanhotos se extinguiria após 21 dias.
- 8. Corretas: 01, 04, 08
- 9. b

Tema 3

- 2. a) Ligação iônica
 - b) I: Cr₂O₃; II: Cr
- **3.** d
- 4. Polo positivo: SO₄²⁻; polo negativo: Fe2+

5. Substâncias iônicas: II e V; substância metálica: IV.

Tema 4

- 1. a) 16 mol
 - c) 6 mol
- 3. a) $2 \text{ NdCl}_3 + 3 \text{ Ca} \longrightarrow 2 \text{ Nd} +$ + 3 CaCl₂
- **4.** b) $ZnS(s) + 2 O_2(g) \xrightarrow{\Delta} ZnSO_4(s)$
 - d) $ZnSO_4(s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + SO_3(g)$
- **5.** c
- 8. a) 20 pilhas
 - **b)** 3,175 g
- **12.** a
- 13. a) 1,69 milhão de toneladas
- **14.** b) 2 Fe(s) + 3 Cu²⁺(aq) \longrightarrow \rightarrow 2 Fe³⁺(aq) + 3 Cu(s)

Tema 5

- **4.** c
- **5.** c
- **6.** c
- **7.** d
- **8.** b
- 9. Carro A
- **10.** F = 0.01 N

Tema 6

- **3.** $P_{andaime} = 300 \text{ N}$
- **4.** F = 80 N
- **5.** $N_A = 40 \text{ N e } N_B = 60 \text{ N}$
- **6.** d
- **7.** e
- **8.** b
- **9.** e
- **10.** d

Por dentro da BNCC



A BNCC é um documento que apresenta os conhecimentos mínimos que todos os estudantes do Brasil devem aprender durante a Educação Básica (Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio). Esses conhecimentos estão estruturados em competências e habilidades. Há 10 competências gerais, e cada área de conhecimento possui competências específicas e habilidades.

Cada habilidade, além do texto que a define, possui um código alfanumérico, como o mostrado a seguir. Veja o que cada parte do código significa.

EM 13 CNT 103

O primeiro par de letras indica a etapa de **Ensino Médio**.

O primeiro par de números (13) indica que as habilidades descritas podem ser desenvolvidas em qualquer série do Ensino Médio, conforme definição dos currículos.

A segunda sequência de letras indica a área (três letras) ou o componente curricular (duas letras):

LGG = Linguagens e suas Tecnologias

LP = Língua Portuguesa

MAT = Matemática e suas Tecnologias CNT = Ciências da Natureza e suas Tecnologias CHS = Ciências Humanas e Sociais Aplicadas Os números finais indicam a competência específica à qual se relaciona a habilidade (1º número) e a sua numeração no conjunto de habilidades relativas a cada competência (dois números).

Vale destacar que o uso de numeração sequencial para identificar as habilidades não representa uma ordem ou hierarquia esperada das aprendizagens, em função de seus contextos locais.

Na tabela a seguir, você pode verificar o texto das competências e das habilidades que estão sendo mobilizadas no desenvolvimento das unidades deste volume.

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.

Competências específicas e habilidades de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

Competência específica 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.

(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.

(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.

(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.

Competência específica 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.

(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.

(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).

Competência específica 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).

(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.

Continuação

(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.

(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.

Competências específicas e habilidades de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Competência específica 1

Analisar processos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais nos âmbitos local, regional, nacional e mundial em diferentes tempos, a partir da pluralidade de procedimentos epistemológicos, científicos e tecnológicos, de modo a compreender e posicionar-se criticamente em relação a eles, considerando diferentes pontos de vista e tomando decisões baseadas em argumentos e fontes de natureza científica.

(EM13CHS103) Elaborar hipóteses, selecionar evidências e compor argumentos relativos a processos políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e epistemológicos, com base na sistematização de dados e informações de diversas naturezas (expressões artísticas, textos filosóficos e sociológicos, documentos históricos e geográficos, gráficos, mapas, tabelas, tradições orais, entre outros).

Competência específica 2

Analisar a formação de territórios e fronteiras em diferentes tempos e espaços, mediante a compreensão das relações de poder que determinam as territorialidades e o papel geopolítico dos Estados-nações.

(EM13CHS206) Analisar a ocupação humana e a produção do espaço em diferentes tempos, aplicando os princípios de localização, distribuição, ordem, extensão, conexão, arranjos, casualidade, entre outros que contribuem para o raciocínio geográfico.

Competência específica 3

Analisar e avaliar criticamente as relações de diferentes grupos, povos e sociedades com a natureza (produção, distribuição e consumo) e seus impactos econômicos e socioambientais, com vistas à proposição de alternativas que respeitem e promovam a consciência, a ética socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional, nacional e global

(EM13CHS302) Analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais e às atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais – entre elas as indígenas, quilombolas e demais comunidades tradicionais –, suas práticas agroextrativistas e o compromisso com a sustentabilidade.

Continua

Por dentro da BNCC

Continuação

Competência específica 4

Analisar as relações de produção, capital e trabalho em diferentes territórios, contextos e culturas, discutindo o papel dessas relações na construção, consolidação e transformação das sociedades.

(EM13CHS403) Caracterizar e analisar os impactos das transformações tecnológicas nas relações sociais e de trabalho próprias da contemporaneidade, promovendo ações voltadas à superação das desigualdades sociais, da opressão e da violação dos Direitos Humanos.

(EM13CHS404) Identificar e discutir os múltiplos aspectos do trabalho em diferentes circunstâncias e contextos históricos e/ou geográficos e seus efeitos sobre as gerações, em especial, os jovens, levando em consideração, na atualidade, as transformações técnicas, tecnológicas e informacionais.

Competência específica 5

Identificar e combater as diversas formas de injustiça, preconceito e violência, adotando princípios éticos, democráticos, inclusivos e solidários, e respeitando os Direitos Humanos.

(EM13CHS502) Analisar situações da vida cotidiana, estilos de vida, valores, condutas etc., desnaturalizando e problematizando formas de desigualdade, preconceito, intolerância e discriminação, e identificar ações que promovam os Direitos Humanos, a solidariedade e o respeito às diferencas e às liberdades individuais.

Competências específicas e habilidades de Matemática e suas Tecnologias

Competência específica 3

Utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas de modo a construir argumentação consistente.

(EM13MAT308) Aplicar as relações métricas, incluindo as leis do seno e do cosseno ou as noções de congruência e semelhança, para resolver e elaborar problemas que envolvem triângulos, em variados contextos.

Competência específica 4

Compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas.

(EM13MAT405) Utilizar conceitos iniciais de uma linguagem de programação na implementação de algoritmos escritos em linguagem corrente e/ou matemática.

Competências específicas e habilidades de Linguagens e suas Tecnologias

Competência específica 1

Compreender o funcionamento das diferentes linguagens e práticas culturais (artísticas, corporais e verbais) e mobilizar esses conhecimentos na recepção e produção de discursos nos diferentes campos de atuação social e nas diversas mídias, para ampliar as formas de participação social, o entendimento e as possibilidades de explicação e interpretação crítica da realidade e para continuar aprendendo.

(EM13LGG102) Analisar visões de mundo, conflitos de interesse, preconceitos e ideologias presentes nos discursos veiculados nas diferentes mídias, ampliando suas possibilidades de explicação, interpretação e intervenção crítica da/na realidade.

(EM13LGG103) Analisar o funcionamento das linguagens, para interpretar e produzir criticamente discursos em textos de diversas semioses (visuais, verbais, sonoras, gestuais).

Habilidades de Língua Portuguesa

(EM13LP05) Analisar, em textos argumentativos, os posicionamentos assumidos, os movimentos argumentativos (sustentação, refutação/contra-argumentação e negociação) e os argumentos utilizados para sustentá-los, para avaliar sua força e eficácia, e posicionar-se criticamente diante da questão discutida e/ou dos argumentos utilizados, recorrendo aos mecanismos linguísticos necessários.

(EM13LP16) Produzir e analisar textos orais, considerando sua adequação aos contextos de produção, à forma composicional e ao estilo do gênero em questão, à clareza, à progressão temática e à variedade linguística empregada, como também aos elementos relacionados à fala (modulação de voz, entonação, ritmo, altura e intensidade, respiração etc.) e à cinestesia (postura corporal, movimentos e gestualidade significativa, expressão facial, contato de olho com plateia etc.).

(EM13LP22) Construir e/ou atualizar, de forma colaborativa, registros dinâmicos (mapas, *wiki* etc.) de profissões e ocupações de seu interesse (áreas de atuação, dados sobre formação, fazeres, produções, depoimentos de profissionais etc.) que possibilitem vislumbrar trajetórias pessoais e profissionais.

(EM13LP43) Atuar de forma fundamentada, ética e crítica na produção e no compartilhamento de comentários, textos noticiosos e de opinião, memes, *gifs*, remixes variados etc. em redes sociais ou outros ambientes digitais.

Bibliografia



AKIYAMA, K. et. al. First M87 event horizon telescope results. IV. Imaging the central supermassive black hole. *The Astrophysical Journal Letters*, v. 875: L4, p. 1-52, abr. 2019. Disponível em: https:// iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0e85>. Acesso em: 3 jun. 2020.

O artigo apresenta como foram processados os dados para a obtenção da primeira imagem ao redor de um buraco negro.

ARANY-PRADO, L. I. À luz das estrelas. 2017. Disponível em: https://ciencianautas.com/wp-content/uploads/2017/01/%C3%80-luz-das-estrelas.pdf. Acesso em: 3 jun. 2020.

O livro aborda a formação dos elementos químicos a partir da nucleossíntese estelar e as propriedades físicas das estrelas.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. *Physical Chemistry*. 7. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2003.

Esse livro apresenta os conceitos aprofundados e as deduções das equações da físico-química.

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de Química*: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ricardo Bicca de Alencastro. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

A obra apresenta os principais conceitos estudados em Química. BOCZKO, R. *Conceitos de Astronomia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

O livro aborda conceitos básicos de Astronomia para introduzir o vocabulário, ideias e métodos usados nessa área.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração. Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília: ANM, 2019. Disponível em: . Acesso em: 3 jun. 2020.

Anuário mineral brasileiro que apresenta informações referentes a diversas substâncias.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html. Acesso em: 3 jun. 2020.

O site mostra a projeção da população brasileira e das unidades da federação.

BRASIL. Senado Federal. O minério da vez. *Em discussão!*, Brasília, v. 4, n. 17, set. 2013.

Essa edição da revista apresenta as principais aplicações das terras-raras e as propostas de ampliação da participação do país no mercado mundial.

BROWN, T. L. *et al. Química*: a ciência central. Tradução: Eloiza Lopes, Tiago Jonas e Sonia M. Yamamoto. 13. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2016.

O livro apresenta os conceitos da Química, incentivando os estudantes dessa ciência a pensar como pesquisadores.

CAMPBELL, B. *Evolution of technological species*. Disponível em: https://history.nasa.gov/CP-2156/ch4.4.htm. Acesso em: 3 jun. 2020.

O site aborda a evolução tecnológica das espécies, como o uso e a fabricação de ferramentas, o uso e o controle do fogo e a tecnologia dos metais.

CANTO, E. L. *Minerais, minérios, metais*: de onde vêm?, para onde vão? 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

O livro aborda a produção e utilização de minérios e minerais e a produção de metais do ponto de vista histórico, científico, tecnológico e econômico. CARROL, D. A.; OSTLIE, B. W. An introduction to modern Astrophysics. 2. ed. Pearson/Addison-Wesley, 2007.

O livro introduz conceitos da área de Astrofísica por meio de ferramentas matemáticas e conhecimentos de Física básica.

FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 3, p. 22-25, 1996.

Utilizando uma linguagem acessível, o artigo aborda conceitos e aspectos históricos e científicos da espectroscopia.

GREF – Grupo de Reelaboração de Ensino de Física. *Física 1:* Mecânica. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1999.

O livro apresenta os assuntos de Física para destacar sua relevância prática e universalidade.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. I e IV.

Os volumes I e IV dessa coleção apresentam os fundamentos da Mecânica clássica e da Física moderna, permitindo a compreensão dos conceitos e das principais ideias sobre esses temas.

IUPAC. Symbols, units, nomenclature and fundamental constants in Physics. 1987 Revision. Disponível em: https://iupap.org/wp-content/uploads/2014/05/A4.pdf. Acesso em: 3 jun. 2020.

O livro apresenta recomendações para símbolos, unidades, nomenclatura e constantes fundamentais, aprovados em conjunto com diversos órgãos em assembleias realizadas de 1948 a 1984.

IUPAC. *Periodic table of the elements*. Disponível em: https://iupac.org/wp-content/uploads/2018/12/IUPAC_Periodic_Table-01Dec18.jpg. Acesso em: 3 jun. 2020.

Tabela periódica da União Internacional de Química Pura e Aplicada (do inglês, *International Union Pure and Applied Chemistry* – IUPAC), publicada em 2018.

JACKSON, J. D. *Classical Electrodynamics*. 3. ed. John Wiley & Sons, 1999.

O livro apresenta conceitos do Eletromagnetismo clássico, além de abordar a teoria da Relatividade restrita.

KARTTUNEN, H. et. al. Fundamental Astronomy. Springer-Verlag, 2003.

O livro aborda conceitos de Astronomia envolvendo observações, instrumentos, mecânica celeste, o Sistema Solar e a evolução de estrelas e galáxias.

KITTEL, C.; KNIGHT, W. D.; RUDERMAN, M. A. *Berkeley Physics course*: Mechanics. 2. ed. Mc Graw-Hill, 1973. v. 1.

O livro apresenta conceitos de Física básica envolvendo noções de vetores, a apresentação das leis de Newton, referenciais e Relatividade restrita.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. Química geral e reações químicas. Tradução: Flávio M. Vichi e Solange A. Visconte. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

O livro introduz a Química com uma linguagem simples, que facilita a aprendizagem.

LAHR, D. J. G. A evolução da vida em um planeta em constante mudança. *In:* GALANTE, D. (org.). *Astrobiologia:* uma ciência emergente. Núcleo de Pesquisa em Astrobiologia. São Paulo: Tikinet. IAG/USP, 2016. Disponível em: https://www.iag.usp.br/astronomia/sites/default/files/astrobiologia.pdf. Acesso em: 3 jun. 2020.

O artigo retrata a evolução da vida no planeta Terra.

LEE, J. D. *Química inorgânica não tão concisa*. Tradução: Henrique E. Toma, Koiti Araki e Reginaldo C. Rocha. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

O livro apresenta os principais conceitos da Química inorgânica, abordando a teoria das ligações químicas e a formação de compostos de cada grupo da tabela periódica.

LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 90. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

Manual de referências bibliográficas que auxilia pesquisadores na utilização de dados e resultados científicos na elaboração de textos com elevado padrão de confiabilidade.

NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*. Tradução: Ana Beatriz G. da Veiga *et al.* 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

O livro apresenta um detalhamento na abordagem de conceitos mais complexos da área de Bioquímica com riqueza de detalhes sobre aplicações e avanços tecnológicos dessa área de estudos.

NEVES, W. E no princípio... era o macaco! *Estudos Avançados*, v. 20, n. 58, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ea/v20n58/21.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2020.

O artigo retrata a evolução da linhagem humana.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica*. São Paulo: Edgard Blücher. 2002. v. 1 e 4.

Os dois volumes apontados apresentam os conceitos e princípios básicos da Física, especialmente Mecânica, Óptica, Relatividade restrita e Física quântica, permitindo a compreensão das principais ideias.

PENN State University. *Periodic table of the elements*. Disponível em: http://chemistry.bd.psu.edu/jircitano/periodic4.html. Acesso em: 25 jun. 2020.

O *site* apresenta uma tabela periódica interativa em que é possível consultar os espectros de emissão atômica conhecidos dos elementos químicos.

PETRUCCI, R. H. et al. General Chemistry: principles and modern applications. 10. ed. Toronto: Prentice Hall, 2010.

O livro apresenta os conceitos fundamentais da Química que formam a base de estudos mais aprofundados.

POSTLETHWAIT, J. H.; HOPSON, J. L. *The nature of life*. 3. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

O livro trata de assuntos das Ciências Biológicas, como genética, saúde e doenças.

OPPENHEIMER, S. *Out of eden*. Reino Unido: Constable and Robinson, 2004.

O livro aborda, com base em evidências genéticas, arqueológicas e climáticas, a irradiação da espécie humana no mundo.

OUR WORLD IN DATA. *World population growth*, 1700-2100. Disponível em: https://ourworldindata.org/world-population-growth>. Acesso em: 3 jun. 2020.

O site apresenta gráficos e análises sobre o crescimento populacional mundial.

REECE, J. B. *et al. Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed. 2015.

O livro trata de diversos assuntos relacionados à Biologia. É ricamente ilustrado, o que facilita a compreensão do conteúdo.

RICARDO, A.; SZOSTAK, J. W. *The origin of life on Earth. Scientific American*, set. 2009, p. 59. Disponível em: https://www.scientificamerican.com/article/origin-of-life-on-earth/>. Acesso em: 2 jun. 2020.

O artigo trata da origem dos primeiros seres vivos.

ROSSO, S. Estrutura de comunidades intermareais de substrato consolidado das proximidades da Baía de Santos (São Paulo, Brasil): uma abordagem descritiva enfatizando aspectos metodológicos. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, 1990.

A tese de doutorado aborda a estrutura de comunidades intermareais. ROYAL Society of Chemistry. Disponível em: https://www.rsc.org/periodic-table/element/5/boron>. Acesso em: 3 jun. 2020.

O *site* apresenta uma tabela periódica interativa, indicando em cada elemento suas propriedades físicas.

RUSSEL, J. B. *Química geral*. Tradução: Márcia Guekezian. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1994. v. 1.

Apresenta os conceitos iniciais fundamentais da Química.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W. *Princípios de Física*: Mecânica clássica e Relatividade. Tradução da 5ª edição estadunidense. São Paulo: Cengage Learning, 2014. v. 1.

O livro apresenta conceitos e princípios básicos da Física, em especial das áreas da Mecânica clássica e Relatividade.

SOUZA, F. Pensamento computacional e programação como ferramentas de aprendizagem. *Instituto Ayrton Senna*, 13 set. 2019. Disponível em: https://www.institutoayrtonsenna.org.br/pt-br/meu-educador-meu-idolo/materialdeeducacao/pensamento-computacional-e-programacao-como-ferramentas-de-aprendizagem.html>. Acesso em: 3 jun. 2020.

O artigo aborda o que é o pensamento computacional e como ele pode ser organizado, além de relacionar a programação à Base Nacional Comum Curricular.

SOUZA FILHO, P. C.; SERRA, O. A. Terras-raras no Brasil: histórico, produção e perspectiva. *Química Nova*, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 753-760, 2014.

O artigo aborda as propriedades químicas, as histórias e as principais aplicações das terras-raras.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. 6. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Aborda seis temas principais da Física: Mecânica, Ondulatória, Termodinâmica, Eletricidade e Magnetismo, Luz e Física moderna.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

O livro aborda conceitos relacionados à Microbiologia.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em Ecologia. Porto Alegre: Artmed, 2010.

O livro trata de conceitos fundamentais da Ecologia.

VEIT, H. M. *et al.* Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. *Revista Escola de Minas*, v. 61, n. 2, p. 159-164, 2008.

O artigo aborda as etapas da reciclagem do cobre proveniente de placas de circuito eletrônico.

WIESER, M. E.; COPLEN, T. B. Atomic weights of the elements 2009. *Pure and Applied Chemistry*, Genebra, v. 83, 2011.

Essa edição do jornal oficial da IUPAC apresenta uma atualização das massas atômicas dos elementos químicos.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. *Física, Sears e Zemansky*: Mecânica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. v. I e IV.

Os volumes I e IV dessa coleção apresentam princípios e conceitos básicos relativos à Mecânica, Óptica geométrica, Ondulatória e Física moderna, demonstrando suas aplicabilidades tecnológicas e em outras áreas do conhecimento.





