

# Coleção Pré-Vestibular

Elaborado de acordo com  
as matrizes do ENEM

## BIOLOGIA

### Ciências da Natureza e suas Tecnologias

#### Biologia 1

- Módulo 1:** Introdução à Biologia e características gerais dos seres vivos; Constituintes inorgânicos das células – Água e sais minerais . . . . . 1
- Módulo 2:** Glicídios e lipídios . . . . . 17
- Módulo 3:** Proteínas, enzimas e vitaminas . . . . . 31

#### Biologia 2

- Módulo 1:** Evolução – Conceitos e evidências, teorias evolucionistas e fatores evolutivos . . . . . 54
- Módulo 2:** Genética das populações; Especiação; Seleção natural e seu impacto sobre ambientes naturais e sobre populações humanas . . . . . 70
- Módulo 3:** Histologia animal – Tecido epitelial, pele humana e tecido conjuntivo . . . . . 86

#### Biologia 3

- Módulo 1:** O método científico; A origem da vida . . . . . 105
- Módulo 2:** Classificação dos seres vivos; Reino Plantae e grandes grupos vegetais . . . . . 117
- Módulo 3:** Reprodução vegetal – Briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas . . . . . 134

#### Biologia 4

- Módulo 1:** Princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias; Aspectos genéticos do funcionamento do corpo humano . . . . . 150
- Módulo 2:** Grupos sanguíneos, transplantes, doenças autoimunes, sistema Rh e eritroblastose fetal; Segunda Lei de Mendel . . . . . 169
- Módulo 3:** Noções básicas de *linkage*; A genética do sexo e determinação genética do sexo na espécie humana; Pleiotropia e interação gênica. . . . . 183

**Neste livro:**

**Módulo 1:** Introdução à Biologia e características gerais dos seres vivos; Constituintes inorgânicos das células – Água e sais minerais .....1

**Módulo 2:** Glicídios e lipídios ..... 17

**Módulo 3:** Proteínas, enzimas e vitaminas ..... 31

Identidade dos seres vivos

C	4
H	13

**Módulo**  
**1**

## Introdução à Biologia e características gerais dos seres vivos; Constituintes inorgânicos das células – Água e sais minerais

Do grego *biós*, que significa “vida”, e *logos*, que significa “tratado sobre”, **Biologia** é a ciência que trata dos seres vivos nas suas diversas formas, estudando-os sob os aspectos de suas origens, evolução, variedade etc.

Um dos primeiros pensadores a escrever sobre temas de natureza biológica foi o filósofo grego Aristóteles, no século IV a.C., e, por isso, é muitas vezes considerado o primeiro biólogo da história e “pai da Biologia”. O termo **biologia**, entretanto, só foi popularizado no início do século XIX, por volta de 1802, com o médico e naturalista alemão Treviranus. Antes disso, a Biologia fazia parte das Ciências Naturais, junto à Física, à Química e à Geologia, e possuía dois campos, na época distintos: a Botânica, estudo dos vegetais, e a Zoologia, estudo dos animais. Com o advento da Teoria Celular, em 1838, e do reconhecimento das semelhanças entre plantas e animais em nível microscópico, houve uma fusão desses campos, originando a Biologia moderna.

É de comum acordo entre os estudiosos de hoje que o planeta Terra tenha surgido há cerca de 4,7 bilhões de anos. Em um espaço de tempo que teria durado aproximadamente 1 bilhão de anos, compostos inorgânicos teriam reagido entre si, dando origem às primeiras moléculas orgânicas, e estas, organizadas em compostos complexos, aos primeiros seres vivos. A transição desses sistemas de compostos orgânicos para um organismo considerado vivo diz respeito ao próprio conceito de vida e, conseqüentemente, ao próprio objeto de estudo da Biologia.

### O que é vida?

Essa é, talvez, uma das perguntas mais antigas e difíceis já feitas, e para a qual são apresentadas, a seguir, algumas definições.

Vida é algo que metaboliza, isto é, usa os materiais de seu ambiente para se construir, fabricando, além disso, cópias de si mesmo.

François Jacob.  
Instituto Pasteur, Paris, França.

Penso que vida é um sistema capaz de evoluir, de gerar o que for necessário para lograr esse fim, fundamental para a diversidade e complexidade maiores. Mas hipoteticamente é possível imaginar sistemas de computadores evoluindo, ou outras coisas, além de compostos de carbono.

Joshua Lederberg.  
Universidade Rockefeller, Nova York, EUA.

A vida é um sistema informático que se reproduz e leva à diversidade. É a reprodução suficientemente fiel da informação para memorizar o que se acumulou durante a evolução e a reprodução suficientemente infiel para que haja mudanças, aumentando a diversidade.

Miroslav Radman.  
Instituto Jacques Monod, Paris, França.

O físico austríaco Erwin Schrödinger sugeriu que uma propriedade que define um sistema vivo é que ele se autoconstrói contra a tendência da natureza, na direção da desordem, ou da **entropia**. Já o químico Gerald Joyce define que a vida é um “sistema químico autossustentável, capaz de ser submetido a uma evolução darwiniana”. Por outro lado, a “definição cibernética” de Bernard Korzeniewski diz que a vida é uma rede de mecanismos de *feedbacks*.

Nota-se que as definições são complexas e diversas, mas há alguns detalhes em comum: a capacidade de reprodução (“produção de cópias”) e a capacidade de adaptação ao meio graças à variabilidade, componente fundamental para a evolução orgânica.

Como definir a vida é uma tarefa complicada, os organismos vivos são reconhecidos pelas suas características particulares. As principais dessas características, provavelmente, são a habilidade de se reproduzir utilizando informações próprias (genéticas) e a capacidade de transformar a matéria existente no meio em energia.

## Características gerais dos seres vivos

### Composição química

Os seres vivos possuem composição química e organização totalmente diferentes de corpos brutos. No caso da matéria viva, apenas seis elementos químicos correspondem a cerca de 99% de todos os átomos presentes nos seres vivos. São eles carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre. Observe na tabela a seguir a concentração desses elementos na natureza e na composição do ser humano.

Elemento químico	Universo	Terra	Ser humano
Carbono	0,02%	0,2%	10,6%
Hidrogênio	91%	0,2%	61,5%
Nitrogênio	0,04%	Traços	2,4%
Oxigênio	0,06%	47%	23%

Elemento químico	Universo	Terra	Ser humano
Fósforo	Traços	Traços	0,13%
Enxofre	Traços	Traços	0,13%
Outros	0,91%	52%	2,2%

Do ponto de vista da organização molecular, os seres vivos apresentam em sua composição, além de sais minerais típicos da matéria bruta, compostos não encontrados em corpos brutos e representados, basicamente, por macromoléculas. Essas partículas, denominadas moléculas orgânicas, são representadas pelos ácidos nucleicos, açúcares, proteínas e gorduras. Tais compostos apresentam obrigatoriamente átomos de carbono, normalmente ligados covalentemente ao hidrogênio, mas podendo, também, estarem acompanhados de oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo, principalmente.

As moléculas orgânicas são bastante estáveis, uma vez que as ligações entre carbono e hidrogênio são, praticamente, **apolares** (devido à diferença de eletronegatividade entre carbono e hidrogênio). Como será visto mais adiante, isso permite uma maior **estabilidade** de composição aos seres vivos.

Por outro lado, a **tetravalência** do carbono permite a formação de cadeias carbônicas que se ligam a variados e possíveis compostos orgânicos, o que proporciona uma grande versatilidade para as moléculas, as quais, por sua vez, relacionam-se às demais propriedades dos organismos vivos.

Durante muito tempo, acreditava-se que tais compostos só poderiam ser sintetizados por organismos vivos (o termo **orgânico** significa “derivado de seres vivos”). Segundo esse raciocínio, os organismos possuiriam um **princípio** ou **força vital** sem os quais seria impossível essa síntese ser realizada. Essa ideia, popularizada pelos trabalhos de Jöns Jacob Berzelius, fazia da Biologia um campo à parte das demais ciências. Afinal de contas, era difícil pensar em termos científicos com um paradigma tão impreciso quanto o da força vital. Só em 1828, o químico alemão Friedrich Wöhler produziu, a partir de um composto inorgânico (o cianato de amônia), um composto orgânico (a ureia), derrubando o princípio da “força vital”.

Dessa forma, iniciou-se a produção de outros compostos orgânicos em laboratório. Os pesquisadores perceberam, assim, que a Química Orgânica e a Biologia não eram diferentes das outras Ciências da Natureza: os seres vivos obedecem às mesmas leis da Física e da Química que a natureza, por sua vez, obedece.

Mesmo ocorrendo fora dos organismos vivos, os compostos orgânicos tornaram-se sinônimos de presença de vida. Os ácidos nucleicos, por exemplo, respondem pelo controle de funções vitais como reprodução e metabolismo em todos os seres vivos, de maneira a ser inviável a ocorrência de vida na ausência dessas moléculas.

As moléculas orgânicas são, qualitativamente, os principais compostos químicos em seres vivos. Elas fornecem estabilidade à composição do ser vivo, armazenando energia e informações genéticas e possibilitando a capacidade de se reproduzirem. Apesar de sua importância, a água ainda é o composto mais abundante na matéria viva. Entretanto, a simples presença de compostos orgânicos e de água não é suficiente para caracterizar uma determinada estrutura como viva.

Sabe-se que a vida, além de ser difícil definir, é complicada, talvez impossível de ser reproduzida artificialmente. Mesmo com a tecnologia de produção de moléculas orgânicas em laboratório, o ser humano ainda não conseguiu produzir células inteiras, nem sequer as mais simples, como as células bacterianas. Isso se deve ao alto grau de organização das estruturas vivas, que se mostrou, até agora, impossível de ser duplicado sem que seja por meio de derivação de outro organismo vivo.

## Homeostase

O termo **homeostase** significa “permanecer o mesmo” e caracteriza uma capacidade extremamente essencial do organismo vivo. De nada adiantaria organizar a composição química se não fosse possível manter constante essa organização. Assim, o estado homeostático é o de equilíbrio das mais diversas funções e composições químicas.

A manutenção da temperatura corporal talvez seja a manifestação mais conhecida da homeostase, embora nem todo ser vivo a tenha. Dessa forma, pode-se dizer que nem todos os seres vivos são homeotérmicos, mas todos eles são homeostáticos. Outras manifestações da homeostase são o controle do pulso, da pressão arterial, da taxa de açúcar no sangue, a eliminação de excretas etc.

Assim, os seres vivos mantêm seu meio interno notadamente diferente do externo, ao mesmo tempo que trocam substâncias com este. Eles importam os alimentos para a produção de energia e exportam ao meio externo substâncias indesejáveis que prejudicam o autofuncionamento. Além disso, o organismo impede a saída de material útil e bloqueia a entrada daquilo que é nocivo. No nível celular, a membrana plasmática é a principal responsável por controlar a homeostase, visto que ela regula a passagem de substâncias e, conseqüentemente, a composição do meio interno da célula.

## Metabolismo

Para manterem a homeostase, os seres vivos precisam realizar reações químicas. Alguns organismos, como plantas e algas, são capazes de absorver a energia emitida pelo Sol e transformá-la em energia química, acumulando-a em ligações covalentes de certos compostos químicos (basicamente açúcares). Tais organismos são denominados fototróficos (autótrofos fotossintetizantes) e seu processo de captação de energia é denominado **fotossíntese**. Essa energia química armazenada será utilizada pelo próprio organismo fotossintetizante para a realização de suas funções vitais, como síntese de substâncias diversas, transporte de nutrientes etc.

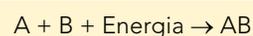
Outros organismos, denominados **heterotróficos** ou **organotróficos**, por serem incapazes de realizar processos como a fotossíntese, valem-se da energia química armazenada em compostos orgânicos como plantas, algas e outros heterotrófos para sobreviver. Essa energia é liberada dos nutrientes por meio de processos como a respiração e a fermentação.

Energia é fundamental para organismos vivos, pois a síntese de moléculas das quais os seres vivos são constituídos requer energia. Além disso, precisa-se de energia para o transporte de substâncias entre o meio interno e o externo, para a realização de movimentos e para a manutenção de uma temperatura compatível com a realização de reações químicas vitais. Desse modo, torna-se necessário converter a energia química armazenada em vários compostos e em outras formas de energia, como energia mecânica, térmica, luminosa, elétrica e o que mais for vital ao organismo.

Dessa forma, denomina-se **metabolismo** (do grego *metabole*, “transformar”) o conjunto de processos químicos responsáveis pela transformação e utilização da matéria e de energia em seres vivos, podendo ser classificado como anabolismo ou catabolismo.

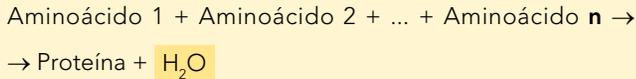
## Anabolismo

As reações anabólicas (do grego *ana*, “erguer”) são reações de síntese de compostos com consumo de energia, sendo caracterizadas como **endotérmicas** ou **endergônicas**.



São exemplos desse processo a fotossíntese, a quimiosíntese e a síntese por desidratação.

As reações de síntese por **desidratação**, **condensação** ou **polimerização** são reações nas quais há liberação de água no processo. Por exemplo, ao sintetizar-se uma proteína a partir dos aminoácidos que a constituem, tem-se uma reação desse tipo:



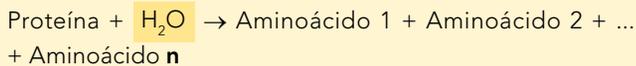
## Catabolismo

As reações catabólicas (do grego *cata*, “para baixo”) são reações inversas às anabólicas, pois envolvem a quebra (degradação) de substâncias com liberação de energia no processo, dessa forma, são denominadas **exotérmicas** ou **exergônicas**.



São exemplos desse processo a respiração, a fermentação e a hidrólise.

As reações de hidrólise são reações de quebra de substâncias com consumo de água no processo. Por exemplo, ao quebrar-se uma proteína em seus aminoácidos constituintes, tem-se uma reação desse tipo:



## Estímulos e respostas

A **irritabilidade** é uma característica própria de seres vivos em resposta a estímulos, sejam internos ou externos. Resposta essa que vai desde uma contração por toque mecânico até manifestações responsivas mais elaboradas.

Todo ser vivo apresenta movimento, inclusive as plantas. Os movimentos dos vegetais são conhecidos como **tropismos** e estão relacionados ao seu crescimento. Além disso, os vegetais apresentam movimentos microscópicos dentro de suas células. Nem todo ser vivo, entretanto, apresenta a capacidade de locomoção, que é restrita a organismos providos de estruturas como pseudópodes, cílios, flagelos e/ou células musculares.

Dessa maneira, as plantas, apesar de não possuírem nervos ou músculos, não permanecem alheias ao que ocorre no mundo à sua volta. A flor do girassol, por exemplo, movimenta-se sempre em direção a fontes de luz. Raízes e caules crescem, respectivamente, em direção ao centro da Terra e em direção à luz. Algumas plantas fecham suas folhas abruptamente se entrarem em contato com algum outro corpo, ou mesmo com o vento. Dessa forma, a resposta a estímulos em organismos vegetais acontece por meio de **movimentos**.

Nos animais, a expressão da característica da irritabilidade alcança seu potencial máximo, devido ao desenvolvimento de sistemas fisiológicos, como o nervoso e o endócrino. Surge, então, uma forma mais complexa de se responder aos estímulos: a **sensibilidade**.

Enquanto a irritabilidade limita-se a captar estímulos e respondê-los, a sensibilidade capta-os, interpreta-os e oferece uma resposta adequada de acordo com a natureza do estímulo. Assim, organismos sem células nervosas, que não são dotados de sensibilidade, oferecem sempre a mesma resposta a um determinado estímulo. Por outro lado, organismos com células nervosas, dotados de sensibilidade, podem oferecer respostas diferentes, dependendo da situação.

Essa resposta, por sua vez, torna-se, também, mais elaborada devido ao advento de um sistema muscular, ou, mesmo, musculoesquelético. Esse último permite, inclusive, a locomoção do indivíduo, fazendo com que a correta interpretação de determinados estímulos conduza-o a fontes de alimentos ou afaste-o de algum perigo. Portanto, a locomoção se diferencia do simples movimento, pois implica deslocamento por forças próprias.

## Crescimento e desenvolvimento dos seres vivos

Crescimento não implica somente aumento de tamanho. Seres não vivos apresentam crescimento assim como os seres vivos. Porém, nesse caso, o processo ocorre apenas pela aposição de matéria à sua estrutura, portanto, “de fora para dentro”.

Os seres vivos, devido à obtenção e à incorporação de matéria por meio do metabolismo, realizam um crescimento “de dentro para fora”. Esse tipo de crescimento envolve processos energéticos e é denominado **intuscepção**.

Existem dois tipos diferentes de crescimento: nos seres vegetais, há um predomínio do crescimento por **hipertrofia**, quando ocorre o aumento no volume celular. Por outro lado, quando o crescimento ocorre devido ao aumento na quantidade de células, percebe-se um crescimento por **hiperplasia**, processo predominante nos animais. Entretanto, em seres adultos, tecidos como o nervoso e o muscular só podem crescer por meio de hipertrofia.

O desenvolvimento é um processo exclusivo aos seres vivos. Assim, para que uma célula-ovo origine uma árvore ou um ser humano, ela precisará passar por processos de **divisão celular** e **diferenciação**, que caracterizam o desenvolvimento como um aumento de complexidade do organismo.

## Reprodução

Um fator marcante para o aparecimento da vida em tempos remotos foi o desenvolvimento da capacidade de reprodução. Com o advento do ácido desoxirribonucleico (DNA), molécula capaz de armazenar todas as informações genéticas e de se autoduplicar, os seres vivos conseguiram transmitir suas características aos seus descendentes.

Dessa forma, a partir do momento que os primeiros sistemas de matéria orgânica conseguiram gerar cópias de si mesmos, começou a se caracterizar a vida como ela é conhecida.

## Adaptação ao meio

As características apresentadas por um ser vivo refletem algumas particularidades do ambiente em que vivem. Dessa maneira, há uma perfeita interação entre o organismo e o ambiente que lhe é natural. Essa interação é tão forte, que, em alguns casos, pode-se inferir o ambiente em que um ser vive apenas analisando suas características anatômicas e fisiológicas. Assim, ao se observar um urso polar, é possível perceber suas reservas de gordura (para proteção contra o frio), sua cor branca (para poder camuflar-se na neve e auxiliá-lo na caça) e seus pelos na parte inferior das patas (para não derrapar no gelo). Pode-se, então, concluir que se trata de um animal que vive em regiões polares.

A adaptação pode ser dividida em dois tipos: a adaptação individual e a adaptação evolutiva.



Urso polar (*Ursus maritimus*) adaptado ao seu meio natural.

## Adaptação individual

Esse tipo de adaptação não está relacionada diretamente ao material genético, ou seja, não é hereditária. Por exemplo, diante de exposição prolongada ao Sol, ocorre um aumento na produção de melanina para proteger a pele dos efeitos prejudiciais dos raios ultravioletas.

Outro exemplo de adaptação individual é a **policitemia**, fenômeno fisiológico caracterizado pelo aumento do número de hemácias na corrente sanguínea de indivíduos em ambientes pouco oxigenados. Isso ocorre, por exemplo, em locais de altitude elevada para compensar a escassez de oxigênio e garantir a atividade respiratória normal das células. Ambas as situações são reversíveis e não podem ser transmitidas hereditariamente.

## Adaptação evolutiva

A adaptação evolutiva é dependente do fenômeno de variabilidade genética, além de ser hereditária. Algumas características referentes à reprodução e ao material genético desempenham papel fundamental na manutenção dessa adaptabilidade. Como já foi dito, a reprodução gera indivíduos muito semelhantes aos genitores devido às informações presentes no DNA. Isso leva os indivíduos gerados a manterem as características dos genitores que lhes levaram à adaptação.

Por outro lado, o material genético garante, também, a presença de certa variabilidade nos descendentes em relação aos genitores. Essa variação poderia levar a um estado de melhor ou pior adaptação ao meio. Porém, como os organismos que habitam um meio encontram-se normalmente muito bem adaptados a ele, é pouco provável que apareça, dentro dessa variação, algum aspecto negativo. Além disso, essa variação pode tornar-se benéfica devido a alguma mudança no ambiente, fazendo com que sejam possíveis adaptações a um novo meio. Pois, como os ecossistemas são dinâmicos, a variação e a adaptação tornam-se características vitais para a sobrevivência de qualquer espécie.

Dessa maneira, as variações permitem que nem todos os indivíduos sejam afetados pelas mudanças no ambiente. Além disso, indivíduos pouco adaptados às condições originais podem se tornar adaptados às novas condições, garantindo a preservação da espécie como um todo.

Não é interessante que uma população seja formada por clones, ou seja, réplicas idênticas uns dos outros, por mais que estejam bem adaptados ao meio. Essa situação de aparente adequação é altamente dependente às condições do meio. Uma população de clones, geneticamente adaptados a uma determinada condição, pode ser exterminada caso as condições ambientais se alterem.

Se os ecossistemas fossem estruturas estáticas, imutáveis, talvez fosse mais interessante a ocorrência de reprodução assexuada como forma predominante de reprodução. Em ambientes muito estáveis, a reprodução assexuada mantém as características de adaptação da população e gastam bem menos energia que a reprodução sexuada. Na agricultura, faz-se uso da reprodução assexuada visando manter as características adaptativas ao longo de várias gerações da planta. Contudo, uma nova praga pode destruir a plantação inteira de uma só vez.

## Célula

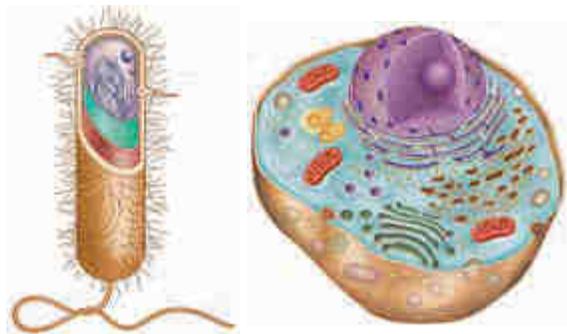
A célula é considerada a unidade básica morfofisiológica da vida. Do metabolismo ao movimento, todos os **fenômenos vitais** começam dentro de uma célula. Contudo, o estudo dessa estrutura nem sempre foi fácil, pois as células, em sua maioria,

possuem dimensões que tornam impossível sua visualização a olho nu. O olho humano só consegue diferenciar dois pontos se eles estiverem separados por uma distância superior a 0,1 mm. Como a maioria das células é bem menor que isso, sua visualização é possível somente por meio da utilização de sistemas artificiais de visualização, ou seja, com o uso de microscópios (do grego *mikros*, "pequeno", e *skopein*, "ver", "examinar").

O desenvolvimento das primeiras lentes ópticas e sua combinação para construir o microscópio ocorreu no século XVI. O termo **célula** (do grego *kytos*, "célula", e do latim, *cella*, "espaço vazio") foi, pela primeira vez, empregado por Robert Hooke em 1655 para descrever suas observações sobre "a textura da cortiça por meio de lentes de aumento".

No início do século XIX, várias descobertas a respeito da estrutura dos tecidos vegetais e animais foram realizadas. Em 1838, o botânico Mathias Jakob Schleiden postulou que todos os vegetais são formados por células. No ano seguinte, em 1839, o zoólogo Theodor Schwann estendeu essa afirmação aos animais. Posteriormente, a descoberta de seres microscópicos unicelulares veio reforçar a ideia estabelecida pela Teoria Celular: "todos os seres vivos são formados por células".

A estrutura básica da célula é bem simples: possui uma membrana celular, estrutura lipoproteica que delimita a célula e é responsável, principalmente, pela homeostase; citoplasma, meio composto por água e por moléculas orgânicas diversas, muitas dessas organizadas de maneira a formar organelas; e, por fim, um núcleo ou nucleóide, que contém o material genético do indivíduo. Em um núcleo, o material genético é envolvido por uma dupla membrana, também lipoproteica, denominada carioteca, pela qual a célula é chamada eucariótica. No caso de um nucleóide, não existe carioteca, de modo que o material genético fica disperso no citoplasma, caracterizando a célula como procariótica.



Célula procariótica (esquerda) e célula eucariótica animal (direita).

Como foi dito anteriormente, a célula se reproduz, tem seu próprio metabolismo e é a base para todas as funções desempenhadas por um organismo vivo. De maneira mais simples, pode-se dizer que uma célula deve ter:

- membrana celular lipoproteica para promover a homeostase;
- material genético próprio, na forma de moléculas de DNA, para controlar aspectos do metabolismo e da reprodução;
- metabolismo próprio, para a produção de energia e de proteínas, no mínimo. Desse modo, os ribossomos, estruturas que sintetizam proteínas, são obrigatórios em todas as células.

## Vírus

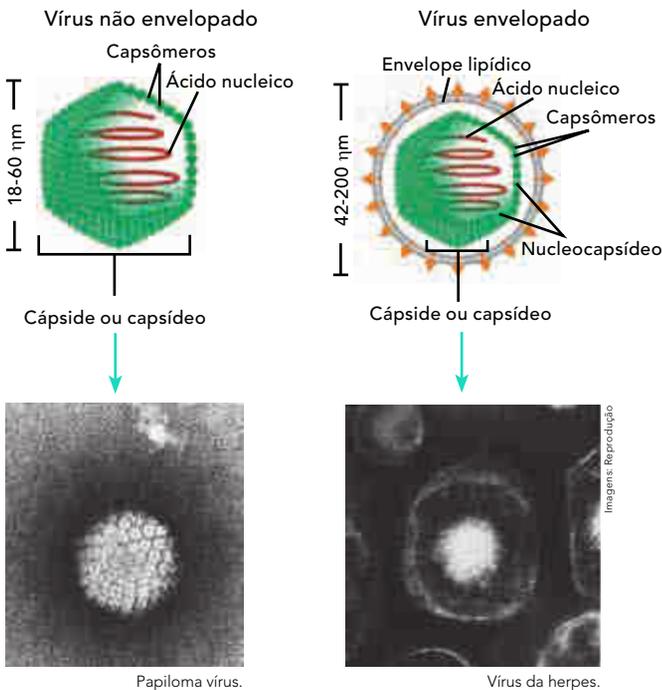
Em 1892, o botânico russo Dimitri Ivanovsky, pesquisando sobre a transmissão da doença das folhas do fumo, conhecida como mosaico do tabaco, descobriu o que hoje se chama vírus. O mosaico do tabaco causa atrofia e retardamento do crescimento da planta, sintomas que originaram o termo **vírus**, que significa "seiva", "líquido espesso", "toxina",

“veneno”. São partículas cuja visualização e consequente compreensão foi possível somente com o advento do microscópio eletrônico.

Desde a sua descoberta, os vírus tornaram-se um grande problema para o consenso que se tinha até então do que seria a vida.

A primeira característica dos vírus que foge ao conceito de vida é a ausência de organização celular. Eles são formados por ácido nucleico, revestidos por um envoltório proteico, chamado **cápside** ou **capsídeo**, o qual é formado por numerosas unidades polipeptídicas ditas capsômeros. Alguns vírus, denominados envelopados, possuem, externamente ao capsídeo, uma espécie de membrana de base lipídica (envelope).

O capsídeo encerra o material genético do vírus, assim como a carioteca guarda o material genético das células eucarióticas de um ser vivo. No vírus, esse material pode ser RNA (vírus da gripe, da poliomielite, da aids, do mosaico do tabaco) ou DNA (vírus do herpes, da varíola), entretanto, raras exceções, como o citomegalovírus, apresentam material genético composto por DNA e RNA simultaneamente. Por outro lado, as células de um ser vivo possuem os dois tipos de ácido nucleico. Contudo, o material genético é composto apenas por DNA.



Estruturalmente, o vírus não possui semelhança com a célula. O aspecto mais intrigante é o fato de que os vírus não possuem sistemas enzimáticos próprios, logo, não possuem um metabolismo próprio. Para realizar processos como reprodução e liberação de energia, os vírus têm que invadir células e controlar, por meio de seu material genético, os sistemas enzimáticos dos hospedeiros. É por isso que são conhecidos como parasitas intracelulares obrigatórios. Fora das células, os vírus não apresentam qualquer característica de ser vivo. Eles agem como seres inanimados, com alguns exemplares chegando a ser cristalizados, em 1953, como se fossem sais comuns. Entretanto, os vírus apresentam algumas características típicas de seres vivos, como reprodução, adaptação ao meio mediante variabilidade, mutações etc.

Por isso, muitos autores classificam os vírus como os únicos seres vivos sem organização celular. Outros preferem considerá-los como não vivos.

De qualquer maneira, deve-se analisar os vírus sob dois aspectos:

- fora de uma célula, o vírus é inerte;
- dentro de uma célula, o vírus liga seu material genético ao da célula hospedeira, passando a controlar seu metabolismo. Com esse controle, o vírus passa a utilizar a energia e as proteínas produzidas pela célula hospedeira para se reproduzir. Nesse processo de reprodução, ocorre a variabilidade genética que garante a capacidade de se adaptar ao meio ambiente.

Os vírus claramente não apresentam organização celular, mas isso invalida a Teoria Celular, segundo a qual a célula é a unidade básica da vida, pois o vírus só atua efetivamente no interior de uma célula, permanecendo inerte quando se encontra fora dela.

## Viroides, virusoides e príons

Mais simples ainda que os vírus são os viroides. Enquanto os vírus são formados pelo nucleocapsídeo (material genético envolto por um capsídeo proteico), os viroides possuem apenas o material genético na forma de uma molécula circular de RNA, não envolto por capa proteica. Essa molécula fica sempre dentro da célula hospedeira e pode se autoduplicar, mas não consegue controlar a síntese de proteínas. Como não possuem capa proteica, os viroides são incapazes de sair da célula hospedeira sozinhos, precisando que a membrana desta se rompa e seu citoplasma entre em contato com o citoplasma de outra célula que possa ser uma hospedeira em potencial. Os viroides podem levar as plantas a um desenvolvimento anormal e até à morte. Se os vírus forem considerados vivos, então os viroides também serão. Porém, se os viroides forem considerados vivos, também será considerado que uma molécula de RNA é viva e que, conseqüentemente, é possível fabricar vida em laboratório, agrupando nucleotídeos na sequência específica de um viroide.

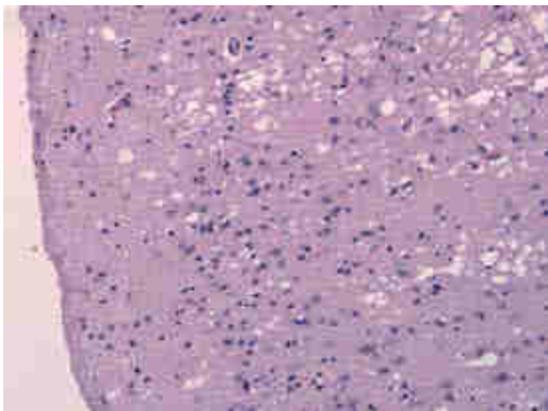
Os virusoides, por sua vez, guardam as mesmas características de um viroide, com a diferença de que o primeiro necessita de um vírus para se propagar. Por exemplo, o vírus da hepatite D (HVD) não possui capsídeo, sendo transportado no capsídeo do vírus da hepatite B (HVB), o que torna, então, possível considerá-lo como um virusoide.

Já os príons são proteínas componentes das membranas dos neurônios e não causam problema algum. Entretanto, ao reagir com príons defeituosos surgidos por mutação ou adquiridos de outro animal, podem passar, também, a apresentar defeitos. Assim, inicia-se uma reação em cadeia em que cada príon defeituoso gera defeitos em outros. Estima-se que esses príons defeituosos são resistentes a proteases e a anticorpos. De certa maneira, é como se os príons defeituosos se reproduzissem. Eles também são resistentes à digestão por enzimas lisossomais, de modo que, quando o segmento de membrana com príons defeituosos tenta ser reciclado por autofagia, eles se acumulam no vacúolo digestivo e promovem autólise do neurônio, que então morre. Com o tempo, surgem lesões no sistema nervoso.

Os príons causam uma doença chamada doença de Creutzfeldt-Jakob. Em 1993, houve um surto desse mal em ovelhas, o qual ficou conhecido como *scrapie* (“tosar”). As ovelhas afetadas desenvolviam lesões nervosas que as levavam a ficar se esfregando em paredes e cercas até que sua lã e pele acabassem sendo removidas, causando sérias lesões e mortes. Como não se conhecia ao certo a causa da doença, as ovelhas mortas

foram aproveitadas como ração para aumentar o teor proteico na dieta do gado. O estrago foi grande: os príons mutantes que surgiram nas ovelhas e causaram a doença passaram para o gado. Ao gado, os príons levaram a uma versão da doença que foi denominada encefalopatia espongiforme bovina, mais popularmente conhecida como “doença da vaca louca”, uma vez que os animais afetados desenvolviam problemas de coordenação motora e dificuldades de equilíbrio.

Os humanos que ingeriram carne de gado contaminado acabaram adquirindo os príons infecciosos, levando a uma versão humana do mal da vaca louca. Houve uma grande apreensão nos consumidores de carne de todo o mundo, especialmente na Europa. A doença consiste de um caso de demência grave, que leva à perda de coordenação motora e incapacidade de falar ou comer, tanto em animais quanto em seres humanos. A autópsia revela muitos neurônios mortos, deixando o cérebro “esburacado”, ou seja, esponjoso.



Reprodução

Autópsia do lobo frontal de um cérebro humano afetado pela doença de Creutzfeldt-Jakob. As partes mais claras são os “buracos” no tecido nervoso.

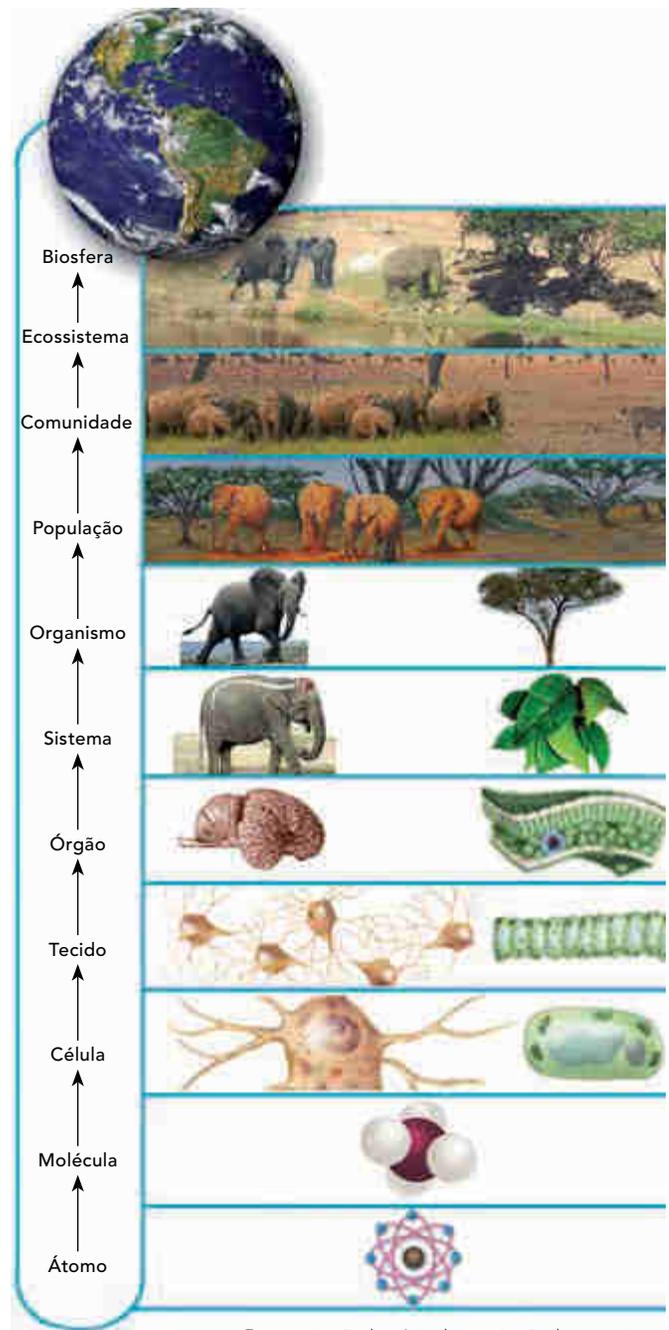
Como os príons são muito pequenos, podem ser absorvidos intactos pelo sistema digestivo; como são altamente resistentes a calor, não são desnaturados facilmente, e, como não são vivos, não podem ser mortos. Por enquanto, não há cura.

Diante de características tão peculiares, será que é possível considerar viroides, virusoides e príons como formas particulares de vida? Para responder a essa pergunta, tem-se que levar em consideração o critério adotado para definir o que é vida.

## Níveis de organização

Uma das características mais marcantes dos seres vivos diz respeito à sua notável e complexa organização. O conceito de níveis de organização foi estabelecido pelo inglês John Needham ainda no século XVII. Isso gerou a necessidade de se estudar a Biologia não de uma maneira integral mas compostamente, diferenciando os seus níveis de organização e as relações que existem entre os seres.

Dessa maneira, átomos se agrupam em moléculas, que, por sua vez, irão se organizar para formar os componentes celulares, e estes, as células. A célula é considerada a menor unidade da vida. Grupos de células organizadas e que realizam determinada função em conjunto constituem um tecido. Tecidos se reúnem para compor órgãos, que formam sistemas. Alguns sistemas agem em conjunto, integrando aparelhos. A reunião de todos os sistemas forma o organismo. Indivíduos da mesma espécie convivendo juntos são uma população. Populações de diversas espécies reunidas resultam em uma comunidade. A comunidade, relacionando-se com o meio ambiente, forma o ecossistema. Todos os ecossistemas do planeta, em conjunto, caracterizam a biosfera.



Esquemática dos níveis de organização dos seres vivos.

A Biologia possui subdivisões que estudam níveis de organização específicos. A estrutura e a função das moléculas que constituem a matéria viva são estudadas na Bioquímica. A estrutura e a função do organismo são estudados, respectivamente, pela Morfologia (do grego *morpho*, “forma”) e pela Fisiologia (do grego *physio*, “natureza”). A Morfologia divide-se em Citologia (do grego *kytos*, “célula”), que estuda os componentes celulares e as células em si; em Histologia (do grego *hystos*, “tecido”), que estuda a estrutura microscópica dos seres vivos, ou seja, os tecidos (a Histologia equivale à anatomia microscópica); e em Anatomia (do grego *anatome*, “dissecação”), que estuda a estrutura macroscópica dos seres vivos. Esses níveis de organização são conjuntamente estudados na Ecologia (do grego *oikos*, “casa”, no sentido de ambiente).

Outras subdivisões são a Embriologia (do grego *embryon*, “embrião”; também é chamada Ontogenia), que estuda o desenvolvimento pré-natal dos organismos; a Genética (do grego *genetikos*, “que procria”), que estuda os fenômenos

relacionados à hereditariedade; a Paleontologia (do grego *palaios*, “antigo”, e *ontos*, “ser”), que estuda os fósseis; e a Evolução, que estuda as modificações das espécies no decorrer do tempo.

A Taxonomia (do grego *taxis*, “ordem”, e *nomos*, “lei”) ou Sistemática trata da classificação dos seres vivos. Com base nessa classificação, várias subdivisões podem aparecer, como a Microbiologia, que estuda micro-organismos e ramifica-se em Bacteriologia, que investiga as bactérias, e em Micologia, que se detém no estudo dos fungos. Há também os campos da Protozoologia, que estuda os protozoários; da Parasitologia, que estuda parasitas em geral, dando importância especial a protozoários e vermes; da Botânica, que estuda os vegetais, e da Zoologia, que estuda os animais.

Algumas ciências derivadas da Biologia são chamadas, genericamente, de Ciências Biomédicas, como a Medicina, a Odontologia, a Farmácia, a Enfermagem, a Medicina Veterinária etc. Dessas ciências, vários campos de estudo derivam-se, como a Patologia (estudo das doenças), a Semiologia (estudo dos sintomas e dos sinais das doenças e sua identificação), a Farmacologia (estudo da ação de drogas e medicamentos nos organismos) etc.

Além dessas, várias outras ciências surgem como resultado da interação da Biologia com outras áreas, como a Biofísica, a Biologia Molecular, a Bioestatística etc., pois muitas vezes a Biologia vai buscar suporte em outras áreas do conhecimento, como a Química, a Física, a Matemática, a Geografia e a História.

## Constituintes inorgânicos da célula

Os seres vivos possuem composição química bem peculiar e organização bastante complexa. Os compostos químicos mais característicos dos seres vivos são os pertencentes ao grupo das **moléculas orgânicas**. Estas se caracterizam por serem compostos que, obrigatoriamente, contêm carbono e hidrogênio, apresentando ligações covalentes entre si. Por se tratar de uma ligação entre átomos com eletronegatividade semelhante, a ligação covalente é altamente estável, principalmente aquela envolvendo carbono e hidrogênio. Essa estabilidade notável dos compostos orgânicos impede que eles reajam facilmente, contribuindo para a estabilidade dos sistemas vivos.

Dentre os compostos orgânicos característicos dos organismos vivos, alguns grupos merecem destaque: **proteínas**, que são as moléculas orgânicas mais abundantes e possuem funções variadas, desde estrutural até reguladora; **polissacarídeos**, que desempenham papel energético e estrutural; **lipídios**, que desempenham também papel energético e estrutural, e **ácidos nucleicos**, que são moléculas informacionais.

Além desses, há outros compostos orgânicos de menor proporção e funções diversas, como vitaminas, pigmentos e resinas. Dentre essas moléculas, algumas se apresentam com pesos moleculares de milhares de daltons (unidade de massa atômica), caracterizando-se como **macromoléculas**. As macromoléculas são formadas por unidades químicas que se repetem, unindo-se por meio de ligações covalentes. Essas unidades químicas, que se repetem às dezenas ou centenas, mesmo milhares, são ditas **monômeros**, e o composto resultante da ligação entre os monômeros, ou seja, a macromolécula em si, recebe o nome de **polímero**. Proteínas, polissacarídeos e ácidos nucleicos são polímeros cujos monômeros recebem os nomes, respectivamente, de aminoácidos, monossacarídeos e nucleotídios.

Alguns desses compostos são necessários em grandes quantidades na dieta, sendo caracterizados como macronutrientes. São eles os glicídios, os lipídios e as proteínas.

Outros compostos são necessários, mas em quantidades ínfimas, sendo caracterizados como micronutrientes. São eles as vitaminas e os ácidos nucleicos.

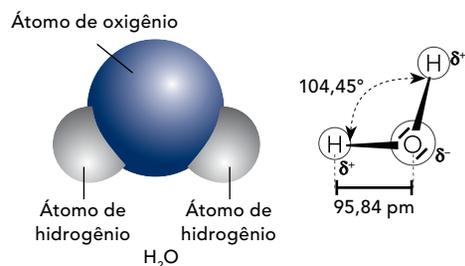
Contudo, não são apenas os compostos orgânicos que entram na composição e organização molecular da matéria viva. Compostos inorgânicos, como a água, desempenham funções vitais nos sistemas vivos. A água é, inclusive, a molécula mais abundante no ser vivo, mais até do que qualquer outra classe de moléculas orgânicas. Outros compostos inorgânicos que participam como moléculas estruturais e reguladoras são os sais minerais e suas respectivas formas iônicas.

## Água

A água é o principal componente da matéria viva em termos percentuais e um dos principais em termos funcionais. A célula é formada, em média, por cerca de 75% a 85% de água. Como a água também é abundante nos meios intercelulares de tecidos vivos, ela acaba respondendo por cerca de 60% de toda matéria de um animal e 75% da de um vegetal. Com isso, esse elemento é mais abundante que moléculas orgânicas em seres vivos. Isso ocorre devido a importantes propriedades da molécula de água.

A água é um composto de fórmula molecular  $H_2O$  e peso atômico 18. É formada por um átomo de oxigênio que se liga covalentemente a dois átomos de hidrogênio. Essa ligação covalente, com os quais compartilha dois pares de elétrons, não implica uma distribuição simétrica desses elétrons entre os átomos, pois há uma diferença de eletronegatividade entre eles. Por possuir, no total, quatro pares de elétrons em torno de si, o oxigênio é mais eletronegativo do que o hidrogênio, que possui cargas positivas parciais, resultando em uma ligação polar entre o oxigênio e o hidrogênio.

Se a geometria da molécula de água fosse linear, as duas ligações polares se neutralizariam mutuamente, pois a molécula de água seria apolar. Entretanto, devido à distribuição desigual da densidade de elétrons gerada pela presença de dois pares de elétrons não compartilhados no átomo de oxigênio, ocorre uma angulação na molécula em torno de  $105^\circ$ , sendo o vértice o átomo de oxigênio, resultando em uma molécula polar. Assim, o átomo de oxigênio se comporta como polo negativo (ele tem densidade de carga negativa ou, simplesmente,  $\delta^-$ ), e os dois átomos de hidrogênio, como polos positivos (densidade de carga positiva ou, simplesmente,  $\delta^+$ ). Essa **polaridade** da água explica grande parte das suas propriedades, como será visto mais adiante.



Estrutura da água, sua angulação e polaridade.

Além da polaridade, outra propriedade apresentada pela molécula de água é a capacidade de realizar ligações de hidrogênio, que são interações moleculares fracas de natureza físico-química (cerca de 20 vezes mais fracas que as ligações químicas) e de curta duração, acontecendo com abundância entre moléculas de água. Essas pontes de hidrogênio ligam um átomo de hidrogênio (mais positivo) ao oxigênio (mais negativo) de uma outra molécula. Dessa forma, a água tem

todas as suas moléculas ligadas entre si por meio de ligações de hidrogênio, e é isso que permite, por exemplo, que a água mantenha-se estável e líquida nas condições ambientais de temperatura e pressão.

Apesar de as ligações de hidrogênio serem fracas e de curta duração, elas se formam em quantidades enormes e acabam sendo uma força de grande importância.

Para que haja a formação de ligações de hidrogênio entre duas moléculas (ou dentro de uma molécula, como muitas vezes ocorre com macromoléculas, como proteínas e ácidos nucleicos), são necessárias duas prioridades.

- **Presença de átomo de hidrogênio ligado a átomo bastante eletronegativo, como o oxigênio ou o nitrogênio** – A maior eletronegatividade do ligante do hidrogênio faz com que os elétrons do par compartilhado na ligação covalente fiquem mais distantes do átomo de hidrogênio, que passa a apresentar uma densidade de carga positiva.
- **Presença de um átomo com pares de elétrons livres, como oxigênio ou nitrogênio** – Os elétrons livres são atraídos pelo hidrogênio com densidade de carga positiva, resultando no surgimento de uma ligação de hidrogênio.

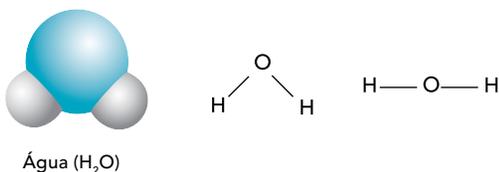
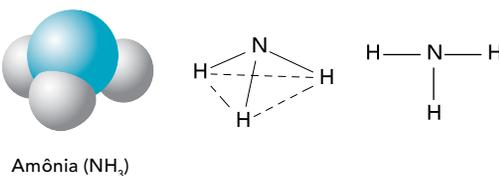
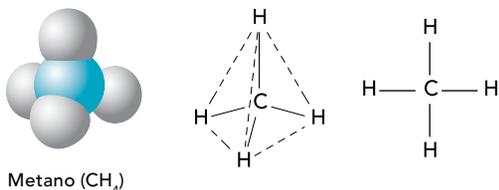
### Moléculas semelhantes à água

Moléculas como a amônia ( $\text{NH}_3$ , com peso molecular 17) e o metano ( $\text{CH}_4$ , com peso molecular 16) têm estruturas e pesos moleculares semelhantes à água ( $\text{H}_2\text{O}$ , com peso molecular 18). Por que elas não podem, então, substituir a água nos processos vitais?

A amônia forma ligações de hidrogênio mais fracas devido ao seu peso molecular menor que o da água, apesar de também ser polar. Isso faz com que a amônia seja gasosa, não podendo atuar em processos metabólicos. Pesquisadores especulam que, em áreas mais frias e/ou de pressão maior no Universo, a amônia possa ter um papel análogo ao da água no surgimento da vida.

O metano, por sua vez, é apolar e não forma ligações de hidrogênio. Ele é mais leve que a água, consequentemente, gasoso e com características bem distintas daquelas da água.

Compare as estruturas moleculares do metano, da amônia e da água.



### Propriedades da água

#### Alta tensão superficial

Ao se observar uma gota de orvalho sobre uma folha, percebe-se que ela permanece com o formato de uma bolha sobre a superfície. Por qual razão as moléculas de água concentram-se em uma região, formando a bolha, e não se espalham por toda a superfície? Isso acontece porque as moléculas de água se atraem mutuamente devido às ligações de hidrogênio e às forças de atração dipolo-dipolo (a região positiva de uma molécula é atraída pela região negativa de outra). É exatamente nisso que consiste a tensão superficial da água, resultante da grande coesão das moléculas que a constituem.

Coesão é a atração entre moléculas idênticas.



Observe a alta coesão da água na formação do orvalho nas folhas.

Como a matéria viva é formada principalmente por água, sua coesão contribui para a **estabilização** dos sistemas vivos. Do mesmo modo, auxilia a subida de seiva bruta nas plantas vasculares devido à capilaridade e ao fenômeno de tensão-coesão de Dixon.

Além de uma grande capacidade coesiva, a água também demonstra uma grande capacidade de adesão, que assegura a atração entre moléculas diferentes.

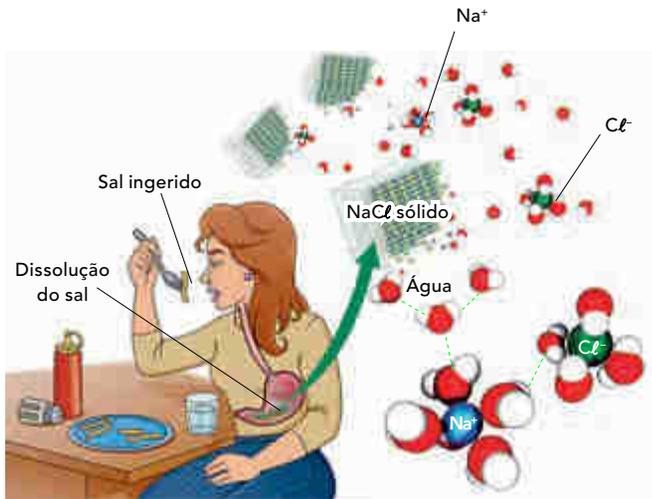


Alguns insetos (família Gerridae) andam sobre a água devido à alta coesão dessa substância.

#### Grande capacidade de dissolução

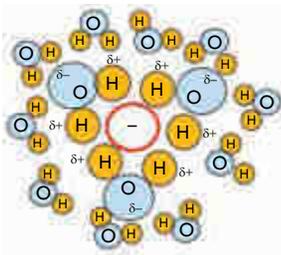
A água, por ser polar, pode aderir-se a outras moléculas polares. As regiões negativas da molécula de água são atraídas pelas regiões positivas de outras moléculas polares, do mesmo modo que as regiões positivas da água são atraídas pelas regiões negativas de outras moléculas polares. Assim, a água dissolve compostos também polares (semelhante dissolve semelhante), e, por isso, é considerada um solvente universal. Dessa forma, a maior parte dos componentes celulares se encontra dissolvida na água, apresentando adesão com suas moléculas, o que contribui para a estabilidade dos sistemas vivos.

Por dissolver componentes, a água atua, então, como o grande meio para reações químicas nos seres vivos (reações metabólicas ocorrem sempre em meio aquoso), bem como meio de transporte de substâncias nela dissolvidas (sangue, linfa e seiva).

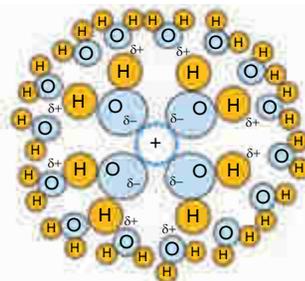


A água possibilita a dissolução de uma infinidade de substâncias, como o cloreto de sódio.

Outra característica inerente à capacidade de adesão da água é sua capacidade de se ligar fortemente a moléculas com cargas elétricas. Dessa forma, íons negativos (ânions) são rodeados por moléculas de água de tal maneira que as regiões positivas das moléculas entram em contato com o ânion, acontecendo de maneira análoga entre os íons positivos e as partes negativas das moléculas de água. Por exemplo, se uma proteína tiver carga negativa, os polos positivos das moléculas de água entrarão em contato com ela, neutralizando, parcialmente, a carga da proteína. Forma-se uma camada de água denominada **camada de solvatação**, que reduz a reatividade de compostos carregados e contribui para aumentar a estabilidade dos sistemas vivos.



Camada de solvatação de um composto aniônico



Camada de solvatação de um composto catiônico

Esquema representativo das moléculas de água na formação da camada de solvatação.

### Alto calor específico

A quantidade de calor necessária para que, em certa quantidade de uma substância, ocorra um determinado aumento de temperatura é denominada calor específico. Afirmar que o calor específico da água é de 1 cal/g °C significa dizer que é necessário fornecer uma quantidade de calor de 1,0 cal para aquecer 1,0 g de água em 1 °C. Esse calor específico é bem maior que o do álcool ou do óleo, por exemplo. Isso implica que, se uma quantidade de energia for aplicada a uma mesma massa de água e de álcool, a temperatura do álcool se elevará mais rapidamente do que a da água.

A consequência do alto calor específico da água para os seres vivos está na sua baixa propensão em alterar sua temperatura em relação a outras substâncias, o que contribui para a estabilidade térmica dos seres vivos. Por exemplo, quando se aquece uma panela vazia, rapidamente ela esquenta. Porém, se for adicionada água a essa panela, a qual é aquecida à

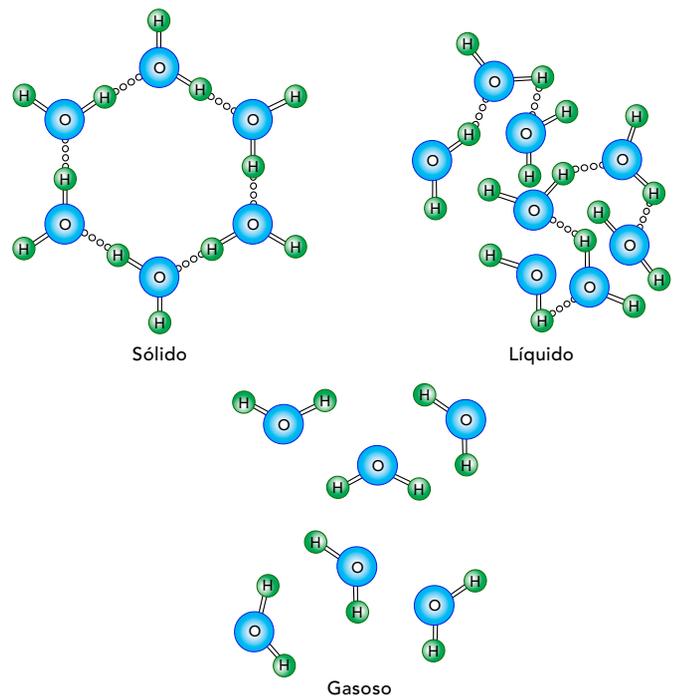
mesma temperatura, pelo mesmo período de tempo, ela não aquecerá tão rápido.

A origem do alto calor específico da água se encontra nas ligações de hidrogênio. Ao aquecer a água, primeiramente, o calor é usado na quebra dessas ligações, o que, a princípio, não aumenta demasiadamente a agitação térmica das partículas no meio, ou seja, não leva a uma alteração drástica da temperatura. Quando algumas ligações forem quebradas, as moléculas de água, mais livres, aumentarão seu estado de agitação térmica, o que levará ao aumento da temperatura. Dessa maneira, a água é capaz de absorver calor sem alterar abruptamente a sua temperatura porque o calor é usado na quebra de ligações de hidrogênio.

A vantagem desse alto calor específico para os organismos vivos é que isso confere a eles uma grande estabilidade térmica. Essa estabilidade é importante, pois, caso a temperatura corporal se eleve muito, as enzimas podem sofrer desnaturação, e, caso a temperatura corporal diminua muito (hipotermia), o metabolismo corporal se torna muito lento. Em ambos os casos, o efeito pode ser fatal.

### Alto calor latente de vaporização

A água apresenta, também, um alto calor latente de vaporização, que representa a quantidade de calor que um líquido deve ganhar para passar para o estado gasoso (ou o calor que o vapor deve perder para passar para o estado líquido). O calor de vaporização da água é alto, o que significa que ela pode receber grandes quantidades de calor sem evaporar, pelo menos não facilmente, devido às ligações de hidrogênio. A evaporação só acontece quando as moléculas de um líquido, pertencentes à sua superfície, começam a se desprender umas das outras. Com a água isso não acontece porque as ligações de hidrogênio agregam as moléculas e impedem que elas desgarrem. Quando o calor fornecido for suficiente para quebrar essas ligações, permitindo o despreendimento de moléculas, a evaporação ocorre. Assim, a água só evapora com grandes quantidades de calor capazes de quebrar essas ligações. É necessário haver mais de 500 calorias para evaporar 1 grama de água.



Disposição das moléculas de água nos seus estados físicos.

A evaporação é utilizada pelos seres vivos para controlar as temperaturas corporais. Dessa forma, o ser humano transpira para que o suor, quando evaporar, consuma grande quantidade de energia térmica, retirando calor do organismo. Caso o ambiente esteja úmido, a evaporação do suor é dificultada, de modo que a pele não consegue eliminar calor e acaba por aumentar a temperatura corporal. Isso gera a sensação de calor “abafado” em dias nublados ou em regiões como florestas tropicais, devido à alta taxa de transpiração vegetal. Por outro lado, em ambientes secos, bem ventilados, a sensação de calor torna-se menor por haver uma maior facilidade na evaporação do suor, ou seja, uma maior facilidade na remoção de calor da pele.

### Alto calor latente de fusão

A quantidade de calor que um sólido deve ganhar para alcançar o estado líquido, ou o calor que o líquido deve perder para passar ao estado sólido, é denominada calor latente de fusão e traz consequências aos seres vivos.

A primeira delas está na vida em regiões polares, como o Ártico e a Antártica. As baixíssimas temperaturas atmosféricas impedem a ocorrência de formas de vida na maior parte dessas regiões, especialmente em certas épocas do ano. Muitas espécies têm que se adaptar aos rigorosos invernos reduzindo seu metabolismo e hibernando (organismos ectotérmicos) ou em pseudo-hibernação (organismos endotérmicos). Na Antártica, por exemplo, os únicos seres terrestres capazes de resistir às temperaturas de até  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  são algumas espécies de pinguins, que são seres endotérmicos.

Entretanto, seres ectotérmicos, como os peixes, não conseguiriam resistir a temperaturas tão baixas, pois sua temperatura depende do meio externo. Mesmo assim, existem espécies antárticas desses animais. Há duas explicações para isso: o alto calor de fusão da água e o sal dissolvido nela impedem que a água congele; a capa de gelo que se forma sobre a superfície da água atua como isolante térmico e impede quedas acentuadas na sua temperatura. Assim, enquanto fora da água a temperatura está dezenas de graus Celsius abaixo de zero, dentro dela, a temperatura se encontra em “confortáveis”  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente, nível suportável para espécies aquáticas.

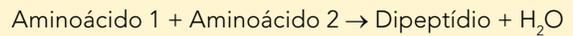
A segunda consequência do alto calor de fusão da água traz efeitos benéficos de forma mais imediata. A água congelada, diferentemente de outros estados, se organiza em cristais e se configura em espículas. Esses cristais perfurariam membranas celulares e levariam as células à morte. Porém, o alto calor de fusão da água minimiza esse risco. Algumas espécies ectotérmicas, ao hibernar em invernos mais rigorosos, têm sua temperatura corporal em níveis abaixo de zero. O congelamento não mata esses animais por causa da existência de proteínas anticongelantes, que organizam a formação dos cristais de gelo em formas inofensivas.

Para congelar tecidos humanos, o que é prática comum atualmente em ambientes hospitalares para armazenar células-tronco, esperma, embriões e sangue, por exemplo, a técnica envolve o uso de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) líquido, cuja temperatura é aproximadamente de  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O rápido congelamento e o uso de substâncias anticongelantes impedem a formação de cristais de gelo que afetariam a integridade das células e dos tecidos.

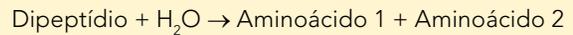
### Participação em reações químicas

A água participa diretamente de várias reações químicas no interior das células. Dessas reações, a síntese por desidratação intermolecular e a hidrólise são as principais.

Na **síntese por desidratação**, duas ou mais moléculas se ligam, formando o respectivo produto mais água:



A reação de **hidrólise** é exatamente inversa, em que um composto é quebrado quando adiciona-se água:



Além dessas reações, a água participa também de outras, como fotossíntese, quimiossíntese e respiração celular.

### Varição no teor de água no organismo

O teor de água varia muito de espécie para espécie; dentro de uma espécie, de indivíduo para indivíduo, de acordo com a idade, e dentro de um indivíduo, de tecido para tecido.

- ▶ **Espécie** – Espécies distintas têm diferentes teores de água: alguns cnidários, como a água-viva, são formados por 98% de água, fungos, cerca de 83% de água, e o ser humano, cerca de 64%.
- ▶ **Atividade metabólica** – Tecidos de um mesmo organismo variam quanto ao teor de água, de acordo com um maior ou menor metabolismo. Quanto maior o metabolismo tecidual, maior o teor percentual de água: o cérebro, órgão de maior atividade metabólica dos seres humanos, é composto por 90% de água; músculos, 83%; e os ossos, tecidos com atividade metabólica menor, possui um teor de água de 40%. Ossos sem medula têm um teor ainda menor de água, em torno de 25%, apenas. No reino Plantae, as sementes são bastante desidratadas e têm uma baixíssima atividade metabólica. Assim, para ativar sua germinação, devem receber água em um processo chamado de **embebição**. A partir daí, seu metabolismo é ativado para que haja a germinação.
- ▶ **Idade** – Dentro de uma espécie, os teores de água variam bastante, principalmente de acordo com a idade do indivíduo. Todas as reações do metabolismo dos seres vivos acontecem em meio aquoso, assim, quanto maior a necessidade metabólica dos tecidos, maior o seu percentual de água. Dessa maneira, organismos jovens têm metabolismo mais intenso, consequentemente, apresentando maiores teores de água. Pessoas idosas apresentam rugas e pele ressecada devido a um menor teor de água na pele. Por exemplo, um embrião de 1 mês e meio é 97% de água; um feto de três meses, 94%; um feto de oito meses, 83%; um recém-nascido, 71% de água; e o adulto, 64% de água. Quanto mais jovem o organismo, mais intenso o seu metabolismo, então, consequentemente, uma maior quantidade de água é necessária.

### Sais minerais

Sais minerais (forma insolúvel) e íons (forma solúvel, eletricamente carregada) são componentes inorgânicos da matéria viva, muito menos importantes em termos percentuais do que a água e os compostos orgânicos, mas ainda assim desempenham papéis estruturais e reguladores importantíssimos, dentro e fora das células.

Normalmente, os sais desempenham papéis estruturais em ossos e carapaças de animais, sendo insolúveis em água. Os íons, por sua vez, desempenham papéis reguladores, na forma de cofatores enzimáticos (partes não proteicas de

enzimas cujas presenças ou ausências determinam a atividade biológica ou não atividade da enzima). Eles são solúveis em água e, conseqüentemente, são encontrados dissolvidos nos líquidos celulares e tissulares.

Segundo a bióloga Sônia Lopes, os sais minerais podem ser classificados de acordo com as quantidades presentes no corpo e as necessidades alimentares.

- ▶ **Macrominerais** – Necessários em grandes quantidades, sendo representados por cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio e enxofre.
- ▶ **Microminerais ou oligoelementos** – Necessários em pequenas quantidades, sendo representados por ferro, zinco, cobre, iodo, flúor, cromo, selênio, cobalto, manganês, molibdênio, vanádio, níquel, estanho e silício.

## Íons sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>) e cloreto (Cl<sup>-</sup>)

Sódio é o íon positivo mais abundante em animais, já o potássio, também positivo, é o íon mais abundante em plantas. O cloreto, por outro lado, é um íon negativo, abundante em todos os seres vivos, vegetais ou animais.

Eles não ocorrem na forma insolúvel de sais. Porém, em conjunto, esses três íons atuam no **equilíbrio osmótico** das células e dos líquidos tissulares. Por meio do fenômeno de osmose, que é a passagem de solvente de um meio menos concentrado para um mais concentrado, a água permanece em meios cujas concentrações desses íons sejam maiores. Dessa maneira, quando alimentos muito salgados são ingeridos, a concentração de NaCl no estômago fica maior que a do sangue (que é de 0,9%), havendo saída de água do sangue para o estômago. Como o volume de água no sangue diminui, o indivíduo sente sede para que esta água seja reposta no sangue. Em nível celular, se a célula precisa ganhar água, basta que ela eleve sua concentração destes sais e a água "entra" por osmose. Se ela precisar eliminar água, basta que ela diminua a concentração desses sais.

### Tome nota

Osmose é uma propriedade coligativa das soluções, ou seja, não depende da natureza química das partículas dissolvidas, mas apenas de sua concentração. Assim, um meio hipertônico em sal terá o mesmo potencial osmótico de um meio hipertônico em açúcar, desde que a concentração de partículas seja idêntica.

Um meio que tenha concentração de 1 mol de sal terá o dobro do potencial osmótico de um meio que tenha concentração de 1 mol de açúcar, uma vez que o NaCl se dissocia em Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, passando a equivaler a duas partículas.

Devido à ação de um mecanismo celular conhecido como **bomba de sódio e potássio**, as concentrações desses íons se mantêm mais ou menos constantes no meio intra e extracelular. Devido à diferença na quantidade de partículas positivas entre esses dois meios, existe uma polaridade da membrana plasmática: o meio intracelular é negativo em relação ao meio extracelular positivo. Isso ocorre exatamente devido a essas diferentes concentrações de sódio e potássio. A polaridade da membrana é a base para a condução do impulso nervoso. Assim, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, em conjunto, atuam no processo de geração da polaridade de membrana e propagação do impulso nervoso.

O potássio desempenha, ainda, importante papel, como foi mencionado anteriormente, na forma de cofator enzimático relacionado aos processos de síntese proteica e respiração celular.

## Cálcio (Ca<sup>++</sup>) e magnésio (Mg<sup>++</sup>)

Boas fontes de cálcio na dieta são alimentos como leite, carne, ovos e verduras. Porém, a maioria desses átomos está presente em organismos vivos não na sua forma iônica, mas sim na forma de sais insolúveis nos ossos e nas carapaças de animais. Assim, 99% do cálcio em humanos estão presentes nos ossos e nos dentes, na forma de sais, como o fosfato de cálcio ou apatita (Ca<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) e o carbonato de cálcio ou calcário (CaCO<sub>3</sub>). Além disso, está presente, também, nos exosqueletos de crustáceos e conchas de moluscos.

O cálcio iônico atua em processos como coagulação sanguínea, contração muscular, transmissão do impulso nervoso (no processo de sinapse) e ativação enzimática (normalmente, como segundo mensageiro da ação hormonal).

Em conjunto, cálcio e magnésio iônicos atuam controlando a permeabilidade das membranas por meio da abertura e fechamento de canais.

O magnésio, isoladamente, participa da **síntese proteica**. Os ribossomos, responsáveis por esse processo, são compostos por duas unidades, as quais só permanecem unidas na presença do magnésio; a ausência desse íon separa as unidades e impede o processo de síntese de proteínas. Além disso, o magnésio é parte da molécula de clorofila, que permite a reação de fotossíntese em plantas.

## Ferro (Fe)

O ferro é adquirido por meio da ingestão de alimentos como fígado (que possui a proteína ferritina como reserva desse mineral), carnes vermelhas, gemas de ovos, leguminosas como o feijão e verduras como o espinafre. Ele desempenha uma série de papéis nas células e é normalmente associado a proteínas na forma de um grupamento químico orgânico chamado **heme**, que apresenta, também, átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio.

O ferro pode assumir dois estados de oxidação, podendo ser encontrado na forma férrica Fe<sup>+++</sup>, ferro oxidado, ou na forma ferrosa Fe<sup>++</sup>, ferro reduzido, mais fácil de ser absorvido pelo organismo; em pacientes anêmicos, muitas vezes, o tratamento envolve o uso de sulfato ferroso, no qual há íons Fe<sup>++</sup>. A vitamina C é fundamental na boa absorção intestinal de ferro, uma vez que auxilia na conversão da forma férrica em ferrosa impedindo a conversão no sentido contrário.

As proteínas que apresentam ferro em sua composição estão envolvidas em processos de transporte de gases no organismo e na respiração celular. A hemoglobina é parte essencial desses processos. Trata-se de uma proteína formada por quatro subunidades proteicas (duas cadeias **α** e duas cadeias **β**), além de um grupamento heme em cada cadeia. A função da hemoglobina é transportar oxigênio e gás carbônico no sangue, sendo que o O<sub>2</sub> se liga aos íons de ferro do grupo heme para serem transportados, enquanto o CO<sub>2</sub> se liga à parte proteica da hemoglobina.

Sem ferro, não é possível fabricar hemoglobina, e sem hemoglobina não é possível fabricar hemácias. A deficiência de ferro na alimentação provoca uma diminuição na quantidade de hemoglobina no sangue, fenômeno conhecido como **anemia ferropriva**. O termo **anemia** designa a diminuição na quantidade de hemoglobina, sendo a anemia ferropriva a mais comum delas. A produção deficiente de hemoglobina acarreta, por sua vez, uma redução no número de hemácias, quadro clínico conhecido como **eritropenia**. Apesar de não serem sinônimos, há uma relação muito próxima entre essas duas condições: se o número de hemácias está abaixo dos

níveis normais, a quantidade de hemoglobina também estará abaixo do normal. A anemia ferropriva é tratada por meio de dieta e suplementos alimentares à base de ferro. Apesar de bastante comum, a anemia é muitas vezes evitada graças às reservas hepáticas de ferro, na forma da **proteína ferritina**. Isso explica a razão de a ingestão de fígado ser a melhor fonte possível de ferro na dieta.

A **mioglobina** é outro exemplo de proteína que apresenta ferro em sua composição. Ela está presente na musculatura de alguns vertebrados e dá cor vermelha aos músculos. Quando o músculo está em atividade intensa, seu suprimento sanguíneo aumenta, por meio da dilatação dos vasos, para que, assim, haja melhor nutrição e melhor subsídio de oxigênio para que ele desempenhe sua função. Mesmo com o suprimento sanguíneo aumentado, a quantidade de oxigênio é insuficiente. Por isso, é necessária a presença da mioglobina, que “armazena” oxigênio no músculo para que seu suprimento seja mantido em níveis adequados. Aves como a galinha não possuem grandes quantidades de mioglobina (sua musculatura, conseqüentemente, é branca) e, assim, não conseguem manter um nível de oxigênio satisfatório para suprir as necessidades da musculatura para o voo, por exemplo. Já as avoantes (*Zenaida auriculata*) possuem grande quantidade de mioglobina (musculatura vermelha) e conseguem voar em um ritmo constante.

Além da hemoglobina e da mioglobina, existem os **citocromos**, que são proteínas que participam da respiração celular, em nível de cadeia respiratória (cadeia transportadora de elétrons), e da fotossíntese, em nível de fotofosforilação cíclica e acíclica. A transferência de elétrons passa pelos átomos de ferro, cujo estado de oxidação fica alternando entre oxidado (ao perder elétrons) e reduzido (ao ganhar elétrons). Substâncias como o cianeto, por exemplo, impedem a mudança do estado de oxidação do ferro e bloqueiam o transporte de elétrons, agindo como inibidores da cadeia respiratória mitocondrial.

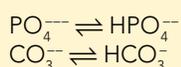
## Fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Os íons fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) estão relacionados ao metabolismo energético, integrando os nucleotídeos energéticos como o ATP (adenosina trifosfato) e o GTP (guanosina trifosfato). Também estão associados à composição dos ácidos nucleicos, fazendo parte de seus nucleotídeos estruturais (cada nucleotídeo apresenta uma base nitrogenada, um açúcar pentose e um grupo fosfato). Além disso, estão presentes em sais, como o fosfato de cálcio e de magnésio que compõem a parte mineral de ossos, dentes, conchas e carapaças.

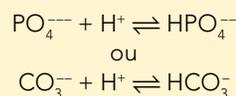
## Íons tampões

Íons tampões são átomos que atuam na manutenção da constância do pH de um meio. As enzimas e proteínas só atuam em um meio com um pH determinado, logo, é importante que o pH dos variados meios orgânicos permaneça constante. Por exemplo, a maioria dos meios dentro do organismo humano é neutro. Se ele acidificar ou basificar, as reações, que acontecem comumente nele, deixam de acontecer. O controle do pH nos meios orgânicos é, portanto, essencial, sendo feito por vários processos, como a utilização dos íons tampões.

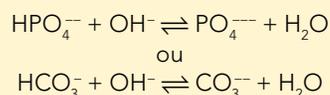
Os íons tampões são conjuntos de íons, fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), bifosfato (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Esses íons se encontram em equilíbrio químico nos meios orgânicos:



Quando ao meio são adicionados íons H<sup>+</sup>, que tenderiam a baixar o pH do meio, eles são captados pelas reações descritas anteriormente, de maneira a serem utilizados para converter fosfato em bifosfato e carbonato em bicarbonato. Assim, não ficam íons livres e o pH não é alterado. O pH permanece inalterado enquanto houver íons fosfato e carbonato para alimentar as reações. Quando todo fosfato e carbonato tiverem sido consumidos e ainda houver íons H<sup>+</sup>, somente, então, o pH diminuirá. Mesmo nesse caso, o efeito dos íons tampões é altamente benéfico, pois impede uma variação brusca de pH. A alteração lenta oferece condições e tempo para que outros métodos de tamponamento sejam acionados, como a eliminação de íons H<sup>+</sup> na urina.



Se fosse adicionado OH<sup>-</sup> ao meio, este seria incorporado pela reação inversa, juntando-se ao bifosfato ou ao bicarbonato para formar fosfato ou carbonato e água.



## Outros elementos

- ▶ **Iodo (I)** – É parte fundamental dos hormônios da glândula tireoidea (tiroxina e outros), os quais controlam o metabolismo energético corporal. A falta de iodo acarreta a carência de tais hormônios e a desregulação do metabolismo.
- ▶ **Flúor (F)** – Participa da composição da parte mineral dos dentes, tornando-os resistentes aos processos cariosos.
- ▶ **Cobalto (Co)** – Participa da composição da vitamina B12, que, por sua vez, colabora com o processo de síntese de hemácias.
- ▶ **Zinco (Zn) e manganês (Mn)** – São cofatores de enzimas relacionadas, respectivamente, aos processos digestivos e neuromusculares. O zinco ainda é o componente da enzima anidrase carbônica, relacionada ao transporte de CO<sub>2</sub> no sangue.
- ▶ **Cobre (Cu)** – Participa da estrutura de algumas enzimas, de pigmentos respiratórios como a hemocianina (presente em crustáceos e moluscos) e é essencial à síntese da hemoglobina.



## Atividades para sala

1. (ENEM) Todas as reações químicas de um ser vivo seguem um programa operado por uma central de informações. A meta desse programa é a autorreplicação de todos os componentes do sistema, incluindo-se a duplicação do próprio programa ou mais precisamente do material no qual o programa está inscrito. Cada reprodução pode estar associada a pequenas modificações do programa.

MURPHY, Michael P.; O'NEILL, Luke (Org.). *O que é vida? 50 anos depois: especulações sobre o futuro da biologia*. São Paulo: UNESP, 1997. (adaptado)

São indispensáveis à execução do programa mencionado anteriormente processos relacionados ao metabolismo, à autorreplicação e à mutação.

Esses processos podem ser exemplificados, respectivamente, por

- fotossíntese, respiração e alterações na sequência de bases nitrogenadas do código genético.
- duplicação do RNA, pareamento de bases nitrogenadas e digestão de constituintes dos alimentos.
- excreção de compostos nitrogenados, respiração celular e digestão de constituintes dos alimentos.
- respiração celular, duplicação do DNA e alterações na sequência de bases nitrogenadas do código genético.
- fotossíntese, duplicação do DNA e excreção de compostos nitrogenados.

2. Dentre todos os elementos da tabela periódica, sabe-se, atualmente, que cerca de 26 são considerados essenciais para os animais, ou seja, os animais têm que adquiri-los a partir de sua dieta. Assinale a opção que contém os elementos que os animais devem ingerir em maior quantidade.

- Cálcio, fósforo, potássio.
- Potássio, enxofre e sódio.
- Sódio, cloreto e magnésio.
- Nitrogênio, cálcio e fósforo.
- Oxigênio, carbono e hidrogênio.

3. **Vírus gigante é descoberto na Amazônia**

As águas do Rio Negro, nas vizinhanças de Manaus, abrigam o maior vírus já descoberto no Brasil, um parasita microscópico comparativamente tão grande que chega a superar algumas bactérias em tamanho e em complexidade de DNA. Batizado de SMBV, ou simplesmente vírus Samba, ele foi descrito por pesquisadores da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), em parceria com colegas franceses, na revista especializada *Virology Journal* [...]. A descoberta pode ser importante tanto para a saúde humana – já que alguns vírus gigantes como o Samba parecem ser capazes de causar pneumonia – quanto para entender melhor a natureza dos vírus.

Disponível em: <<http://www.jornaldaciencia.org.br>>. Acesso em: maio 2014. (adaptado)

Em relação aos vírus, é possível afirmar que

- parasitam exclusivamente células animais.
- são parasitas eventuais das células.
- só metabolizam no interior de células.
- suas estruturas são mais complexas que as das bactérias.
- surgiram a partir de células eucarióticas.

4. (ENEM) A água apresenta propriedades físico-químicas que a colocam em posição de destaque como substância essencial à vida. Dentre essas, destacam-se as propriedades térmicas biologicamente muito importantes, por exemplo, elevado valor de calor latente e de vaporização. Esse calor latente refere-se à quantidade de calor que deve ser adicionada a um líquido em seu ponto de ebulição, por unidade de massa, para convertê-lo em vapor na mesma temperatura, que no caso da água é igual a 540 calorias por grama. A propriedade físico-química mencionada no texto confere à água a capacidade de

- servir como doador de elétrons no processo de fotossíntese.
- funcionar como regulador térmico para os organismos vivos.
- agir como solvente universal nos tecidos animais e vegetais.

d) transporte de íons de ferro e magnésio nos tecidos vegetais.

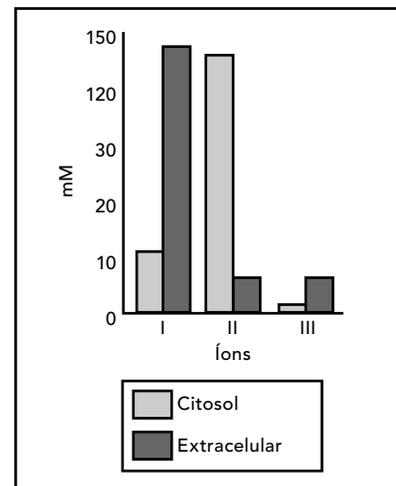
e) funcionar como mantenedora do metabolismo nos organismos vivos.

5. A carne-seca, um dos ingredientes mais típicos da culinária brasileira, tem quase a idade do Brasil. O primeiro registro nacional é do século XVI, no estado do Ceará. De lá, a carne prensada sob o sol forte se espalhou pelo país e virou marca da culinária gaúcha, onde ganhou o nome espanhol de charque. Ela é conhecida também como carne do Ceará ou jabá e tem uma salga mais forte que a carne de sol. É seca também ao sol e ao vento ou por meio de estufas apropriadas e contém apenas 10% de água. Colocada em água para dessalgar, perde grande parte de suas substâncias nutritivas. É muito utilizada, principalmente no Nordeste do Brasil. No Sudeste, entra no preparo da feijoada.

O processo de desidratação de certos alimentos, como é o caso da carne do Ceará ou jabá, tem como objetivo

- facilitar o seu transporte a longas distâncias.
- diminuir o pH das células e preservar a carne.
- evitar o pouso de insetos sobre a carne.
- evitar a instalação de micro-organismos patogênicos.
- aumentar sua digestibilidade.

6. Os sais minerais são de importância vital para o bom funcionamento de diversos processos fisiológicos, sendo necessária a reposição da concentração de cada íon para que seja mantida a homeostasia do organismo. O gráfico e a tabela a seguir mostram a concentração e algumas atividades biológicas de três íons em seres humanos.



Atividade biológica	Íon envolvido
Condução nervosa	I, II
Contração muscular	III
Coagulação	III

Analisando o gráfico e a tabela, pode-se afirmar que os íons representados por I, II e III são, respectivamente,

- Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>.
- Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>.
- K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>.
- K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>.
- Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>.

**Atividades propostas**

1. (ENEM)



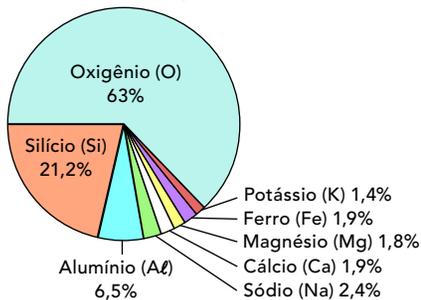
GONSALES, Fernando. *Vá pentear macacos!* São Paulo: Devir, 2004.

São características do tipo de reprodução representado na tirinha:

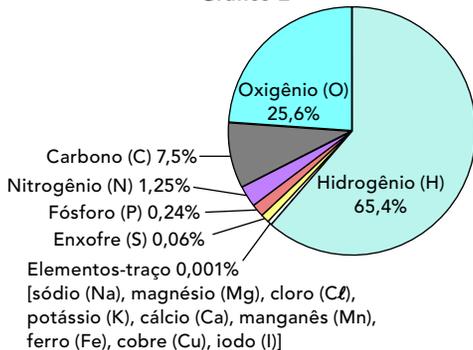
- a) simplicidade, permuta de material gênico e variabilidade genética.
- b) rapidez, simplicidade e semelhança genética.
- c) variabilidade genética, mutação e evolução lenta.
- d) gametogênese, troca de material gênico e complexidade.
- e) clonagem, gemulação e partenogênese.

2. Os seres vivos possuem composição química diferente da composição do meio onde vivem. Os elementos presentes nos seres vivos se organizam de maneira diferente, desde níveis mais simples e específicos até níveis mais complexos e gerais.

**Gráfico 1**



**Gráfico 2**



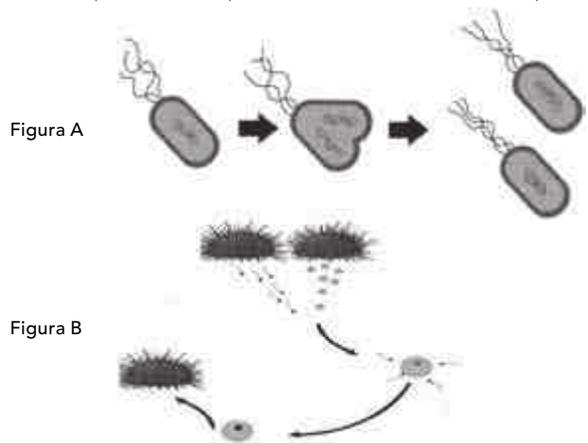
Analise os dois gráficos e escolha aquele que representa a composição química média dos seres vivos. Assinale a alternativa que demonstra o gráfico certo e a ordem crescente dos níveis de organização dos seres vivos.

- a) Gráfico 1, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população e comunidade.
  - b) Gráfico 1, molécula, célula, órgão, tecido, organismo, população e comunidade.
  - c) Gráfico 2, molécula, célula, órgão, tecido, organismo, população e comunidade.
  - d) Gráfico 2, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, comunidade e população.
  - e) Gráfico 2, molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população e comunidade.
3. Os organismos vivos são compostos de moléculas des-tituídas de vida. Quando essas moléculas são isoladas e examinadas individualmente, elas obedecem às leis físicas e químicas que descrevem o comportamento da matéria inanimada. Não obstante, os organismos vivos possuem atributos extraordinários que não são exibidos por uma coleção de moléculas escolhidas ao acaso.

*Princípios de Bioquímica (2005), de Lehninger.*

Entre as substâncias orgânicas encontradas nos seres vivos, é um fator comum

- a) todas serem, exclusivamente, energéticas.
  - b) que, na união das suas unidades constituintes, prepon-dere a síntese por desidratação.
  - c) serem moléculas simples, quando comparadas com as que formam a matéria mineral.
  - d) que os ácidos nucleicos e lipídios sejam moléculas energéticas, enquanto os glicídios e as proteínas são moléculas informacionais.
  - e) serem todas formadas por carbono, hidrogênio, oxigê-nio e nitrogênio.
4. Uma das características que melhor diferencia os seres vivos da matéria bruta é a capacidade de reprodução. A partir dela, cada ser vivo gera novos indivíduos, transmitindo para seus descendentes suas características e garantindo, com isso, a sobrevivência de sua espécie. As figuras a seguir repre-sentam tipos de reprodução, estratégias de vida viáveis por meio das quais se torna possível a continuidade das espécies.



Com base nas figuras anteriores, assinale a alternativa correta.

- a) O tipo de reprodução da figura A permite que indiví-duos tenham uma maior capacidade de sobrevivência face a mudanças ambientais, enquanto na figura B, o tipo de reprodução origina novos descendentes com uma maior rapidez.

- b) O tipo de reprodução da figura A pode permitir aos organismos uma variabilidade genética decorrente de mutação, enquanto na figura B, o tipo de reprodução pode induzir a uma variabilidade genética decorrente de mutação e recombinação.
- c) O tipo de reprodução da figura A possibilita, nos indivíduos, variação genética resultante da troca de material genético, enquanto o tipo de reprodução observado na figura B possibilita produção de gametas com baixo dispêndio de energia e, conseqüentemente, formação de seres geneticamente diferentes dos genitores.
- d) O tipo de reprodução da figura A induz ao aumento da produção de clones a partir da adaptação destes às diversas condições ambientais; por outro lado, o tipo de reprodução da figura B acarreta a produção de indivíduos geneticamente diferentes quando o ambiente em que vivem se encontra em constante mudança.
- e) O tipo de reprodução da figura A possibilita os genes a se propagarem mais lentamente que os genes encontrados no tipo de reprodução da figura B, porque, nesta última, a união de gametas promove o aumento da possibilidade de evolução das espécies.

5. O enfermeiro britânico William Pooley, que contraiu o vírus ebola em Serra Leoa durante um período como enfermeiro voluntário e se recuperou, acaba de regressar ao país – um dos epicentros da epidemia no oeste da África – para retomar seu trabalho. Pooley se recuperou do ebola após ser tratado nos estágios iniciais da infecção, antes de sofrer qualquer sangramento interno ou externo, com uma droga experimental chamada ZMapp, que consiste em um “coquetel” de três anticorpos, cujos estudos para seu desenvolvimento se iniciaram há mais de uma década. Ele doou amostras de seu sangue para que cientistas buscassem pistas e realizem pesquisas visando ao desenvolvimento de fármacos antivirais para cura dessa doença, que já deixou mais de 4,5 mil mortos.

Disponível em: <<http://g1.globo.com>>. Acesso em: 20 out. 2014. (adaptado)

Acerca dos antivirais, analise as asserções.

- I. É desafiante o desenvolvimento de antivirais que inibam a replicação viral sem causar simultaneamente alguma toxicidade para o organismo hospedeiro.

Porque

- II. Os vírus são parasitas intracelulares obrigatórios que utilizam a maquinaria bioquímica da célula hospedeira necessária para sua replicação.

É correto afirmar que

- a) as duas afirmações são verdadeiras e a segunda não justifica a primeira.
  - b) as duas afirmações são verdadeiras e a segunda justifica a primeira.
  - c) as duas afirmações são falsas.
  - d) a primeira afirmação é verdadeira e a segunda é falsa.
  - e) a primeira afirmação é falsa e a segunda é verdadeira.
6. Vírus são seres que se diferenciam de todos os organismos vivos por serem acelulares, não tendo, assim, a complexa maquinaria bioquímica necessária para fazer funcionar seu programa genético, precisando, pois, de células que os “hospedem”. Um argumento correto que pode ser usado para apoiar a ideia de que os vírus são seres vivos é o de que eles

- a) não dependem do hospedeiro para a reprodução.
- b) possuem número de genes semelhante ao de organismos multicelulares.
- c) utilizam o mesmo código genético de outras formas de vida.
- d) sintetizam carboidratos e lipídios, independentemente do hospedeiro.
- e) sintetizam suas proteínas independentemente do hospedeiro.

7. A água é um elemento composto por dois átomos de hidrogênio (H) e um de oxigênio (O), formando a molécula de H<sub>2</sub>O. É uma das substâncias mais abundantes em nosso planeta e pode ser encontrada em três estados físicos: sólido (geleiras), líquido (oceanos e rios) e gasoso (vapor d’água na atmosfera). A água é de fundamental importância para a vida de todas as espécies. Aproximadamente 64% do organismo humano é composto por água.

A proporção de água é progressivamente crescente nos tecidos

- a) muscular, nervoso de um adulto e ósseo.
- b) ósseo, muscular de um embrião e nervoso de um embrião.
- c) muscular, nervoso de um embrião e epitelial.
- d) sanguíneo, ósseo e epitelial.
- e) adiposo, muscular e ósseo.

8. Leia o texto a seguir.

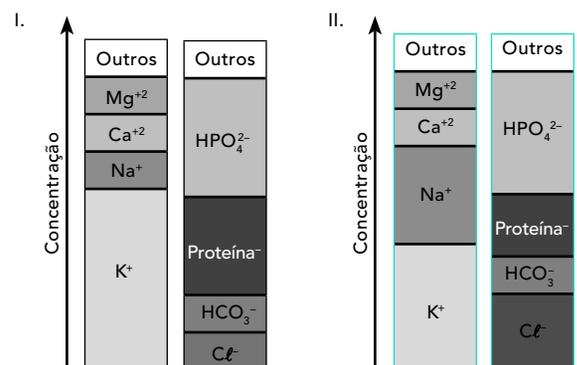
A criação de peixes ósseos de água doce para fins comerciais impõe aos animais estresses decorrentes do manejo de rotina e doenças ocasionadas por protozoários. Para reduzir o aparecimento dessas doenças utiliza-se banhos com solução de NaCl, em concentrações entre 2 a 5% com tempo de exposição variando entre 20 segundos a 20 minutos.

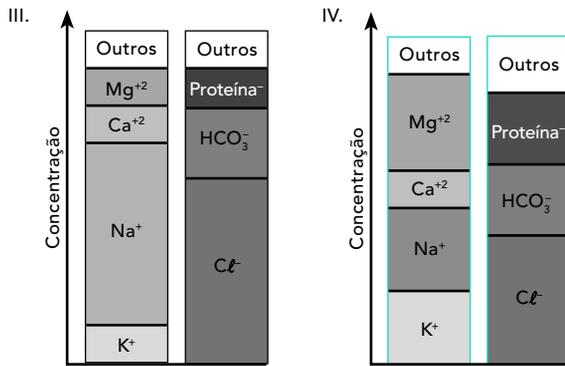
KUBITZA, Fernando. A versatilidade do sal na piscicultura. *Panorama da aquicultura*, set./out. 2007. p. 14-23. (adaptado)

De acordo com o texto, o controle de protozoários requer a utilização de solução salina em concentração superior à fisiológica. Portanto, para que o banho salino não cause a morte dos animais, ele deve ser breve o suficiente para impedir que os peixes

- a) inchem por absorção excessiva de água.
- b) inchem por retenção de urina concentrada.
- c) inchem por ingestão de solução salina.
- d) desidratem por perda excessiva de água.
- e) desidratem por excreção de urina concentrada.

9. Uma das condições necessárias para o perfeito funcionamento do organismo humano é a manutenção da adequada faixa de concentração de íons nos líquidos orgânicos, como o plasma sanguíneo e o líquido intracelular. Os gráficos a seguir mostram as concentrações, em miliequivalentes por litro, de alguns cátions e ânions em diversas soluções.





As faixas de concentrações iônicas mais compatíveis com as do plasma sanguíneo e as do líquido intracelular estão representadas, respectivamente, nos gráficos

- a) I e II.                      c) III e I.                      e) I e IV.  
 b) II e IV.                     d) IV e III.

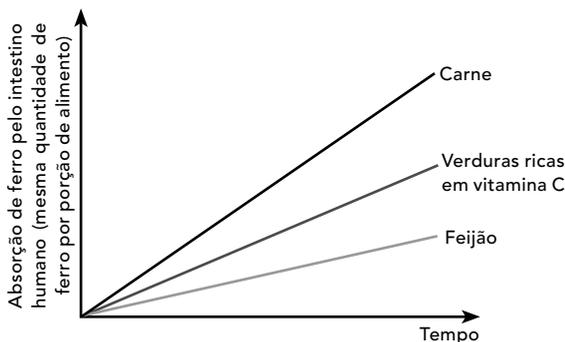
10. Anemia ferropriva é um tipo de anemia decorrente da privação, deficiência, de ferro dentro do organismo, levando a uma diminuição da produção, tamanho e teor de hemoglobina dos glóbulos vermelhos, hemácias. O ferro é essencial para a produção dos glóbulos vermelhos, e seus níveis baixos no sangue comprometem toda cascata de produção das hemácias. Dentro dos glóbulos vermelhos, existe uma proteína chamada hemoglobina que tem na sua estrutura bioquímica a presença de moléculas de ferro e de cobalto (o cobalto está presente na vitamina B12). A hemoglobina é a responsável pelo transporte do oxigênio que respiramos até todas as células do corpo humano.

Disponível em: <<http://www.minhavidade.com.br>>. Acesso em: 26 abr. 2015. (adaptado)

Sobre causas, consequências e tratamento da patologia descrita anteriormente é possível afirmar que

- a) a deficiência de ferro na alimentação é a causa mais frequente de anemia ferropriva no mundo, afetando principalmente adultos jovens.  
 b) a cirurgia bariátrica que retira parte do estômago e do intestino para redução do peso, afeta a absorção do ferro e pode causar anemia ferropriva.  
 c) a informação popular de que cozinhar em panela de ferro auxilia no combate à anemia ferropriva é um mito, pois o ferro contido na panela é intransferível ao alimento.  
 d) na anemia ferropriva, o transporte de oxigênio fica comprometido, sem grandes consequências danosas ao indivíduo doente.  
 e) a deficiência de hemoglobina leva a pele do doente a ficar escurecida.

11. Considere o gráfico e as informações a seguir.



Disponível em: <<http://pt.scribd.com>>. (adaptado)

- I. Nas carnes e vísceras, o ferro é encontrado na forma  $Fe^{2+}$ .  
 II. Nos vegetais, o ferro é encontrado na forma mais oxidada,  $Fe^{3+}$ .  
 III. A vitamina C é capaz de reduzir o ferro da forma  $Fe^{3+}$  para a forma  $Fe^{2+}$ .

Pode-se inferir das informações e do gráfico que

- a) o ferro em sua forma reduzida ( $Fe^{2+}$ ) é mais fácil de ser absorvido pelo intestino humano.  
 b) o hábito do brasileiro de consumir laranja junto com a feijoada não é benéfico porque dificulta a absorção de ferro pelo corpo humano.  
 c) verduras ricas em vitamina C são também abundantes em ferro.  
 d) a vitamina C não tem relação com a absorção do ferro.  
 e) o uso de suplementos à base de íons férricos é mais útil do que à base de íons ferrosos no tratamento da anemia ferropriva.

12. Suponha que uma das sondas lançadas ao espaço pelo ser humano encontrou em uma lua de Saturno condições de vida similares às da Terra. A sonda recolheu vários indivíduos semelhantes que foram mantidos em condições adequadas e observados vivos, enquanto outros foram sacrificados para que suas estruturas fossem estudadas. Observou-se que os indivíduos tinham o corpo composto por substâncias orgânicas, que eram formados por unidades similares às células dos organismos terrestres e que havia uma região da célula limitada por um envoltório, dentro do qual se encontravam estruturas com a mesma organização e função do DNA dos organismos terrestres. Esses indivíduos eram capazes de se locomover por contração e extensão de seus corpos, realizadas por estruturas formadas por células especializadas, e produzir outros indivíduos por meio de um processo que envolvia transferência do material similar ao DNA. Por fim, constatou-se que eles tinham composição química média próxima à dos organismos vivos da Terra: os elementos químicos mais abundantes eram oxigênio, hidrogênio, carbono e nitrogênio, e os elementos-traço (que são necessários em pequenas quantidades) incluíam cloro, cobre, potássio, silício, magnésio, alumínio, ferro e iodo.

Analise as afirmativas a respeito do texto e assinale a alternativa correta.

- a) O grupo de elementos químicos mais abundantes nos organismos encontrados na lua de Saturno difere daquele dos organismos da Terra porque não inclui sódio e potássio, presentes no grupo de elementos químicos mais abundantes nos organismos da Terra.  
 b) O grupo de elementos químicos mais abundantes nos organismos encontrados na lua de Saturno difere daquele dos organismos da Terra porque não inclui fósforo, enxofre e cloro, presentes no grupo de elementos químicos mais abundantes nos organismos da Terra.  
 c) Os organismos encontrados na lua de Saturno compartilham com os organismos terrestres a presença de alguns elementos-traço como cobre, ferro, iodo, potássio e magnésio.  
 d) Os elementos-traço dos organismos encontrados na lua de Saturno diferem dos elementos-traço dos organismos terrestres, pela presença de silício e alumínio, ausentes na composição dos organismos terrestres.  
 e) Os elementos químicos mais abundantes nos organismos terrestres são diferentes de espécie para espécie de seres vivos.

## Glicídios

Os **glicídios** (do grego *glykys*, “doce” e *ideos*, “comum à natureza de”), também chamados açúcares, glícides, glu-cídios, carboidratos ou hidratos de carbono, são a principal fonte de energia para a maior parte dos seres vivos existentes. Além disso, eles desempenham outros importantes papéis nos organismos, principalmente estruturais.

Quimicamente falando, os açúcares são **poli-hidroxialdeídos** ou **poli-hidroxicetonas**, ou seja, eles possuem, simultaneamente, vários grupamentos hidroxila ( $\text{—OH}$ ) e um grupamento aldeído ( $\text{—CHO}$ ) ou cetona ( $\text{—CO}$ ). É possível dividir os açúcares, primeiramente, em duas famílias, dependendo da sua natureza. Quando o açúcar é um aldeído, recebe a denominação de **aldose**, e quando é uma cetona, recebe a denominação de **cetose**. As ligações que acontecem entre os grupamentos hidroxila são altamente energéticas, daí a capacidade desses compostos “armazenarem” energia, visto que eles possuem várias dessas ligações.

Outro aspecto químico dos açúcares é que eles possuem fórmula molecular  $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$ , o que faz com que esses compostos sejam denominados carboidratos ou hidratos de carbono. Pode haver variações nessa fórmula geral, havendo a presença de outros átomos diferentes do carbono, hidrogênio e oxigênio (como nitrogênio ou enxofre) ou havendo um menor número de átomos de oxigênio.

Os carboidratos são classificados em três grupos. Os açúcares simples são chamados de **monossacarídios** e são considerados unidades base para essa classificação. Dessa forma, se entre 2 e 10 monossacarídios estiverem ligados, tem-se os **oligossacarídios**. Se mais de dez unidades se ligarem, tem-se, então, os **polissacarídios**. Frequentemente, os monossacarídios são chamados de **oses**, enquanto os oligo e polissacarídios, **osídeos**.

De modo geral, carboidratos são obtidos por animais na dieta por meio da ingestão de amido, um polissacarídio; de sacarose, um oligossacarídio; e de glicose, um monossacarídio, todos de origem vegetal. Na dieta humana, uma interessante fonte de carboidratos é o mel, que contém glicose pura, sendo considerado, por vezes, como o único alimento energético de origem animal.

## Monossacarídios

Os monossacarídios ou açúcares simples consistem em uma única unidade de poli-hidroxialdeído ou de poli-hidroxicetona. Dessa forma, os monossacarídios não podem sofrer hidrólise e, também, não podem ser quebrados em carboidratos menores. Eles obedecem à fórmula molecular geral descrita anteriormente, sendo que  $x$  (número de átomos de carbono) pode variar de 3 a 7. Assim, a quantidade de átomos de carbono determina o nome genérico do monossacarídio: trioses, tetroses, pentoses, hexoses, heptoses; assim suas fórmulas serão, respectivamente,  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ,  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ,  $\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_7$ . Dentre esses monossacarídios, os mais comuns nos organismos vivos são as pentoses e as hexoses.

Dentro da categoria de pentoses, existem cetoses como a **ribulose** e aldoses como a **ribose** e a **desoxirribose** (esta não

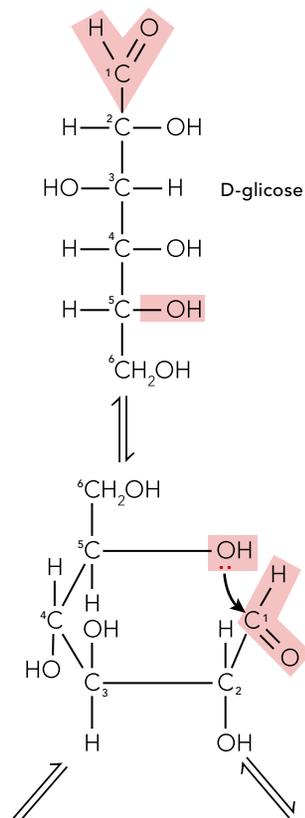
obedece à fórmula geral, possuindo um átomo de oxigênio a menos:  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$ ). A ribulose tem função energética, enquanto a ribose e a desoxirribose constituem os ácidos nucleicos, que, por sua vez, formam, respectivamente, o RNA e o DNA.

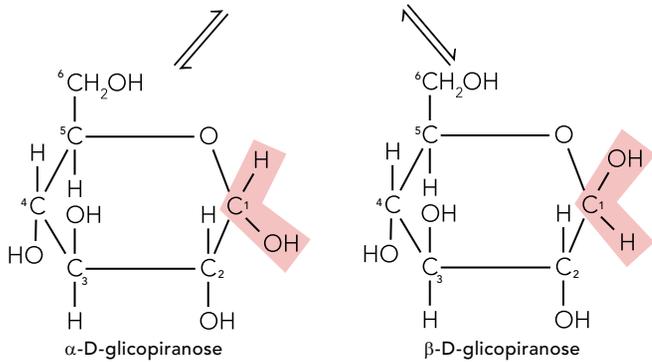
Monossacarídios energéticos como a glicose (aldose), também conhecida como dextrose, a galactose (aldose) e a frutose, ou levulose (cetose), integram o grupo das hexoses.

Todas as hexoses possuem fórmulas químicas idênticas:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Da mesma forma, todas as pentoses (com exceção da desoxirribose) têm fórmula molecular  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ . Assim, a fórmula da frutose é idêntica à da glicose, por exemplo. Aquilo que as difere é a maneira como os átomos se ligam para formar as moléculas.

Todos os monossacarídios com igual número de átomos de carbono são **isômeros**, ou seja, possuem os mesmos átomos, nas mesmas proporções, porém com um arranjo diferente. Dessa maneira, possuem fórmulas moleculares iguais, mas fórmulas estruturais diferentes. Isso os caracteriza como isômeros dentro de cada grupo. Eles podem ser cetonas ou aldeídos ou possuírem diferentes posições dos grupamentos cetonas na molécula, o que permite reconhecer a diferença da glicose (aldeído) para a frutose (cetona), que são isômeros funcionais; ou entre a glicose e a galactose, cuja única diferença é a posição espacial da hidroxila do carbono de número quatro, sendo, pois, isômeros espaciais.

A seguir, a fórmula da glicose. Observe a diferença no formato da molécula de glicose quando ela se encontra em meio aquoso. Depois de sofrer reações químicas intramoleculares, ela assume uma forma cíclica.





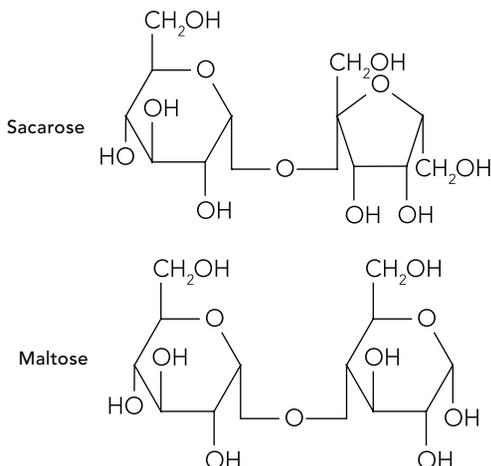
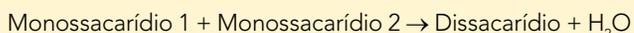
Há vários carbonos assimétricos em uma molécula como a glicose, assim como em outros monossacarídeos. Isto é, há vários centros quirais, como é visto na imagem. Nota-se que a referência para saber se uma molécula está em sua forma D ou L é o último carbono assimétrico, contando a partir do grupo aldeído ou cetona. Ninguém sabe explicar exatamente o porquê, mas, na natureza, os monossacarídeos que compõem os seres vivos são todos D-monossacarídeos.

O termo **piranose**, que caracteriza a molécula de glicose, é usado para descrever sua forma cíclica. Observe a numeração dos átomos de carbono no anel de piranose. O carbono 1 é aquele que, na forma aberta da molécula, corresponde ao grupo aldeído. Quando a glicose assume a forma cíclica (glicopiranose), esse carbono passa a ser também um centro quiral. Para não gerar confusões com as denominações D e L, os **enantiômeros** gerados são chamados **α** e **β**, de acordo com a posição do grupo hidroxila em relação ao anel de piranose. Cada ponto da molécula de glicose, de 1 a 6, é um ponto onde outra molécula pode se ligar por meio de ligações glicosídicas.

Dessa maneira, a glicose em sua forma cíclica pode apresentar duas orientações espaciais, α-D-glicopiranose e β-D-glicopiranose. As diferenças entre as duas formas explicam a diferença entre os polímeros de glicose, como o amido e a celulose. O amido apresenta a glicose em sua forma **α**, enquanto a celulose traz o sacarídeo em sua forma **β**.

### Ligação glicosídica

Dois monossacarídeos podem se ligar por meio de uma **ligação glicosídica**. Essa ligação envolve uma hidroxila de um monossacarídeo e um hidrogênio de hidroxila do outro monossacarídeo. Essa reação forma um dissacarídeo e água:

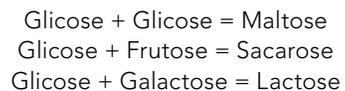


As oses se ligam e formam os osídeos. A sacarose é um osídeo formado pela combinação de uma molécula de glicose com uma de frutose. Já a maltose é formada pela combinação de duas moléculas de glicose. A sacarose e a maltose são dissacarídeos, pois ambas são formadas pela combinação de dois monossacarídeos.

### Oligossacarídeos

Por meio de ligações glicosídicas, os monossacarídeos (entre 2 e 10) formam os **oligossacarídeos**. Os mais importantes são os dissacarídeos, formados por duas unidades de monossacarídeos. Entretanto, também ocorrem trissacarídeos, tetrassacarídeos e até decassacarídeos.

Observe, a seguir, os principais dissacarídeos e como eles se formam.



- **Maltose** – É formada por dois resíduos de glicose e está presente em cereais. A cerveja, por exemplo, é formada da fermentação da glicose, extraída do malte de cereais como a cevada e o trigo.
- **Sacarose** – É formada por um resíduo de glicose e um de frutose. Popularmente conhecida como açúcar de cozinha, é obtida por meio de fontes como a cana-de-açúcar e a beterraba.
- **Lactose** – Encontrada no leite, ela é constituída por um resíduo de glicose e um de galactose.

Além de seu papel energético, os oligossacarídeos desempenham importante papel estrutural em nível celular. A maioria das células dos animais possuem, em seu lado externo, uma camada denominada **glicocálix**. Essa cobertura é formada por oligossacarídeos ligados a proteínas e lipídios.

O glicocálix auxilia na lubrificação e proteção à célula, no reconhecimento entre células, no deslocamento de células que se movem pelo corpo etc. Além disso, é fundamental no processo reprodutório, pois promove o reconhecimento do espermatozoide pelo óvulo.

### Galactosemia

A galactosemia é uma doença metabólica rara, de origem genética, causada pela não produção da enzima galactose-1-fosfato-transferase. A consequência é um defeito no metabolismo da galactose, que não permite que esta seja transformada em glicose, principal fonte de energia do organismo. O acúmulo da galactose ou de seus metabólitos causa danos aos rins, fígado, cérebro e olhos e até a morte, em casos mais graves.

A doença pode se manifestar em recém-nascidos e crianças com a deficiência metabólica assim que a galactose é introduzida na dieta via leite materno, leites em geral, queijos e derivados.

Os sintomas da doença são, normalmente, vômitos, aumento do fígado, pigmentação amarelada da pele, entre outros.

Os danos causados pela galactosemia podem ser menores se a doença for diagnosticada precocemente. Por isso, em muitos centros médicos, a investigação da galactosemia é incluída no chamado "teste do pezinho" (ou triagem neonatal), uma medida simples que pode melhorar o prognóstico da doença.

O tratamento é à base de dieta severa, sem galactose e sem lactose, desde o período neonatal até, na maioria dos casos, o fim da vida do paciente, com monitoramento constante por meio da dosagem do nível de galactose e seus metabólitos nas hemácias.

Com o tratamento severo desde os primeiros estágios, os danos que podem ter ocorrido ao fígado serão sanados, mas os riscos de complicações ovarianas, de linguagem e fala, coordenação motora e aprendizado são altos em longo prazo.

## Intolerância à lactose

A intolerância à lactose é a incapacidade de digerir a lactose, resultado da deficiência ou ausência da enzima intestinal chamada lactase ou  $\beta$ -galactosidase. Essa enzima possibilita a digestão da lactose do leite em glicose e em galactose para a sua melhor absorção.

Há três tipos de intolerância à lactose, decorrentes de diferentes processos. São eles:

- deficiência congênita da enzima;
- diminuição enzimática devido a doenças intestinais;
- deficiência primária ou genética.

O primeiro tipo é um defeito genético muito raro, no qual a criança nasce sem a capacidade de produzir lactase. Como o leite materno possui lactose, a criança é acometida logo após o nascimento.

O segundo tipo é bastante comum em crianças no primeiro ano de vida e ocorre devido à diarreia persistente, pois há morte das células produtoras de lactase da mucosa intestinal. Assim, o indivíduo apresenta uma deficiência temporária de lactase até que essas células sejam repostas.

Estatisticamente, o terceiro tipo é o mais comum na população. À medida que o ser humano envelhece, existe a tendência natural à diminuição da produção da lactase. Esse fato é mais evidente em algumas etnias, como a negra (até 80% dos adultos têm deficiência), e menos comum em outras, como a branca (20% dos adultos). O diagnóstico dessa condição também se dá pelo teste do pezinho.

Por causa dessa deficiência, a lactose não digerida continua dentro do intestino e chega ao intestino grosso, onde é fermentada por bactérias, produzindo ácido láctico e gases (gás carbônico e hidrogênio, usados nos testes de determinação da intolerância à lactose). A presença de lactose e desses compostos nas fezes, no intestino grosso, aumenta a pressão osmótica (retenção de água no intestino), causando diarreia ácida e gasosa, flatulência excessiva (excesso de gases), cólicas, aumento do volume abdominal, náusea e desconforto.

A gravidade dos sintomas depende da quantidade de lactose ingerida e da quantidade que cada pessoa é capaz de tolerar. Em muitos casos, pode ocorrer somente dor e/ou distensão abdominal, sem diarreia. Os sintomas podem levar de alguns minutos até muitas horas para aparecerem devido aos movimentos peristálticos ao longo do sistema digestório. Apesar de as consequências não serem perigosas, elas podem ser bastante desconfortáveis.

## Polissacarídeos

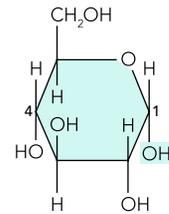
Quando se tem mais de dez unidades de monossacarídeos ligados entre si por meio de ligações glicosídicas, essas estruturas são denominadas polissacarídeos. Os polissacarídeos podem ser formados por milhares de unidades de monossacarídeos e desempenhar várias funções nos seres vivos, como estruturais ou de reserva.

## Polissacarídeos de reserva

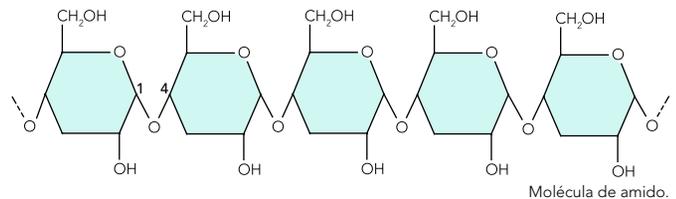
### Amido

O amido é a principal substância de reserva da célula vegetal. Caules tubérculos, como a batata-inglesa, e raízes tuberosas, como a mandioca, apresentam grandes quantidades de amido. Essa substância é formada por mais de 1400 resíduos de glicose, agrupados por ligações  $\alpha$ . Quando a planta precisa de energia, ela quebra o amido em glicose e utiliza essa glicose como combustível nas reações celulares.

Os seres humanos, animais, possuem enzimas chamadas de  $\alpha$ -amilases, adequadas para a digestão desse polissacarídeo. Assim, o amido é a principal fonte de calorías para animais em toda a biosfera.



Glicose em forma  $\alpha$ .



Molécula de amido.

### Glicogênio

O glicogênio é o principal açúcar de reserva em fungos e animais, sendo formado por cerca de 30000 resíduos de glicose ligados na forma  $\alpha$ .

Uma grande vantagem em armazenar amido ou glicogênio ao invés de glicose está no poder osmótico. Considerando que a pressão osmótica é uma propriedade coligativa de soluções e, como tal, depende somente da concentração das partículas, e não de sua natureza química. A junção de milhares de moléculas de glicose para formar amido ou glicogênio implica uma enorme redução na quantidade de partículas dissolvidas e, conseqüentemente, uma redução da pressão osmótica. Assim, uma célula animal, que armazena glicogênio, atrai bem menos água por osmose do que uma célula que armazena quantidade equivalente em glicose. Vale lembrar que amido e glicogênio são insolúveis devido a suas grandes dimensões, uma característica que, por si só, garante o efeito de redução da pressão osmótica, uma vez que moléculas insolúveis não exercem pressão osmótica.

Em animais, o fígado e os músculos estriados acumulam grandes quantidades de glicogênio. Quando há necessidade metabólica, o glicogênio é degradado em glicose pelo processo de **glicogenólise**.

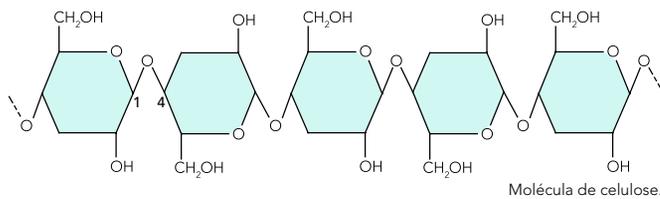
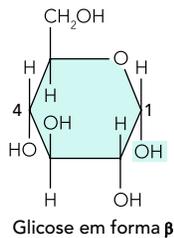
A fome pode ser provocada pela diminuição no teor de glicose no sangue (hipoglicemia). Quando isso ocorre e o indivíduo ingere algum alimento para restabelecer a glicemia, a sensação de fome cessa. Caso o indivíduo não se alimente, o pâncreas libera o hormônio **glucagon**, que ativa a glicogenólise no fígado, quebrando o glicogênio em glicose, que passa para o sangue e normaliza a glicemia.

Em situações de estresse, as glândulas suprarrenais liberam o hormônio **adrenalina**, que também ativa a glicogenólise no fígado, disponibilizando mais glicose no sangue, e, consequentemente, disponibilizando mais energia para lidar com situações de estresse.

## Polissacarídios estruturais

### Celulose

A celulose é a substância orgânica mais abundante na natureza. Estima-se, por exemplo, que algas e plantas terrestres produzam, em conjunto, cerca de 10 milhões de toneladas de celulose diariamente. Ela é uma substância rígida que forma a parede celular de células vegetais, por isso possui alta resistência e, também, boa flexibilidade. É formada por cerca de 10000 resíduos de glicose ligados na forma  $\beta$ .



Nenhum animal possui enzimas celulares capazes de quebrar essas ligações, de modo que nenhum animal é capaz de digerir celulose. É por esse motivo que herbívoros fazem associações mutualísticas com bactérias ou protozoários (gênero *Trichonympha*) produtores de enzimas  $\beta$ -celulases.

Em mamíferos herbívoros ruminantes, como bois e cabras, os micro-organismos são encontrados em uma câmara do estômago denominada rúmen ou pança. Em mamíferos herbívoros não ruminantes, como cavalos, coelhos e gorilas, os micro-organismos são encontrados no intestino, ao nível do apêndice cecal ou vermiforme.

Os seres humanos não possuem associações com tais bactérias, de modo que não conseguem extrair energia das ligações da celulose. No entanto, o fato de os seres humanos e os chimpanzés possuírem um apêndice cecal vestigial e os gorilas possuírem um apêndice cecal funcional sugere que os ancestrais comuns dos primatas eram herbívoros e apresentavam um apêndice cecal desenvolvido e rico em micro-organismos que digerem celulose.

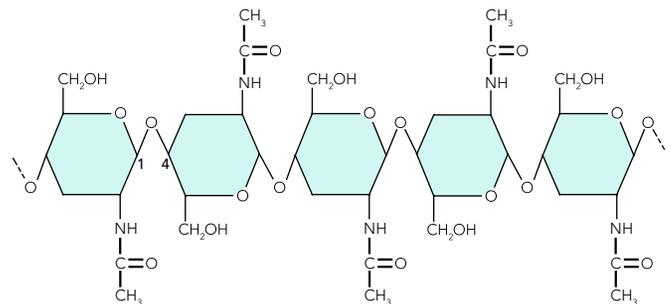
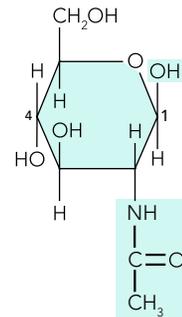
Apesar disso, a celulose faz parte da dieta humana como principal fonte de fibras alimentares. Como não são digeridas, são eliminadas nas fezes, aumentando o volume fecal produzido. Com isso, elimina mais substâncias tóxicas e bactérias do tubo digestivo, diminuindo o risco de doenças bacterianas e até de câncer de intestino. Além disso, parte das gorduras da dieta se mistura às fibras, o que diminui sua absorção e ajuda a reduzir as taxas de colesterol. Isso se explica porque parte da bile é eliminada junto com as fibras nas fezes, forçando o organismo a produzir mais bile, o que consome colesterol (o colesterol é a base para a produção da bile).

Com uma ingestão insuficiente de fibras, a produção de fezes é diminuída, também compromete um estímulo adequado ao peristaltismo. Isso leva a uma retenção dessas fezes,

provocando constipação ou prisão de ventre. Além disso, a bile não é eliminada em grandes quantidades nas fezes, sendo reabsorvida e, assim, exigindo uma menor produção de bile com consequente redução no consumo de colesterol por parte do corpo.

### Quitina

Quitina é um polissacarídeo que faz parte da estrutura corporal de diversos seres como do rostro (coroa de ganchos) da *Taenia solium*, cerdas dos anelídeos, exoesqueleto (carapaças) dos artrópodes e paredes celulares de fungos. Ela é formada por um derivado da glicose, a N-acetilglicosamina. Nos crustáceos, uma classe de artrópodes que inclui a lagosta e o caranguejo, a quitina está unida ao carbonato de cálcio, fornecendo a eles exoesqueletos de grande rigidez e resistência.



N-acetilglicosamina e quitina.

## Diferenças entre os polissacarídios

Dentro de um oligo ou polissacarídeo, as unidades que se formam são chamadas resíduos. Assim, é comum dizer que o glicogênio possui 30000 resíduos de glicose.

Tanto o amido como a celulose são formados apenas por resíduos de glicose. Então, qual a diferença entre eles? Além do número de resíduos de glicose ser diferente, a maneira como as unidades de glicose se unem diferem de polissacarídeo para polissacarídeo.

O amido, por exemplo, é formado por duas cadeias, uma linear, denominada amilose, com as glicoses unidas pelos carbonos 1 e 4; e outra ramificada, denominada amilopectina, com glicoses unidas nos carbonos 1 e 4 e ramificações nas cadeias provocadas por ligações entre os carbonos 1 e 6. Já a celulose é uma molécula linear, na qual as glicoses se ligam pelos seus carbonos 1 e 4. A principal diferença, no entanto, está na orientação espacial das ligações 1  $\rightarrow$  4, chamada de  $\alpha$  no amido e de  $\beta$  na celulose. Como a atividade enzimática é específica na sua atividade, enzimas que quebram uma das ligações não conseguem quebrar a outra, daí a especificidade de  $\alpha$ -amilases e de  $\beta$ -celulases.

O glicogênio é muito semelhante à amilopectina, uma vez que possui resíduos de glicose em sua forma ligados por

ligações 1 → 4, com ramificações em 1 → 6. A diferença é que o glicogênio é mais ramificado, apresentando ramificações em intervalos de 8 a 12 resíduos, e a amilopectina apresenta ramificações em intervalos de 24 a 30 resíduos.

## Açúcares simples e complexos

Os açúcares podem também ser simples ou complexos. Os simples são homo (quando os monossacarídeos são idênticos) ou heteropolímeros (quando os monossacarídeos são distintos) e envolvem apenas resíduos de monossacarídeos. Já os complexos envolvem outros compostos além de monossacarídeos, como grupamentos amina ( $-\text{NH}_2$ ) ou mesmo proteínas ligadas a eles. Veja a seguir exemplos de polissacarídeos complexos.

## Glicosaminoglicanas

Os açúcares que se apresentam ligados a grupamentos amina são denominados glicosaminoglicanas ou mucopolissacarídeos. A quitina, por exemplo, é formada por vários resíduos de N-acetilglicosamina, que é uma forma de glicose ligada à amina. Outros exemplos são a heparina, que é um potente inibidor da coagulação sanguínea, ajudando a prevenir a formação de coágulos no sangue circulante; e o ácido hialurônico, fundamental para os tecidos conjuntivos, atuando como um agente cimentante das células tissulares. Além disso, muitas glicosaminoglicanas agem também como lubrificantes nas articulações.

## Ácido condroitinossulfúrico

O ácido condroitinossulfúrico é um polissacarídeo complexo, que possui enxofre proveniente de ácido sulfúrico. Juntamente com o ácido hialurônico, desempenha papel de cimentante celular em tecidos conjuntivos, especialmente no tecido cartilaginoso.

## Glicolipídios

Os glicolipídios ligam-se externamente à membrana celular juntamente com outras substâncias, como os fosfolipídios e o colesterol. Os glicolipídios são oligossacarídeos que auxiliam na proteção da membrana em situações desfavoráveis como pH baixo.

## Glicoproteínas

As glicoproteínas são proteínas que se ligam covalentemente a carboidratos, que podem ser monossacarídeos ou oligossacarídeos. A porção glicídica dessas proteínas varia, podendo ser entre 1 e 30% da massa da proteína. Em conjunto com outras substâncias, as glicoproteínas formam o glicocálix e contribuem para o reconhecimento celular. Quando não fazem parte da membrana celular, as glicoproteínas compõem a estrutura de enzimas, proteínas, hormônios, anticorpos etc.

## Proteoglicanas

As proteoglicanas são estruturas formadas por polissacarídeos unidos a proteínas. A diferença entre as proteoglicanas e as glicoproteínas é que, nesse caso, a parte glicídica corresponde, aproximadamente, a 95% da molécula. As proteoglicanas são normalmente formadas por glicosaminoglicanas. O ácido hialurônico, uma glicosaminoglicana, é, normalmente, encontrado na matéria fundamental de tecidos conjuntivos ligado a proteínas, formando proteoglicanas. Elas são uns

dos mais importantes componentes dos tecidos conjuntivos e estão presentes em cartilagens, nos tendões, na pele e no líquido sinovial (que lubrifica as articulações).

## Lipídios

Do grego *lipos*, "gordura", e *ideos*, "comum à natureza de", os lipídios formam um grupo de compostos caracterizados por serem substâncias orgânicas oleosas ou gordurosas, insolúveis em água, porém, solúveis em líquidos orgânicos como clorofórmio e acetona.

Os lipídios não possuem uma identidade química definida, mas apresentam o predomínio de longas cadeias hidrocarbonadas ou de anéis benzênicos. Essas estruturas, das quais os lipídios derivam, possuem, exclusivamente, átomos de carbono e hidrogênio e são, portanto, compostos apolares. Exatamente por isso é que tais compostos são insolúveis em água. Lembre-se de que semelhante dissolve semelhante; portanto, a água, um composto polar, não dissolverá um apolar, como o lipídio.

A maioria dos lipídios possuem os chamados **ácidos graxos** como unidades fundamentais. Os ácidos graxos são ácidos orgânicos de cadeia longa, possuindo de 4 a 36 átomos de carbono em cadeias lineares abertas. O ácido graxo só pode ter um número par de carbonos, pois ele é sintetizado de dois em dois carbonos, por meio da adição de grupos acetil. Assim, eles possuem um único grupo carboxila ( $-\text{COOH}$ ), que lhes confere a característica ácida, além de uma cadeia hidrocarbonada apolar. Como a parte hidrocarbonada é bastante extensa, se comparada ao grupamento ácido, a seção apolar prevalece na molécula de ácido graxo, apresentando características predominantemente apolares.

A parte hidrocarbonada do ácido graxo é frequentemente conhecida como hidrofóbica, por não apresentar afinidade com a água. Já a parte carboxila é chamada hidrofílica, por ser polar e apresentar afinidade com a água. Quando um composto é simultaneamente apolar e polar, como esses ácidos graxos, eles são denominados **anfipáticos**.

## Ácidos graxos essenciais

Alguns ácidos graxos não podem ser produzidos pelo corpo humano e são chamados **ácidos graxos essenciais**. Essas substâncias devem, então, ser obtidas a partir da alimentação. Eles pertencem a duas famílias, denominadas **ômega 6** e **ômega 3**.

Os ômega 6 são encontrados em óleos vegetais, como de milho, de canola, de girassol e de soja. A seguir, estão listados os principais ácidos ômega 6.

- ▶ **Ácido linoleico** – Essencial ao bom funcionamento dos capilares sanguíneos, proporcionando resistência e permeabilidade.
- ▶ **Ácido araquidônico** – Essencial para a estrutura da membrana plasmática e precursor das prostaglandinas, importantes mediadoras durante o processo inflamatório.

Os ácidos ômega 3 ajudam a reduzir os altos níveis de colesterol e triglicerídeos no sangue, bem como possuem ação anti-inflamatória.

- ▶ **Ácido linolênico** – Encontrado em fontes vegetais como óleos de soja e de canola.
- ▶ **Ácido eicosapentanoico (EPA) e ácido deicosahexanoico (DHA)** – Encontrados principalmente em óleos de peixes marinhos, especialmente aqueles de águas mais frias, como salmão, sardinha, cavala e truta.

O **ácido araquidônico**, em particular, tem grande importância no processo inflamatório. Diante de lesões celulares, a consequente ruptura da membrana plasmática acarreta a liberação de fosfolípidios da membrana. Esses, devido à ação da enzima fosfolipase, são degradados, liberando ácidos graxos como o ácido araquidônico.

Esse ácido, por sua vez, devido à ação da enzima ciclo-oxigenase (Cox), é, então, convertido em substâncias como as **prostaglandinas**, principais mediadores químicos da inflamação. A prostaglandinas desencadeiam a vasodilatação e o aumento da permeabilidade dos capilares, provocando edema, febre e dor.

A maioria dos medicamentos anti-inflamatórios (analgésicos e antitérmicos), como ácido acetilsalicílico ou AAS (Aspirina®), paracetamol (Tylenol®), dipirona (Novalgina®) e diclofenacos (Cataflam®, Voltarem®), agem pela inibição da enzima ciclo-oxigenase, que leva à produção das prostaglandinas. Sem prostaglandinas, o processo inflamatório e os seus sintomas são suprimidos.



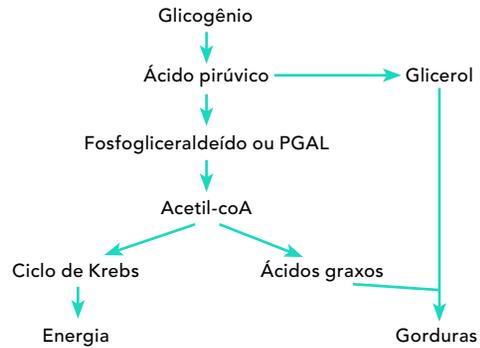
## Relação entre açúcares e gorduras

Os combustíveis das células propriamente ditos são os carboidratos (açúcares), cujo valor calórico médio é de 4,1 kcal/g. Quando em excesso, carboidratos são armazenados no organismo como glicogênio. Apenas 400 gramas de carboidratos, aproximadamente, são armazenados no organismo humano como glicogênio. Além dessa quantidade, o excesso de carboidratos é convertido e armazenado na forma de lipídio (gordura). Por que não armazenar o excesso na forma de carboidrato?

A resposta é simples: o valor calórico médio dos lipídios é de 9,3 kcal/g. Desse modo, os lipídios são muito mais leves que os carboidratos para uma mesma quantidade de energia armazenada. Se toda a energia que o corpo humano armazena na forma de lipídio fosse armazenada na forma de carboidrato, o peso de cada um seria muito maior, dificultando os movimentos e a locomoção, o que para animais representaria uma maior dificuldade na busca por alimento.

Outra justificativa para a economia de peso ao armazenar-se lipídios ao invés de carboidratos está no fato de que lipídios são apolares e não precisam carregar a água de solvatação, como ocorre com os carboidratos. Amido e glicogênio, por exemplo, devido aos grupos —OH abundantes, acabam atraindo moléculas de água, que contribuem para um peso extra. Devido à água de solvatação, o glicogênio teria massa cerca de seis vezes maior que a gordura.

A conversão do excesso de carboidratos da dieta em lipídios começa com a quebra dos carboidratos mais complexos em glicose, que começa a ser consumida no mecanismo de glicólise durante a respiração celular. Em excesso, moléculas de acetil-coA são convertidas em compostos denominados ácidos graxos, que, juntando-se ao glicerol, formam gorduras. Essa substância é a principal reserva de energia para a maioria dos animais, inclusive para os seres humanos, visto que representa 20% de sua massa corporal.



## Obesidade e IMC

Diante do aumento da incidência de obesidade em todo o mundo, especialistas propuseram um sistema de classificação para avaliar essa condição em pessoas adultas. Para isso, desenvolveram o índice de massa corporal (IMC), que é obtido com base a partir da divisão da massa do indivíduo (em quilogramas) pela altura ao quadrado (em metros).

$$IMC = \frac{\text{massa}}{(\text{altura})^2}$$

Nesse sistema, os indivíduos são classificados de acordo com a tabela a seguir.

Classificação	IMC	Risco de doenças associadas
Magro	< 18,5	Baixo
Normal	De 18,5 a 24,9	Médio
Pré-obeso	De 25 a 29,9	Aumentado
Obeso classe I	De 30 a 34,9	Bem aumentado
Obeso classe II	De 35 a 39,9	Severo
Obeso classe III	≥ 40,0	Muito severo

A variação na proporção de músculo e gordura pode gerar desvios no cálculo do IMC. Um halterofilista, por exemplo, provavelmente, estará com um IMC acima de valores normais e nem por isso estará obeso. Entretanto, como ferramenta epidemiológica, para analisar a obesidade dentro de uma população, o IMC é bastante útil.

Para se informar melhor sobre o teor de gordura corporal, valores mais precisos, acompanhamento, necessidade de exercícios, deve-se procurar um profissional de educação física ou, então, da saúde, como um nutricionista.

## Efeito da insulina sobre a produção de gordura

A insulina é o principal fator que estimula a produção de gordura no organismo. Sua liberação está condicionada à elevação nos níveis de glicose no sangue. Quanto mais um alimento estimula o aumento no teor de glicose no sangue (índice glicêmico), mais a liberação de insulina é estimulada e, consequentemente, mais gordura é acumulada.

Assim, apesar de igualmente calóricos, quantidades iguais de amido e de açúcar não promovem o mesmo acúmulo de gordura. Como o amido é formado apenas por glicose, ele eleva

mais o índice glicêmico. O açúcar (sacarose), por outro lado, é formado por glicose e frutose, sendo que a frutose não tem o mesmo efeito que a glicose sobre a liberação de insulina. Assim, uma determinada quantidade de amido leva a um maior acúmulo de gordura do que uma quantidade equivalente de açúcar.

## Funções dos lipídios

Os lipídios desempenham diversas e importantes funções nos organismos dos seres vivos. Uma das mais significativas é constituir as membranas plasmáticas das células por meio da presença de fosfolipídios e do colesterol.

Os lipídios, além da sua função estrutural, atuam como isolantes térmicos para animais que habitam regiões polares. Eles devem acumular grandes quantidades de gordura (lipídios) para se protegerem das baixas temperaturas. Os lipídios também isolam os neurônios eletricamente por meio da bainha de mielina. Essa estrutura é composta por um tipo de lipídio de cor branca denominado esfingomielina, revestindo os axônios, tanto do sistema nervoso central como do periférico. Esse isolamento elétrico promove uma condução mais eficiente dos impulsos nervosos.

A função hormonal expande, ainda mais, a versatilidade dessas substâncias por meio da atuação dos hormônios esteroides. Além disso, os lipídios apresentam uma função impermeabilizante, como nas ceras da cutículas das folhas e no produto das glândulas uropígeas, nas aves, e das glândulas sebáceas, em mamíferos.

Entretanto, a principal função dos lipídios é a de reserva energética, como será visto mais detalhadamente a seguir.

## Reserva energética

Lipídios, juntamente com os carboidratos, formam o grupo dos **alimentos energéticos**. E as proteínas, apesar de serem primordialmente de função estrutural, em algumas situações, podem, também, ser utilizadas como fonte de energia.

**Tome nota**

É muito comum referir-se ao valor energético dos alimentos pela quantidade de calorias de energia (kcal) que ele pode liberar. Assim, em números aproximados, os carboidratos e as proteínas liberam 4,1 kcal por grama e os lipídios liberam 9,3 kcal por grama.

Lipídios são altamente reduzidos, ou seja, disponibilizam mais energia por apresentarem mais elétrons a serem liberados nos processos oxidativos, como a cadeia transportadora de elétrons da respiração aeróbia. De modo simplificado, pode-se argumentar que os ácidos graxos, por serem formados por acetyl-coA, fornecem mais acetyl-coA que a glicose. Com mais moléculas de acetyl-coA no ciclo de Krebs, mais elétrons são liberados para a produção de energia na cadeia respiratória.

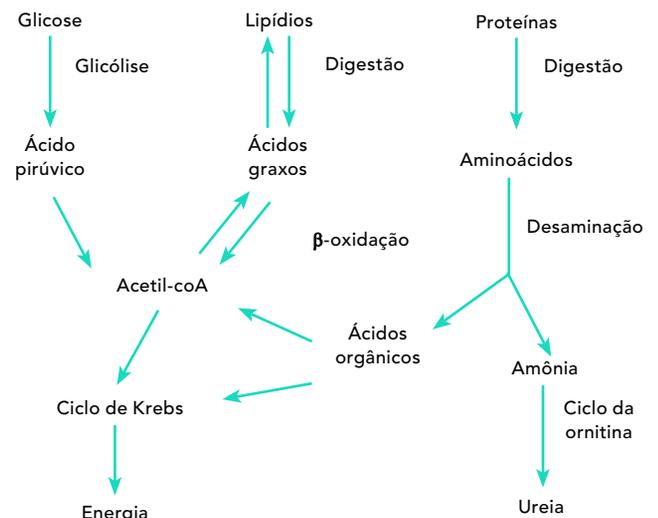
Por mais que o lipídio libere mais energia, é o carboidrato, principalmente na forma de glicose, o combustível mais utilizado pelas células do corpo por meio da respiração celular. Os demais nutrientes são usados em último caso, quando as reservas de açúcar estão muito baixas. Por isso é difícil perder aquele excesso de peso, pois, enquanto há carboidrato, os lipídios não são consumidos, permanecendo armazenados.

Assim, primeiro utiliza-se os carboidratos; a glicose e o glicogênio são reservas suficientes para manter o organismo vivo por até 24 horas sem alimento. Eles são consumidos primeiro porque todo o mecanismo de produção de energia (respiração celular) é baseado na glicólise. Depois, os lipídios são consumidos, uma vez que eles são a reserva energética de longo prazo para um animal. Eles são suficientes para manter o organismo vivo por algumas semanas e mesmo por, aproximadamente, dois meses. E, por último, as proteínas são utilizadas como fonte de energia. As proteínas são consumidas somente em último caso, em casos de fome extrema, uma vez que são removidas de estruturas corporais como pele e músculos. No caso do uso de proteínas musculares, as células musculares morrem, e como não podem ser regeneradas, esse processo causa uma perda irreversível.

Entretanto, para a utilização de lipídios e proteínas como fonte de energia, primeiro é necessário convertê-los em carboidratos ou derivados de carboidratos. Somente assim poderão ser utilizados pelas vias metabólicas de respiração celular. Esse processo de conversão é denominado **gliconeogênese** e ocorre no fígado do animal, sob o estímulo de hormônios como o cortisol, a cortisona e a somatotropina (hormônio do crescimento).

A quebra de lipídios na gliconeogênese é denominada de **β-oxidação**, e em células animais, ocorre em organelas citoplasmáticas denominadas **peroxissomos**, com liberação de água oxigenada (peróxido de hidrogênio, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como subproduto.

Quando os lipídios de reserva são metabolizados, há a produção de acetyl-coA. Como o acetyl-coA não pode ser carregado no sangue, ele é transportado para os demais tecidos pelo sangue na forma de substâncias denominadas **corpos cetônicos**. Essas substâncias são o ácido acetoacético, resultante da fusão de duas moléculas de acetyl-coA, o ácido hidroxibutírico e a acetona. Ao chegar aos tecidos de destino, eles são reconvertidos em acetyl-coA e podem, então, ser metabolizados para a produção de energia.



	Carboidratos	Lipídios	Proteínas
<b>Valor calórico</b>	4,1 kcal/g	9,3 kcal/g	4,1 kcal/g
<b>Sequência de utilização</b>	1ª	2ª	3ª

Esquema de absorção de energia e produção de excretas a partir de glicose, lipídios e proteínas.

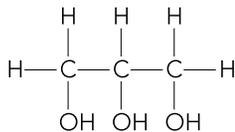
## Classificação dos lipídios

Os lipídios podem ser divididos em vários grupos, sendo os glicerídios, os cerídeos, os carotenoides e os esteroides os mais importantes.

### Glicerídios

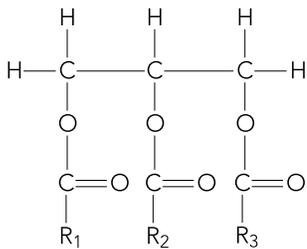
Os glicerídios são os componentes principais de armazenamento ou depósito de gorduras nas células de plantas e animais. São encontrados em abundância nos vegetais, principalmente na forma de óleos (como o de soja, milho, amendoim etc.) e nos animais, principalmente como gorduras (desempenhando função de reserva energética ou como isolante elétrico e térmico). O tecido adiposo dos animais é constituído, principalmente, por gorduras que ocupam grandes espaços no interior das células adiposas. A pele de alguns animais possui uma camada chamada hipoderme, que se situa por baixo da derme, e acumula gordura para desempenho das funções descritas anteriormente.

Os **glicerídios** (também chamados **gorduras neutras** ou **triglicerídios**) são ésteres de três ácidos graxos com o **glicerol**, um triálcool. Ésteres são moléculas resultantes da reação entre ácidos orgânicos (graxos) e alcoóis (glicerol). Como o glicerol possui três grupamentos hidroxila, ele é considerado um triálcool e reage com três ácidos graxos para formar os glicerídios. Esses ácidos graxos podem ser iguais entre si ou diferentes.



Estrutura de glicerol. Observe as três hidroxilas que fazem dele um triálcool.

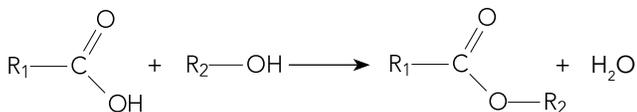
Apesar das suas funções benéficas para o corpo, o consumo de glicerídios deve ser moderado. Uma dieta na qual predomine a ingestão de alimentos gordurosos pode causar diversos problemas à saúde. Os lipídios em excesso se depositam nas artérias, contribuindo para um maior risco de doenças cardiovasculares, infartos e AVCs (acidentes vasculares cerebrais).



Estrutura geral dos triglicerídios, na qual R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub> são as caudas hidrocarbonadas dos três ácidos graxos.

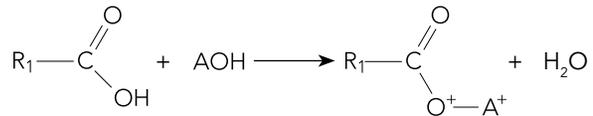
### Ligação éster

Ésteres são compostos originários da reação entre um ácido orgânico (carboxílico, como o ácido graxo) e um álcool, como é possível perceber no esquema a seguir.



O glicerol, por ser um triálcool (possui três hidroxilas), realiza três ligações éster simultâneas com três ácidos graxos para formar os glicerídios.

Uma reação derivada desta é a reação entre um ácido orgânico e uma base inorgânica, em que A representa um íon positivo, como o Na<sup>+</sup>.



Essa reação entre ácido orgânico e base inorgânica, quando o ácido é um ácido graxo, conduz à formação de sabões, sais de ácidos graxos.

### Rancificação

Quando deixados em contato com o ar, muitos triglicerídios ficam rançosos, isto é, eles desenvolvem sabor e odor desagradáveis. Duas reações químicas são responsáveis por essa mudança: hidrólise das ligações éster produzindo ácidos graxos livres, muitos dos quais têm cheiro forte; e oxidação das ligações duplas dos insaturados, formando aldeídos e ácidos carboxílicos de cadeia curta, que também têm cheiro forte. Por terem cadeia menor e serem, portanto, mais voláteis, os aldeídos e ácidos graxos gerados conferem a tais triglicerídios cheiro e sabor desagradável.

### Cerídeos

Cerídeos são ésteres de um ácido graxo com um monoálcool de cadeia longa, representados pelas ceras. Em vegetais, a cutícula das folhas é constituída de ceras para reduzir a perda de água. Em mamíferos, as ceras são secretadas pelas glândulas sebáceas da pele e atuam como capa protetora, mantendo a pele flexível, lubrificada e impermeável. Além disso, o cabelo e os pelos dos animais são cobertos também por ceras. Abelhas constroem suas colmeias utilizando ceras produzidas por elas mesmas. Os pássaros, por sua vez, secretam ceras por meio de estruturas denominadas glândulas uropígeas, com o objetivo de impermeabilizar suas penas.

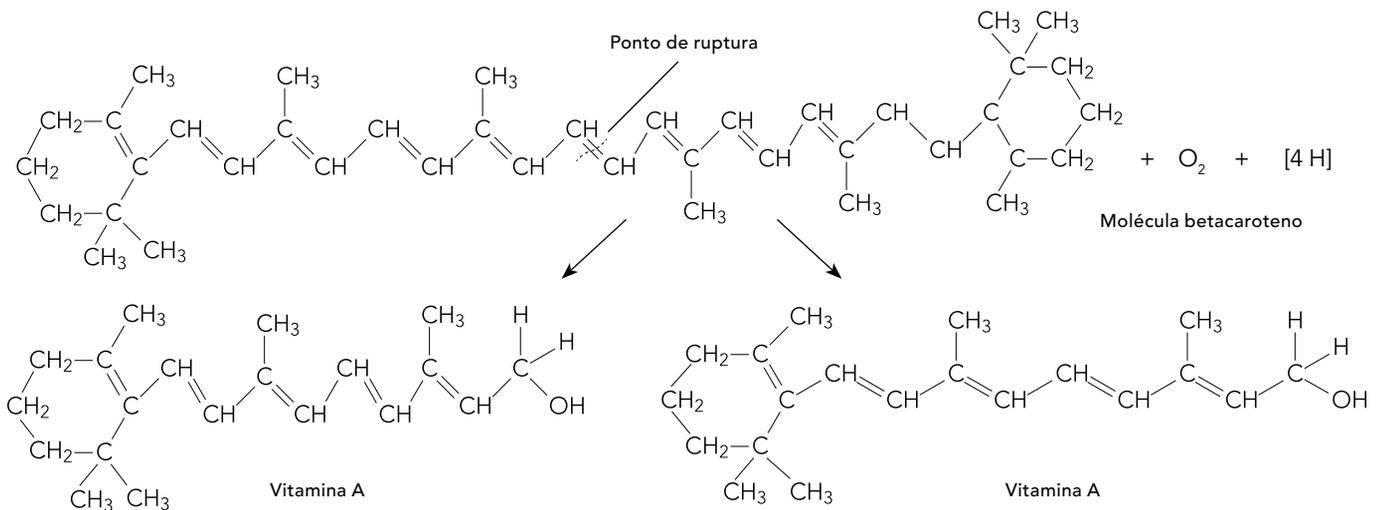
Substâncias como o petróleo e detergentes levam à remoção da camada de cera impermeabilizante das penas de aves aquáticas, o que, por sua vez, leva ao encharcamento das aves e morte por afogamento. Isso ocorre porque o petróleo reduz a tensão superficial da água. Além disso, a cera funciona como um isolante térmico. Caso ocorra a perda dessa camada de cera, uma desregulação térmica pode provocar a morte por hipotermia.

### Carotenoides

Carotenoides são lipídios derivados de hidrocarbonetos com pigmentação amarela, laranja ou vermelha, encontrados em vegetais como batata-inglesa, cenoura e beterraba. Como exemplo, existem a vitamina A e a clorofila, que deve a sua cor verde à presença de magnésio em sua composição.

A vitamina A é um álcool lipossolúvel resistente ao calor, porém facilmente destruído por oxidação. O álcool, também chamado **retinol** (ou **axeroftol**), é encontrado em grande extensão na natureza na forma de seus precursores: as provitaminas carotenoides **α**, **β** e **δ caroteno**, das quais a mais comum é o β-caroteno.

A vitamina A forma-se no corpo do ser humano ou do peixe a partir de tais precursores, após um processo de hidrólise. No caso mais comum, ou seja, do β-caroteno, a clivagem acontece em um ponto de ruptura que confere simetria à molécula, originando, a partir de um hidrocarboneto, dois alcoóis idênticos, isto é, duas moléculas de retinol. Observe a reação de hidrólise da molécula de β-caroteno a seguir.



Hidrólise da molécula de betacaroteno em duas moléculas de vitamina A.

A vitamina A desempenha importante papel no sentido da visão. É encontrada na retina normal em associação com proteínas específicas, sob a forma de pigmentos visuais, nos dois sistemas fotorreceptores: os bastonetes e os cones. Os bastonetes são particularmente sensíveis à luz de baixa intensidade e os cones percebem cores e luz de alta intensidade. O retinol atua basicamente nos processos ocorridos nos bastonetes.

## Esteroides

Os esteroides são lipídios bem diferentes dos glicerídios e das ceras, apresentando moléculas complexas, com quatro anéis carbônicos fundidos e um grupamento álcool (de cadeia fechada, chamados esteróis, originando o termo **esteróide**).

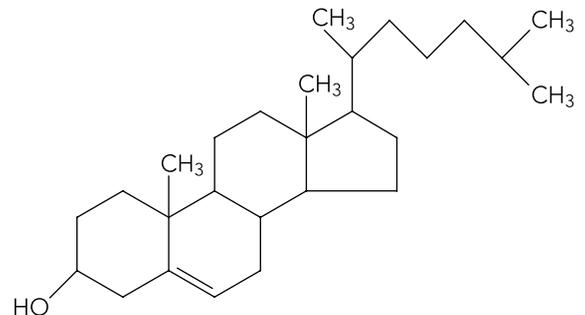
O colesterol é o esteroide mais conhecido. Junto aos fosfolipídios, são lipídios fundamentais na composição da membrana plasmática de animais, porém não estão presentes nas membranas vegetais e bacterianas. O colesterol é um componente estabilizador importante dessa estrutura celular. Em outras células eucarióticas, há outros esteroides desempenhando essa função estabilizadora na membrana. Já nas células procarióticas, não há esteroides na membrana plasmática.

A partir do colesterol, formam-se vários lipídios importantes, os quais possuem, principalmente, função hormonal. São exemplos os hormônios sexuais masculino (testosterona) e feminino (progesterona e estrógeno), os hormônios corticoides (aldosterona e cortisol) e a vitamina D (que quando metabolizada no organismo tem atividade hormonal também).

No fígado, o colesterol pode ser convertido em ácido cólico, e a partir daí em sais biliares (colatos), enviados para a vesícula biliar, de onde é eliminado para a emulsificação de gorduras no intestino, e depois é eliminado junto às fezes.

Observe ao lado os quatro anéis ligados a um grupamento álcool na molécula de colesterol.

Cerca de 90% do colesterol é **endógeno**, tendo origem no fígado, principalmente, mas também em outros órgãos, como no intestino. No fígado, os ácidos graxos são quebrados em acetil-coA, usado para constituir os anéis que formam o colesterol. Aproximadamente 10% do colesterol é exógeno, sendo obtido na dieta apenas a partir de fontes animais, pois não há colesterol em alimentos de origem vegetal.



## Lipídios simples × lipídios complexos

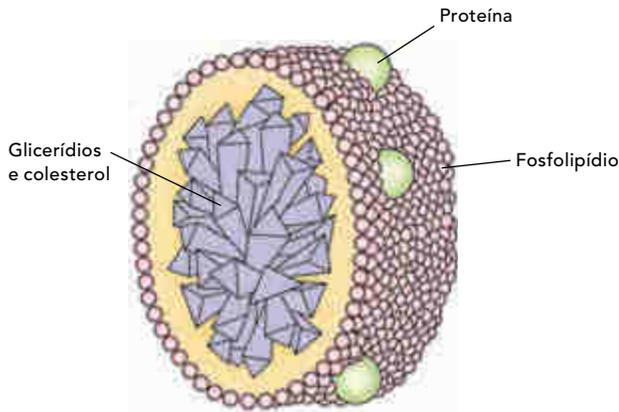
Os lipídios podem ser classificados como simples ou complexos. Essa classificação leva em conta os átomos que compõem cada lipídio. Por exemplo, são denominados simples os lipídios que são formados por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio.

Por outro lado, os lipídios complexos possuem outros átomos além dos citados anteriormente. Sua composição pode apresentar elementos como nitrogênio, fósforo ou enxofre. A esfingomiéline, por exemplo, que reveste os axônios das células nervosas, é um lipídio complexo, pois apresenta fósforo.

## Lipoproteínas

Outros lipídios complexos de grande importância são as lipoproteínas. Elas possuem cerca de 50% a 90% de lipídios em sua composição, e estão associadas a proteínas. Agem, principalmente, no plasma sanguíneo, auxiliando no transporte de lipídios no sangue.

As lipoproteínas se dividem em três tipos. A **VLDL** (lipoproteína de densidade muito baixa), a **LDL** (lipoproteína de densidade baixa) e a **HDL** (lipoproteína de densidade alta). Essas substâncias são popularmente conhecidas como colesterol ruim (baixa densidade) e bom (alta densidade). Porém, essa denominação é equivocada, pois não se trata de colesterol, mas sim de lipoproteínas que transportam lipídios, inclusive o colesterol.



Representação esquemática da estrutura básica de uma molécula de lipoproteína.

Elas atuam no transporte desses lipídios, provenientes da digestão no intestino, para os diversos tecidos corporais. Os lipídios são transportados na forma de lipoproteínas, pois o sangue é formado principalmente por água, e os lipídios são insolúveis em meio aquoso. Assim, a proteína permanece em contato com a água e envolve os lipídios, permitindo seu transporte.

A VLDL e a LDL, comumente conhecidas como colesterol ruim, se formam em indivíduos com uma dieta rica em gorduras. A função dessa lipoproteína é transportar o colesterol do fígado aos vários tecidos corporais, contudo pode se oxidar e se acumular na parede dos vasos sanguíneos, formando ateromas.

Por outro lado, a HDL (“colesterol bom”) não se acumula nos vasos e transporta o colesterol diretamente aos órgãos encarregados de seu metabolismo, como o fígado. Esse órgão armazena o colesterol e o utiliza na síntese de sais biliares, eliminando sob a forma de bile. Como transporta colesterol até o fígado, ele auxilia na remoção de placas de ateromas que já foram estabelecidas.

Diante de reações inflamatórias nas paredes dos vasos sanguíneos, como as reações causadas pelo aminoácido tóxico homocisteína, o edema leva à ruptura da camada interna do vaso sanguíneo (endotélio). Desse modo, as lipoproteínas de baixa densidade (VLDL e LDL) se infiltram na camada média muscular, sendo fagocitadas por macrófagos. Ao acumular colesterol, os macrófagos passam a constituir células espumosas. Essas se acumulam formando placas de colesterol, constituindo os ateromas.

A ocorrência de ateromas caracteriza o quadro de aterosclerose, gerando uma diminuição na luz do vaso e, conseqüente, hipertensão. Um aumento de pressão arterial pode destacar os ateromas, que se deslocam e promovem a obstrução de vasos de menor calibre, causando uma embolia (obstrução de vaso sanguíneo). A região da qual o ateroma se **destacou** é lesionada, o que pode levar à coagulação sanguínea na região, de modo a causar uma trombose (obstrução de vaso sanguíneo por um coágulo). A alta pressão arterial também pode levar a ruptura de vasos, podendo causar derramamento de sangue nos tecidos. Tanto nos casos de entupimento como nos casos de ruptura, o fluxo de sangue para algum tecido é interrompido, levando a quadros de isquemia (deficiência de sangue em um tecido) e conseqüente hipóxia (deficiência de oxigênio em um tecido). A hipóxia prolongada em algumas áreas pode ser fatal. Por exemplo, se vasos como os do miocárdio forem afetados, poderá ocorrer hipóxia e parte do músculo cardíaco morre, provocando um infarto. Se forem afetados vasos no cérebro, haverá um acidente vascular cerebral (AVC ou derrame).



Observe a evolução do quadro de aterosclerose desde os primeiros estágios de acúmulo de ateromas até a formação de coágulos que obstruem a artéria.

Como dito anteriormente, o colesterol se combina no fígado com proteínas formando as lipoproteínas de colesterol (HDL, LDL e VLDL). Contudo, de acordo com o tipo de ácidos graxos na gordura, um tipo diferente de lipoproteína pode ser formado.

- ▶ **Gorduras saturadas** – De origem animal, são encontradas em carnes e manteiga e estimulam a produção de colesterol ruim. As gorduras trans são originalmente insaturadas (óleos vegetais), recebendo hidrogênios a mais para torná-las mais consistentes, como ocorre na margarina, além de serem altamente prejudiciais à saúde.
- ▶ **Óleos poli-insaturados** – São encontrados em óleos de peixe e comumente adicionados em margarinas e leites na forma de ômega 6 e ômega 3, além de diminuírem a produção tanto de colesterol ruim como de colesterol bom.
- ▶ **Óleos monoinsaturados** – Encontrados no azeite de oliva, nas nozes e nas castanhas, esses óleos diminuem as taxas de colesterol ruim e aumentam as taxas de colesterol bom.

**Tome nota**

- Os teores de lipídios no sangue humano de um adulto jovem devem ser de, aproximadamente,
- colesterol total: abaixo de 200 mg/L.
  - colesterol ruim: abaixo de 130 mg/L.
  - colesterol bom: acima de 35 mg/L.
  - triglicerídios: abaixo de 200 mg/L.

Além de todos os tipos de lipoproteínas que já foram estudados, ainda é possível incluir o **quilomícron**. Essa estrutura também é uma lipoproteína de transporte no sangue, maior que as outras já mencionadas. É constituída por uma gotícula de glicéridos envolta por uma película de proteína. Sua função é transportar as gorduras derivadas da alimentação pelo sangue e pela linfa.

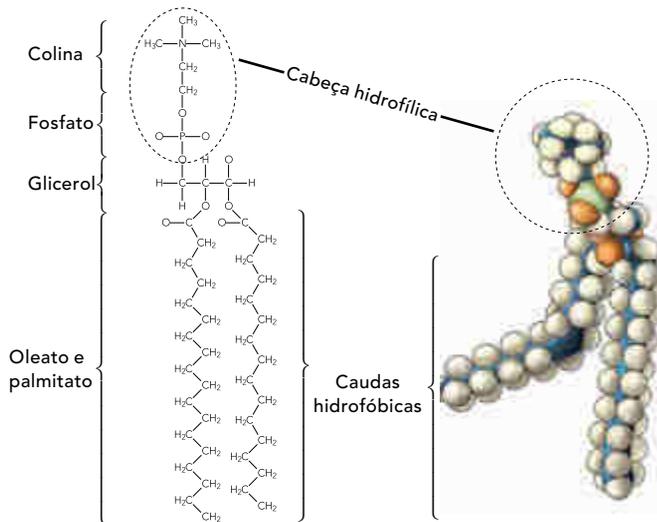
**Fosfolipídios**

Os principais lipídios complexos são os fosfolipídios, formados a partir de glicéridos e fosfato. Também chamados de lipídios polares, os fosfolipídios têm como composto ancestral o ácido fosfatídico. Ele é resultante da reação entre o glicerol, o ácido fosfórico e dois ácidos graxos, por meio de ligações ésteres.

As membranas celulares são formadas por duas camadas de fosfolipídios.

Os fosfolipídios são moléculas anfipáticas e lembram o formato de um palito de fósforo. A parte apolar corresponde às cadeias derivadas dos ácidos graxos, frequentemente conhecida como **cauda hidrofóbica** da molécula. E a parte

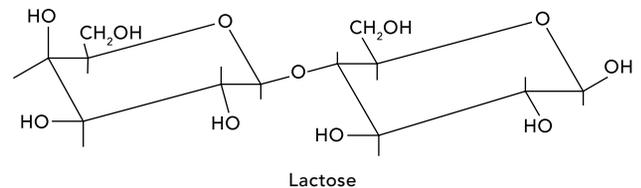
polar corresponde ao fosfato ligado ao álcool, ou **cabeça hidrofílica**. Essa dupla polaridade da molécula fosfolipídica possibilita sua ligação tanto a moléculas de água quanto a de glicerídeos. Por essas características, os fosfolípidios são os principais componentes das membranas celulares.



À direita, pode-se observar o formato de um fosfolípido: a cabeça hidrofílica, parte polar, e as duas caudas hidrofóbicas, parte apolar. O fosfolípido representado é o palmítoil-fosfatidilcolina. Observe que a dupla ligação no ácido oleico produz uma torção na cadeia hidrocarbonada.

para perder peso e ter mais saúde. O glúten é uma mistura de proteínas complexas de difícil digestão, existente no interior dos cereais, trigo, aveia, cevada e centeio. Em determinados indivíduos, a ingestão causa desconforto, reações, como má digestão, "queimação" e gases, confirmados por testes de sangue pela presença de anticorpos, como a imunoglobulina A.

A gliadina, uma de suas proteínas, atravessa a parede intestinal e, ao se misturar à corrente sanguínea, deflagra reações inflamatórias. A não ingestão reduziria os riscos para doenças autoimunes, a diabetes tipo 1, artrite reumatoide, associadas à inflamação, como as cardiovasculares, segundo especialistas. Ao lado da moda glúten free surgiu a dieta sem lactose, o açúcar do leite, portanto baseada na ingestão de produtos sem a substância química. A lactose também gera intolerância em muitos indivíduos, é responsável por sintomas desconfortáveis, como diarreia, inchaço e dor abdominal. O alimento é metabolizado no organismo pela enzima lactase, produzida por células que ficam na superfície do intestino delgado, porém, com o passar dos anos, a produção da enzima diminui e reduz a clivagem da substância química, fazendo surgir os sintomas de intolerância.



Associando-se a intolerância da lactose e os efeitos no organismo com a estrutura química e algumas propriedades do glicídio, é correto afirmar que

- a intolerância à lactose é uma reação natural do organismo para reduzir a obesidade.
- a molécula de lactose absorve água em razão da formação de ligações de hidrogênio, promovendo a retenção de líquido no intestino delgado.
- as enzimas digestivas diminuem a velocidade das reações químicas envolvidas no metabolismo do organismo.
- a lactase transforma a lactose em moléculas de glicose, causa do mal-estar na digestão do alimento.
- a substituição da lactose na dieta, por carboidratos complexos, como amido e sacarose, é a solução para a diminuição de peso nas pessoas obesas.

- (ENEM) A produção de biocombustíveis é resultado direto do fomento a pesquisas científicas em biotecnologia que ocorreu no Brasil nas últimas décadas. A escolha do vegetal a ser usado considera, entre outros aspectos, a produtividade da matéria-prima em termos de rendimento e custo associados. O etanol é produzido a partir da fermentação de carboidratos e quanto mais simples a molécula de glicídio, mais eficiente é o processo.

Etanol de quê?. Pesquisa Fapesp, 28 nov. 2007. (adaptado)

O vegetal que apresenta maior eficiência na produção de etanol é

- o milho, pois apresenta sementes com alto teor de amido.
- a mandioca, pois apresenta raízes com alto teor de celulose.
- a soja, pois apresenta sementes com alto teor de glicogênio.
- o feijão, pois apresenta sementes com alto teor de quitina.
- a cana-de-açúcar, pois apresenta colmos com alto teor de sacarose.

## Atividades para sala

- Glicose elevada, pressão alta, obesidade, alterações nos níveis de colesterol e triglicérides. Eis a fórmula da síndrome metabólica que coloca o coração em risco. Para manter longe esse perigo, é necessário cuidar da alimentação. Assinale a alternativa que mostra a estrutura correta da glicose.

- $$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{C} \\ | & & | & & | & & | & & | & & | & & \text{O} \\ \text{OH} & & \text{H} \end{array}$$
- $$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{C} & - & \text{CH}_2 \\ | & & | & & | & & | & & \text{O} & & | \\ \text{OH} & & \text{OH} & & \text{OH} & & \text{OH} & & \text{O} & & \text{OH} \end{array}$$
- $$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH}_2 & - & \text{C} \\ | & & | & & | & & | & & & & \text{O} \\ \text{OH} & & \text{OH} & & \text{OH} & & \text{OH} & & & & \text{OH} \end{array}$$
- $$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{CH} & - & \text{O} & - & \text{CH}_3 \\ | & & | & & | & & | & & | & & & & \\ \text{OH} & & & & \end{array}$$
- $$\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{O} \\ & | & & | & & | & & | & & // \\ \text{H} & - & \text{N} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} \\ & & | & & | & & | & & | & & \text{O} \\ & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{OH} \end{array}$$

- Uma conversa com os amigos no trabalho ou na academia é suficiente para saber se alguém está fazendo, fez ou pretende fazer a dieta do glúten free. Retirar o nutriente do cardápio tornou-se a solução mais propagada no momento

4. (ENEM)

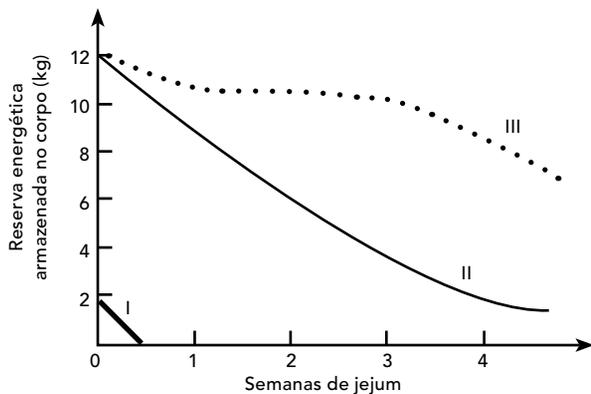


DAVIS, Jim. Garfield está de dieta. Porto Alegre: L&PM, 2006.

A condição física apresentada pela personagem da tirinha é um fator de risco que pode desencadear doenças como

- a) anemia.
- b) beribéri.
- c) diabetes.
- d) escorbuto.
- e) fenilcetonúria.

5. No seguinte gráfico, as curvas I, II e III representam o consumo das principais reservas de energia no corpo de uma pessoa em privação alimentar.



A curva que se relaciona corretamente ao tipo de reserva que representa é

- a) I – gordura; II – proteína; III – carboidrato.
- b) I – proteína; II – gordura; III – carboidrato.
- c) I – proteína; II – carboidrato; III – gordura.
- d) I – carboidrato; II – proteína; III – gordura.
- e) I – carboidrato; II – gordura; III – proteína.

6. O colesterol tem sido considerado um vilão nos últimos tempos, uma vez que as doenças cardiovasculares estão associadas a altos níveis desse composto no sangue. No entanto, o colesterol desempenha importantes papéis no organismo, como

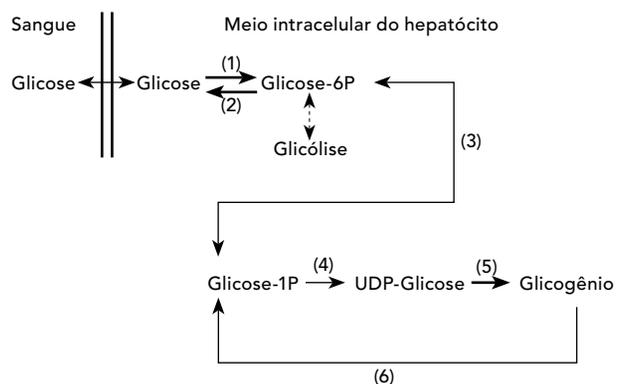
- a) manutenção da integridade da membrana celular em animais e vegetais.
- b) formação dos hormônios proteicos, como os hormônios sexuais.
- c) síntese dos sais biliares.
- d) formação da vitamina A.
- e) armazenamento de energia.

- a)  $C_x(H_2O)_y$ .
- b)  $C_xH_{2y}O_{(x-y)}$ .
- c)  $C_x(OH)_y$ .
- d)  $(CH)_xO_y$ .
- e)  $C_6H_{12}O_6$ .

2. O corpo humano converte todos os carboidratos em glicose, que é o combustível das células para produzir calor e energia. Sobre tais substâncias e suas aplicações, assinale a alternativa verdadeira.

- a) A glicose, conhecida comercialmente como dextrosol, é obtida pela hidrólise do amido e é usada na fabricação de doces.
- b) A frutose, encontrada no mel, insolúvel em água, é utilizada na fabricação de cola.
- c) Asacarose, um isômero da glicose, é obtida da cana-de-açúcar, solúvel em água e utilizada como conservante de alimentos.
- d) A celulose, obtida do algodão e de troncos de árvores, é um monossacarídeo encontrado nos filmes que protegem os vidros dos automóveis.
- e) A lactose, obtida na soja, é utilizada na produção de leite de soja.

3. O esquema a seguir resume as etapas de síntese e de degradação do glicogênio no fígado, órgão responsável pela regulação da taxa de glicose no sangue.



Enzimas:  
 (1) glicocinase  
 (2) glicose-6-fosfato fosfatase  
 (3) fosfoglicomutase  
 (4) UDPG sintase  
 (5) glicogênio sintase  
 (6) glicogênio fosforilase

Um paciente portador de um defeito genético apresenta crises frequentes de hipoglicemia nos intervalos entre as refeições, embora a taxa de glicogênio hepático permaneça elevada. Nesse paciente, as enzimas que podem apresentar atividade deficiente, entre as identificadas, são

- a) glicocinase e UDPG sintase.
- b) glicogênio fosforilase e glicocinase.
- c) fosfoglicomutase e glicogênio sintase.
- d) glicose-6-fosfato fosfatase e glicogênio fosforilase.
- e) glicocinase e UDPG sintase.

4. As células humanas armazenam o excesso de glicose intracelular, convertendo-a, por meio de várias reações enzimáticas, em glicogênio, um grande polímero de glicose. Esse processo é chamado de glicogênese. De acordo com a necessidade celular, esse glicogênio será transformado novamente em glicose, reação iniciada pela fosforilase. Em casos de estresse, o corpo libera o hormônio adrenalina, que, entre outras ações, ativa a fosforilase, o que é benéfico porque

- a) diminui o armazenamento de glicose sob a forma de glicogênio, o que diminui a pressão osmótica dentro da célula.

**Atividades propostas**

1. Estão tirando o carboidrato do pão.

Saúde, n. 247, abr. 2004.

Tido como culpado pelo aumento da obesidade e responsável pelo aumento de triglicérides, moléculas associadas a doenças cardiovasculares, os carboidratos apresentam a fórmula geral

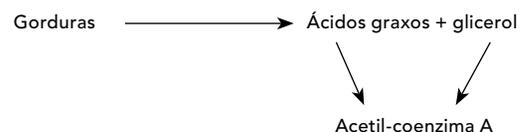
- b) diminui o armazenamento de glicogênio no fígado, o que permite que este degrade lipídios para fornecer energia ao corpo.
- c) diminui o armazenamento de glicogênio no fígado, o que permite que este degrade proteínas para fornecer energia ao corpo.
- d) aumenta a pressão osmótica do sangue por aumentar a quantidade de glicose nele presente.
- e) leva à liberação de glicose no sangue, o que disponibiliza mais energia para enfrentar a situação de estresse.
5. A bile é produzida no fígado a partir do colesterol, que pode vir da dieta ou ser produzido no corpo a partir de gorduras. Parte da bile produzida pelo nosso organismo não é reabsorvida na digestão. Ela se liga às fibras vegetais ingeridas na alimentação e é eliminada pelas fezes. Recomenda-se uma dieta rica em fibras para pessoas com altos níveis de colesterol no sangue. Qual é a relação que existe entre a dieta rica em fibras e a diminuição dos níveis de colesterol no organismo?
- a) As fibras são digeridas em glicose, que impede a absorção de colesterol.
- b) As fibras impedem a produção de colesterol a partir das gorduras.
- c) A bile se mistura às fibras, sendo eliminada nas fezes, o que leva ao consumo de colesterol para formar mais bile.
- d) A bile se mistura às fibras, facilitando a digestão do colesterol da dieta, que não é absorvido.
- e) As gorduras se misturam às fibras, não sendo absorvidas e sendo eliminadas nas fezes, o que diminui a quantidade de gorduras no sangue, aumentando a produção de bile e diminuindo a produção de colesterol.
6. Nos animais, assim como nas plantas, existem algumas substâncias que melhoram a aderência entre as células. Nos tecidos vegetais, a pectina é a principal substância com essa função. Qual seria um equivalente no tecido animal?
- a) Ácido úrico
- b) Ácido pirofosfórico
- c) Ácido ribonucleico
- d) Ácido hialurônico
- e) Ácido fumárico
7. Uma forma de medir o percentual de gordura corporal é calcular o índice de massa corporal (IMC), obtido pela divisão do “peso” (massa corporal, em kg) pela altura (em m) elevada ao quadrado, com o resultado expresso em kg/m<sup>2</sup>. O quadro a seguir, elaborado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), apresenta a classificação da obesidade por graus progressivamente maiores de morbimortalidade utilizando o IMC.

IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Denominação	Grau de obesidade
18,5 – 24,9	Peso saudável	0
25 – 29,9	Pré-obeso	I
30 – 39,9	Obeso	II
40	Obeso grave	III

Disponível em: <[www.saudeemovimento.com.br](http://www.saudeemovimento.com.br)>. Acesso em: 30 ago. 2004.

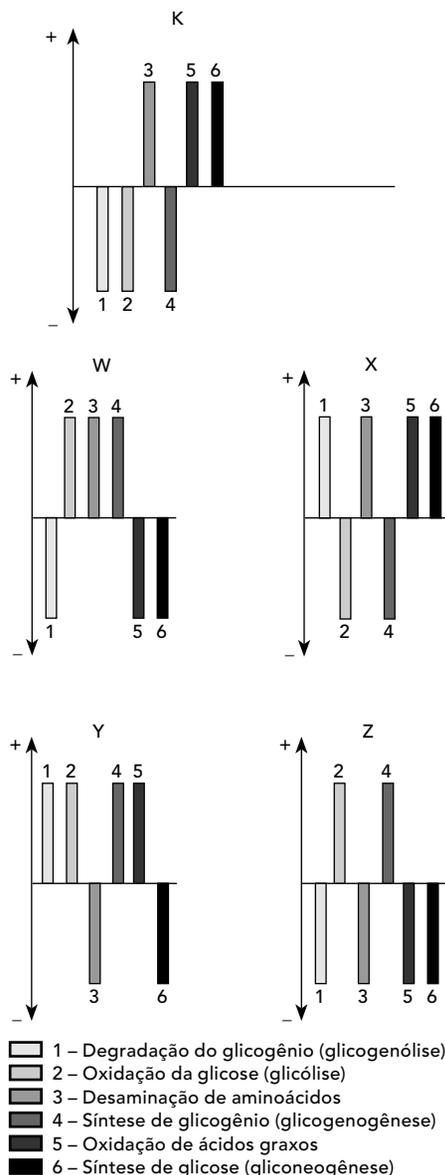
Considere um indivíduo de 1,60 m de altura e “peso” de 89,6 kg. Com base nesses dados e nas informações fornecidas pela tabela, pode-se afirmar que

- a) se esse indivíduo crescer e mantiver o mesmo “peso” (massa corporal), terá seu IMC aumentado.
- b) esse indivíduo é considerado pré-obeso.
- c) se esse indivíduo engordar 18 kg será considerado obeso grave.
- d) se esse indivíduo emagrecer 30 kg será pré-obeso.
- e) o IMC não é alterado por ganho de massa muscular, só de gordura.
8. Um princípio básico de sobrevivência é ter uma boa alimentação. Não necessariamente se deve comer em quantidade, e sim, com qualidade. O conjunto dos tipos e quantidade do que se ingere se chama dieta, devendo esta ser balanceada com lipídios, proteínas, carboidratos, sais minerais e vitaminas. Sobre esse assunto, assinale a alternativa correta.
- a) As proteínas, além de funcionarem como elementos estruturais, fornecem mais energia do que os carboidratos e lipídios, que é canalizada para as células.
- b) Os lipídios são as principais formas de estoque de energia, preferencialmente metabolizados pelas células em comparação aos carboidratos.
- c) Considerados os vilões das dietas por muitas pessoas, os lipídios fornecem mais energia que os carboidratos, pois suas moléculas geram mais que o dobro de calorias que a queima de carboidratos.
- d) Sais minerais são substâncias orgânicas, não produzidas pelos seres vivos, que possuem funções muito importantes no corpo como regulação de reações enzimáticas e manutenção do equilíbrio osmótico.
- e) As reservas dos lipídios fornecem energia para sustentar as funções biológicas por, aproximadamente, um dia, ao passo que as de carboidratos fornecem energia durante semanas.
9. As gorduras, para serem utilizadas no metabolismo energético, sofrem as transformações indicadas no esquema a seguir.



A acetil-coenzima A, por sua vez,

- a) sofre as reações da glicólise, convertendo-se em piruvato que se acumula nos músculos.
- b) sofre as reações do ciclo de Krebs e da cadeia respiratória, convertendo-se em gás carbônico e água.
- c) transforma-se em ácido láctico, que se acumula nos músculos, causando a fadiga muscular.
- d) transforma-se em glicogênio, que fica armazenado nos músculos e no fígado.
- e) é transportada até os lisossomos onde é hidrolisada.
10. O fígado é um órgão capaz de ajustar-se às necessidades do organismo por meio da variação, para mais ou para menos, da atividade de suas diversas etapas metabólicas. Observe os gráficos a seguir, nos quais o eixo horizontal representa a atividade média de seis etapas metabólicas envolvendo carboidratos, aminoácidos e lipídios, no fígado de uma pessoa em dieta alimentar normal.



O gráfico que apresenta as alterações metabólicas ocorridas no fígado de uma pessoa submetida a 24 horas de jejum é

- a) K.      b) W.      c) X.      d) Y.      e) Z.

11.



Levando em conta a tira apresentada e os conhecimentos acerca da bioquímica celular, pode-se afirmar que

- a) o colesterol, encontrado em alimentos de origem animal, é um éster formado pela união de ácidos graxos com monoalcoóis superiores de cadeia aberta.  
 b) a dieta em destaque é rica em colesterol, um tipo de esteroide obtido em alimentos vegetais, sendo dito exógeno, e produzido no fígado e no intestino, sendo dito endógeno.

- c) o colesterol é um esteroide que participa da composição química da membrana das células animais e atua como precursor de hormônios sexuais (testosterona e progesterona).  
 d) se o indivíduo tivesse feito uso abusivo de alimentos de origem animal, seria um forte candidato a desenvolver problemas cardiovasculares, devido às altas taxas de colesterol oriundas da ingestão de gorduras insaturadas.  
 e) a carência do referido nutriente plástico, por meio de uma dieta balanceada, impossibilitou que as células sintetizassem os principais constituintes estruturais para o correto funcionamento do corpo.

**12. Castanha-de-caju é a oleaginosa mais light, diz o Inmetro**

“A gente chama de oleaginosas grãos e sementes que têm um teor de óleo acima de 30%, 35%”, explica a engenheira de alimentos Ana Rauen. Amêndoa, amendoim, avelã, castanha-de-caju, do Pará, sem falar nas macadâmias e nas nozes, que não só fazem sucesso nas festas de fim de ano, como fazem um bem danado. Elas trazem diversos benefícios para a saúde. Entre eles, o controle da glândula tireóideia, um enorme efeito protetor para o coração, melhora na pressão arterial. Mas será que engorda? O Inmetro fez o teste e descobriu que a diferença de gordura entre as oleaginosas pode variar de até 45% e a mais light de todas, sabe qual é?

A castanha-de-caju. *Light*, mas nem tanto. Em cem gramas de castanha do caju, 48 são pura gordura. Depois vem o amendoim, a amêndoa, a avelã, as nozes, a castanha-do-pará e por último, a macadâmia. A cada cem gramas, quase 70% são gordura e 623 calorias. Mas os fãs da macadâmia não precisam se desesperar. Boa parte dessa gordura faz bem. “A macadâmia tem bastante gordura insaturada. As gorduras insaturadas são benéficas para o organismo porque reduzem o colesterol ruim sem reduzir o colesterol bom”, explica a técnica do Inmetro Juliana Caribé. No teste da gordura insaturada, o primeiro lugar ficou com as nozes. O Inmetro também mediu a quantidade de gordura saturada nas oleaginosas e essa, sim, é preocupante. A campeã nessa gordura que aumenta o colesterol ruim foi a castanha-do-pará. Para quem tem problema com o colesterol, as melhores opções são as amêndoas, as avelãs e as nozes. Só não pode exagerar. Um punhadinho por dia está de bom tamanho.

Disponível em: <<http://www.g1.globo.com>>.

Identifique a alternativa a seguir que apresenta uma proposição correta sobre a reportagem citada.

- a) As oleaginosas têm um alto teor de magnésio que controla o funcionamento da glândula tireóideia.  
 b) O efeito protetor do coração a que o texto faz referência deve-se ao alto teor de gordura saturada, sobretudo na castanha-de-caju.  
 c) A melhora da pressão arterial só é possível se essas castanhas tiverem um alto teor de ferro, sal regulador da pressão sanguínea.  
 d) Apesar de muito gordurosa, a macadâmia apresenta um alto teor de gordura insaturada, importante para aumentar os níveis do bom colesterol (HDL).  
 e) Como diz o texto: as melhores opções são as amêndoas, as avelãs e as nozes. Isso é possível devido ao teor de gordura saturada que promove a limpeza dos vasos sanguíneos.

## Proteínas

Entre todos os compostos orgânicos presentes na célula, as proteínas são as substâncias que se apresentam em maior quantidade e complexidade. O próprio termo **proteína** reflete sua importância, pois quer dizer **molécula primeira** (do grego *proteios*, “primeiro” ou “fundamental”).

Essas macromoléculas podem se manifestar de diversas formas e exercer funções essenciais para o funcionamento do organismo dos seres vivos. Sua massa molecular, por exemplo, pode variar de 5,8 kDa (insulina) a 40000 kDa (proteína do vírus do mosaico do tabaco). Elas são formadas por outras pequenas estruturas denominadas **aminoácidos**. Esses, por sua vez, são formados por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, juntando-se uns aos outros por meio de ligações peptídicas para formar as proteínas.

### Funções biológicas

A grande importância das proteínas deve-se a uma série de funções que esses compostos orgânicos apresentam nos seres vivos.

- ▶ **Estrutural** – As proteínas participam da constituição dos organismos vivos. Dessa forma, o **colágeno**, por exemplo, é uma proteína que constitui a maior parte da matéria intercelular dos tecidos conjuntivos e, por isso, é considerada a proteína mais abundante do corpo humano; já a **queratina** faz parte da constituição dos cabelos, pelos, chifres e unhas de animais.
- ▶ **Reguladora** – Algumas proteínas atuam como **enzimas**, substâncias catalisadoras que aumentam a velocidade das reações químicas. Elas permitem que reações, que demorariam anos para ocorrer, sejam efetuadas em frações de segundos. Outras, como a **insulina**, o **glucagon** e a **somatotropina** (hormônio do crescimento), atuam como **hormônios**, mensageiros químicos que transmitem estímulos de um órgão para outro, promovendo uma integração entre as várias partes do organismo.
- ▶ **Receptora** – Existem proteínas que atuam como receptores nas superfícies das células, permitindo a ligação da membrana com substâncias reguladoras. Elas recebem informações e orientam a execução de um efeito específico, em nível celular. Algumas proteínas receptoras operam no reconhecimento celular, identificando substâncias que pertencem ao organismo ou que são estranhas a ele, como ocorre com os **antígenos A e B**, que determinam os grupos sanguíneos.
- ▶ **Transportadora** – Proteínas presentes nas membranas celulares agem como verdadeiros canais, permitindo a passagem de determinadas substâncias. Existem canais específicos para a substância a ser transportada, assim como existem proteínas especializadas em transportar certas substâncias no sangue, como a **hemoglobina**, que transporta oxigênio, e as **lipoproteínas**, que carregam os lipídios obtidos na alimentação.
- ▶ **Reservatória** – A **albumina**, por exemplo, proteína presente na clara do ovo, é o principal componente do vitelo e serve de reserva alimentar para o indivíduo em formação.

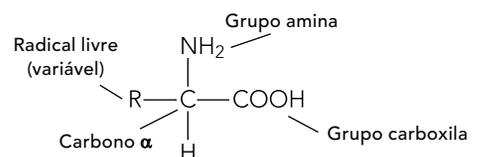
- ▶ **Defensora** – Os **anticorpos** (ou **imunoglobulinas**) são proteínas que atuam aglutinando substâncias estranhas para que sejam mais facilmente eliminadas pelas células de defesa, ou, simplesmente, marcando essas substâncias estranhas para que sejam reconhecidas e devidamente eliminadas pelo sistema.
- ▶ **Reparadora** – Há proteínas, como a **fibrina**, que promovem a coagulação sanguínea. Elas evitam a perda de sangue em vasos lesionados, promovem a cicatrização e contribuem para os processos de reparo do organismo.

Além dessas funções, outras mais específicas são realizadas. A contração muscular, por exemplo, acontece por meio da ação das proteínas contráteis **actina** e **miosina**. Elas também atuam na emissão de pseudópodes por células. A bioluminescência, característica biológica presente em animais terrestres e marinhos, como insetos, moluscos, peixes e bactérias, é desempenhada pela proteína **luciferina**. A reação de oxidação dessa proteína pela enzima luciferase é altamente exotérmica e produz luz visível como resultado. Na natureza, o caso mais emblemático de bioluminescência é o vaga-lume, que a utiliza na comunicação e na reprodução.



### Aminoácidos

Também denominados monopeptídeos, os aminoácidos são ácidos orgânicos que constituem as proteínas e cujo carbono mais próximo ao grupo carboxila ( $-\text{COOH}$ ) está ligado a um grupo amina ( $-\text{NH}_2$ ). Esse carbono é chamado **carbono  $\alpha$** , motivo pelo qual esses aminoácidos são denominados  **$\alpha$ -aminoácidos**. Além disso, o carbono  $\alpha$  está ligado a uma cadeia lateral (**radical R**), que diferencia os aminoácidos entre si.



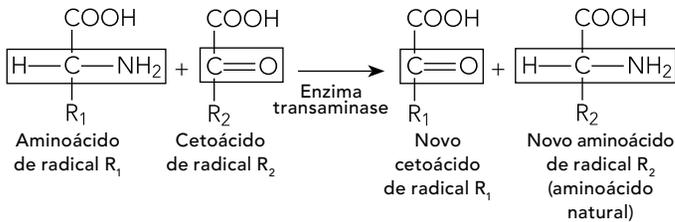
Observe que o carbono  $\alpha$  é assimétrico, apresentando-se como um centro quiral. Por isso, há formas D e L dos aminoácidos. Não se sabe ao certo o motivo, mas, na natureza, os aminoácidos que compõem os seres vivos são todos L-aminoácidos, da mesma forma como os monossacarídeos são D.

O radical R pode variar muito, devido a uma série de fatores, como o número de carbonos, os grupos funcionais presentes, grau de saturação etc. Dos aminoácidos isolados de seres vivos, cerca de 20 são componentes naturais de proteínas. Os demais são intermediários químicos na célula ou produtos finais do metabolismo. Aqueles que são sintetizados pelo organismo são denominados **aminoácidos essenciais** e são adquiridos por meio da alimentação. Todos os seres vivos são capazes de sintetizar aminoácidos. Porém, muitas das espécies são incapazes de sintetizar em seu próprio sistema biológico todos os aminoácidos necessários à vida.

## Formação dos aminoácidos

### Transaminação

Os aminoácidos aparecem inicialmente na natureza por meio da reação de produtos da fotossíntese, como o aldeído fosfoglicérico (PGAL), que reage com a amônia (NH<sub>3</sub>) proveniente do ciclo do nitrogênio. Assim, o primeiro aminoácido a se formar na natureza é o **ácido glutâmico**. Todos os demais são provenientes dele, a partir de uma reação denominada **transaminação**.



Transaminação. Observe a ação da enzima transaminase na formação de um novo aminoácido.

### Funções dos aminoácidos

Aminoácidos isolados, ou seja, sem que estejam ligados formando proteínas, desempenham algumas funções importantes. Alguns sofrem pequenas modificações em suas estruturas químicas e passam a agir como hormônios, como a histamina (derivada da histidina) e os hormônios tireoidianos T3 e T4 (derivados da tirosina).

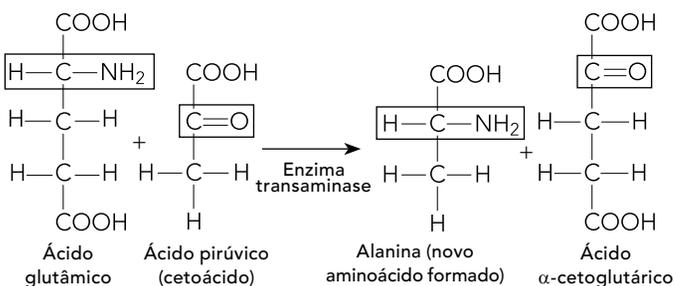
Outros são precursores na formação de diversas substâncias, como a melanina, pigmento que dá cor à pele humana, que é derivada da fenilalanina e da tirosina. Os aminoácidos também funcionam como tampões, mantendo o pH do meio constante, como a histidina, que é abundante na molécula de hemoglobina. Os aminoácidos podem ter outras propriedades, como é o caso da fenilalanina e do ácido aspártico, que juntos formam o aspartame, um popular adoçante artificial.

### Aminoácidos naturais e aminoácidos essenciais

Os aminoácidos que uma determinada espécie pode sintetizar, por meio da reação de transaminação, são ditos **naturais** (ou **dispensáveis**). Nos vegetais, todos os aminoácidos são naturais, pois esses seres são autótrofos.

Nos animais, é diferente, pois alguns aminoácidos não são produzidos ou sua produção é insuficiente para as necessidades do organismo. Eles são denominados **essenciais** e devem ser obtidos por meio de dieta alimentar. Os aminoácidos essenciais, que são ingeridos, reagem com os cetoácidos no fígado para formar os aminoácidos naturais.

A diferença entre aminoácidos essenciais e naturais varia de espécie para espécie. Nos seres humanos, existem doze aminoácidos naturais e oito essenciais. A arginina, por exemplo, apesar de ser sintetizada no organismo humano, é produzida em quantidade insuficiente, tendo que ser obtida na dieta. Alguns autores a consideram, pois, **semiesencial**.



Observe a ação da enzima transaminase na formação do aminoácido natural alanina (Ala).

Alguns aminoácidos dependem da idade do indivíduo para serem considerados essenciais ou naturais, como a histidina, que é essencial apenas para recém-nascidos, pois o organismo só passa a produzi-la com o passar dos anos. O aminoácido cisteína, sintetizado a partir da metionina, encontra-se em níveis satisfatórios em adultos. Porém, na infância, sua ingestão é necessária.

### Aminoácidos na alimentação

A melhor fonte para a obtenção de aminoácidos essenciais está em proteínas de origem animal, ditas proteínas integrais, pois estas possuem todos os aminoácidos fundamentais ao organismo, já que os animais possuem alto teor de proteínas em sua composição.

Uma dieta exclusivamente vegetariana pode apresentar deficiência proteica, uma vez que há poucas proteínas nos vegetais. Além disso, as proteínas encontradas em um vegetal são denominadas **proteínas parciais**, pois não possuem todos os aminoácidos essenciais.

Assim, embora não haja consenso, alguns estudiosos recomendam que a dieta vegetariana seja complementada com fontes de origem animal (leite e seus derivados, ovos etc.). As leguminosas são, também, recomendadas, pois têm um teor proteico alto entre os alimentos de origem vegetal. Isso ocorre devido à associação de suas raízes com bactérias *Rhizobium*, fixadoras de nitrogênio, e, dessa maneira, detentoras de uma maior facilidade para a produção de proteínas, como ocorre com a soja e o feijão.

Uma dieta balanceada é aquela na qual há cerca de 60% de carboidratos, 25% de lipídios e 15% de proteínas. Os carboidratos e os lipídios são as substâncias mais consumidas por serem alimentos mais energéticos. As proteínas são alimentos plásticos ou estruturais usados como fonte de aminoácidos para a construção de mais proteínas e, consequentemente, de células.

Então, quais seriam os benefícios de uma dieta vegetariana? Alimentos vegetais possuem grandes quantidades de fibras alimentares (celulose), que, apesar de não poderem ser usadas como fontes de energia, melhoram o funcionamento intestinal, levando a uma maior produção de fezes e, consequentemente, a uma maior eliminação de substâncias tóxicas, bactérias e gordura. Além disso, alimentos vegetais possuem grandes quantidades de vitaminas, sais minerais e amido, e pequenas quantidades de gordura e colesterol.

A dieta básica do brasileiro com feijão e arroz, por exemplo, apresenta uma combinação completa de aminoácidos. A lisina, ausente no arroz, é abundante no feijão, enquanto o aminoácido metionina, ausente no feijão, é abundante no arroz. Entretanto, na infância, não se deve substituir uma dieta tradicional humana (onívora) por uma dieta vegetariana. A criança precisa de uma quantidade de proteínas muito grande para se desenvolver, não conseguindo aproveitar as proteínas da soja, por exemplo, com a mesma eficiência que as proteínas animais. Assim, o ideal é uma dieta balanceada, com quantidades equilibradas de todos os alimentos.

### Deficiências e excessos proteicos

Certos fatores relacionados com o consumo de aminoácidos e proteínas podem afetar o funcionamento do organismo humano, causando problemas de saúde tanto pelo consumo excessivo como pela ingestão insuficiente dos nutrientes necessários. O **kwashiorkor** e o **marasmo** são doenças infantis causadas por deficiência nutricional. Registros de casos dessas doenças são mais comuns em regiões subdesenvolvidas.

*Kwashiorkor* é uma palavra de origem africana e quer dizer algo como “aquele que foi deixado de lado”. Esse termo explica bem como a deficiência nutricional ocorre: quando o irmão de uma criança nasce, esta é desmamada, perdendo, assim, a principal fonte de proteínas de sua dieta, o leite materno. A dieta da criança é alterada drasticamente, passando a ser composta por alimentos basicamente vegetais, como farinha de trigo, milho ou mandioca, dependendo da região.

Essa doença é caracterizada por retardo de crescimento devido à falta de proteínas, que são alimentos plásticos; por cabelos e pele descoloridos, por ocasião da falta do aminoácido tirosina, precursor da melanina, pigmento do corpo humano; e por inchaço do corpo, principalmente da barriga, devido ao acúmulo de líquido nos tecidos. A falta de proteína provoca o consumo da albumina do plasma sanguíneo como fonte de aminoácidos, diminuindo, assim, a pressão osmótica do sangue em relação aos tecidos. Estes passam, então, a consumir água por osmose, o que ocasiona os edemas. Esse quadro decorre da falta quase completa de proteína na dieta, que é constituída, essencialmente, de carboidratos encontrados nos alimentos de origem vegetal citados anteriormente.

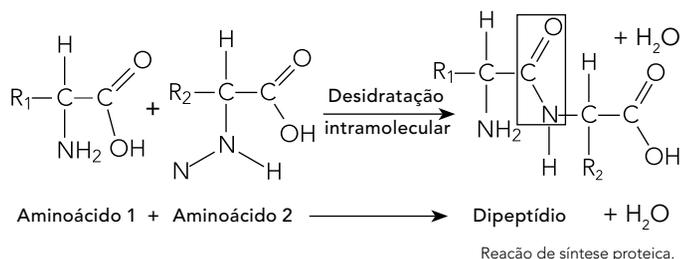
Já marasmo é um quadro de subnutrição completa. É causado por uma deficiência proteica e calórica, caracterizada pela atrofia dos músculos, fraqueza extrema e ossos salientes.

A ingestão excessiva de aminoácidos e proteínas acarreta também outros problemas de saúde. Como são difíceis de digerir, o excesso de proteínas leva ao acúmulo de aminoácidos no organismo. Eles são consumidos em um processo chamado **desaminação**, que os degrada para liberar ácidos orgânicos usados na respiração. Entretanto, a amônia, uma substância altamente tóxica, é liberada como subproduto. Para evitar maiores problemas, a amônia é convertida em ureia, menos tóxica, no **ciclo da ornitina**. Além disso, ocorre, também, a produção de ácido úrico. Dessa forma, com o consumo excessivo de proteínas, os níveis de ureia e ácido úrico aumentam, causando problemas de fígado, rins e articulações. Nesse último caso, pode levar a uma condição altamente debilitante denominada **gota**, que promove lesões articulares (artrose) e restrição dos movimentos.

## Ligação peptídica

A união de aminoácidos, por meio de ligações chamadas peptídicas, origina compostos conhecidos como oligopeptídios, polipeptídios e proteínas. Os **oligopeptídios** possuem de dois a dez aminoácidos ligados entre si. Conforme tenham dois, três ou até dez aminoácidos, eles são chamados, respectivamente, dipeptídios, tripeptídios, e assim sucessivamente, até os decapeptídios.

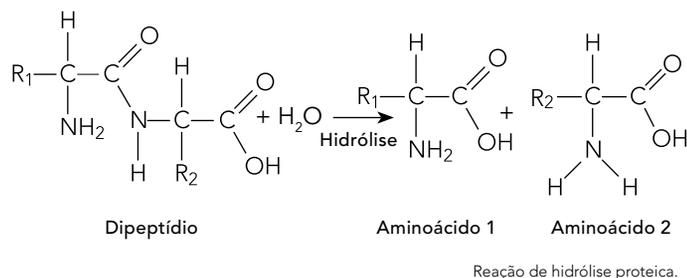
Os **polipeptídios** possuem entre 10 e 80 aminoácidos unidos. As proteínas, por sua vez, possuem mais de 80 aminoácidos, ligados entre si por meio de ligações peptídicas.



Observe a ligação peptídica que ocorre entre a hidroxila da carboxila de um aminoácido e o hidrogênio da amina de

outro aminoácido, sendo quimicamente caracterizada como uma amida. Em cada aminoácido de um peptídio, o grupo amina e o grupo carboxila estão envolvidos na ligação peptídica, com exceção do primeiro aminoácido de um peptídio, cuja amina está livre, sendo chamada de amina-terminal, e do último aminoácido do peptídio, cuja carboxila está livre, sendo chamada de carboxila-terminal.

A reação de síntese de aminoácidos gera água como subproduto. Então, para separar os aminoácidos de um polipeptídio ou de outro composto de origem proteica, é necessário realizar uma hidrólise proteica. Dessa forma, aquece-se o composto em soluções aquosas de HCl por um período de tempo prolongado. No corpo humano, essa reação ocorre com o auxílio do meio ácido e de enzimas específicas, que aceleram o processo de hidrólise.



O número de ligações peptídicas de um peptídio é igual ao número de aminoácidos menos um. Assim, um tripeptídio tem três aminoácidos e, conseqüentemente, duas ligações peptídicas. Como para cada ligação peptídica feita perde-se uma molécula de água, o número de moléculas de água necessárias para hidrolisar completamente um peptídio em aminoácidos é igual ao número de ligações peptídicas. Para hidrolisar completamente uma proteína com 200 aminoácidos, por exemplo, que possui 199 ligações peptídicas, serão necessárias 199 moléculas de água.

$$\begin{array}{l}
 \text{N}^\circ \text{ de ligações peptídicas} = \text{N}^\circ \text{ de aminoácidos} - 1 = \\
 \text{N}^\circ \text{ de moléculas de água liberadas}
 \end{array}$$

## Estrutura proteica

Os compostos proteicos naturais são capazes de executar diversas funções biológicas no organismo dos seres vivos. Isso ocorre devido ao sequenciamento ordenado dos aminoácidos e ao seu arranjo tridimensional. É essa estrutura que fornece à proteína sua forma e sua função biológica.

As proteínas podem apresentar quatro estruturas diferentes. A primeira é a sequência linear de um polipeptídio. Entretanto, as proteínas são mais complexas que um polipeptídio e se ordenam em estruturas secundárias, terciárias e quaternárias. O número de dobramentos cresce à medida que sua complexidade aumenta.

### Estrutura primária

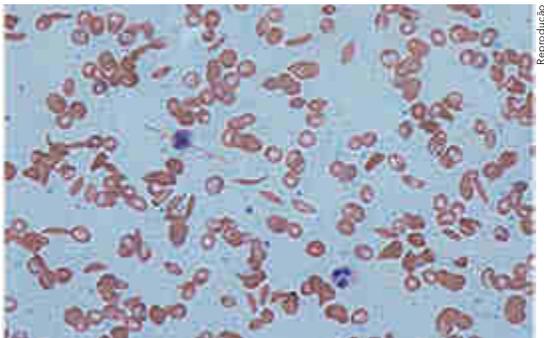
A estrutura primária é a **sequência linear** de aminoácidos que forma a cadeia peptídica. A sequência de aminoácidos de uma proteína determina todos os demais níveis de sua estrutura molecular, sendo responsável pela determinação de sua estrutura e função. Isso ocorre porque a posição dos aminoácidos na cadeia determina as relações entre eles, e essas relações determinarão os demais níveis da estrutura proteica.

Esse primeiro nível de organização da proteína é mantido pelas ligações peptídicas covalentes e, por isso, muito fortes.

Elas não são quebradas pelo calor, apenas por hidrólise enzimática que ocorre no processo de digestão.

A importância biológica da sequência de aminoácidos na cadeia pode ser compreendida pela doença hereditária anemia falciforme (ou siclemia). A hemoglobina é formada por quatro cadeias polipeptídicas, duas  $\alpha$  e duas  $\beta$ . A troca do sexto aminoácido da cadeia, o ácido glutâmico, por uma valina, provoca uma alteração profunda em uma das cadeias dessa proteína. As hemácias, então, assumem um formato de foice (falciforme, em forma de foice), prejudicando severamente sua atividade, pois a hemoglobina anormal não carrega o oxigênio de maneira adequada.

A explicação para uma alteração tão violenta está no comportamento dos aminoácidos envolvidos. O ácido glutâmico apresenta radical R polar (hidrofilico) e, portanto, capaz de interagir com a água. Tal fato possibilita a difusão das moléculas de hemoglobina pelo hialoplasma da hemácia. Já a valina apresenta radical R apolar (hidrofóbico) e, portanto, incapaz de interagir com a água. Assim, no meio aquoso, as moléculas de hemoglobina ciclêmica ligam-se pelos seus radicais R das valinas por meio de interações hidrofóbicas. Esses radicais interagem entre si para não interagir com a água. Como as duas cadeias  $\beta$  são valinas, cada molécula de hemoglobina se liga a duas outras, formando cadeias alongadas, o que torna a hemácia falciforme. Essas hemácias, ao passarem pelo fígado e pelo baço, são destruídas, causando a eritropenia, redução do número de glóbulos vermelhos que caracteriza a doença.



Observe, nessa amostra de sangue, as hemácias falciformes devido à ação de moléculas de hemoglobina ciclêmica.

A estrutura primária é fundamental para determinar se duas proteínas são iguais ou não, pois ela determinará se os demais níveis também serão idênticos. Porém, outros critérios devem ser analisados para avaliar a semelhança entre duas proteínas. Elas serão iguais apenas quando possuírem o mesmo número de aminoácidos. Além disso, deverão apresentar, também, os mesmos aminoácidos. E, finalmente, esses aminoácidos devem estar na mesma sequência. Se um desses critérios não for atendido, não se pode afirmar que duas proteínas sejam iguais.

Dessa forma, mesmo que o resultado da hidrólise de duas proteínas e os aminoácidos resultantes das duas reações sejam os mesmos, não é possível, ainda, garantir que as proteínas sejam idênticas, pois não se sabe a ordem em que os aminoácidos estavam dispostos.

### Estrutura secundária

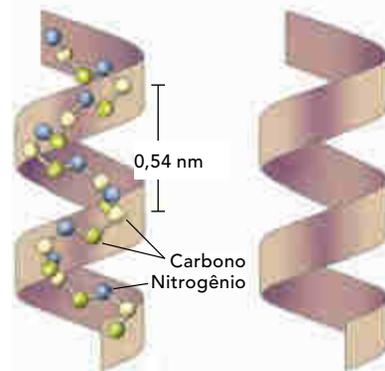
Estrutura secundária é o arranjo espacial dos aminoácidos próximos entre si na cadeia peptídica. A difração de raios X permitiu que se descobrissem as principais maneiras pelas quais esses aminoácidos se relacionam.

As interações que originam a estrutura secundária são as **ligações de hidrogênio**. Apesar de fortes quando comparadas com outras interações intermoleculares, são fracas quando comparadas com ligações químicas covalentes que compõem a estrutura primária. Assim, são facilmente destruídas pelo calor, em um processo denominado **desnaturação proteica**.

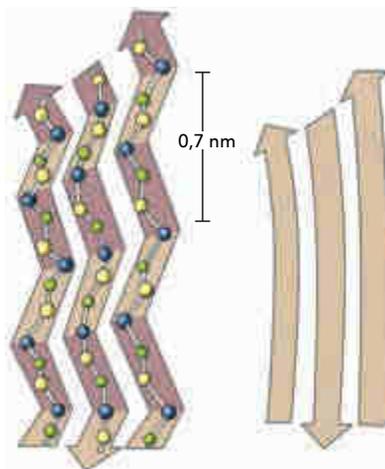
A primeira dessas interações é conhecida como  **$\alpha$ -hélice**. Nela, a cadeia peptídica assume forma helicoidal, como se fosse enrolada em um cilindro invisível. A  $\alpha$ -hélice estabiliza-se devido à ocorrência de ligações de hidrogênio entre a carboxila de um aminoácido e o grupo amina de um segundo aminoácido, situado quatro resíduos à frente na cadeia. Esse é o arranjo mais comum em proteínas. A hemoglobina, por exemplo, tem cerca de 75% de sua molécula na forma de  $\alpha$ -hélice.

O outro tipo de interação é a chamada folha em  **$\beta$ -pregueada**. A cadeia assume a forma de uma folha de papel dobrada várias vezes. Essa estrutura é estabilizada pela ocorrência de ligações de hidrogênio entre carboxilas e aminas situadas em aminoácidos de cadeias adjacentes. Tais interações são menos estáveis, pois sofrem forte interferência estérica (espacial) dos radicais R.

Existe um terceiro tipo de estrutura secundária, a conformação **random coil** ou **ao acaso**, que não obedece a nenhum padrão de configuração. Nesse caso, alguns aminoácidos impedem a formação de ligações de hidrogênio. É o que ocorre com o aminoácido heterocíclico prolina, no qual a carboxila e a amina não estão disponíveis para a realização de ligações de hidrogênio. A presença de aminoácidos como a prolina tende a romper configurações organizadas como a  $\alpha$ -hélice e a folha em  $\beta$ -pregueada, levando a uma conformação ao acaso.



Forma helicoidal da  $\alpha$ -hélice.



Folha em  $\beta$ -pregueada.

## Estrutura terciária

A estrutura terciária é determinada pela interação de várias partes da cadeia entre si por meio das cadeias laterais de aminoácidos, gerando a estrutura **tridimensional** da cadeia peptídica. Dessa forma, certas interações entre os aminoácidos (forças de atração entre os radicais R) podem levar a uma série de dobramentos na cadeia helicoidal, o que resulta em uma configuração espacial na qual a cadeia é dobrada em vários pontos ao longo da proteína. Assim, essa estrutura espacial pode se assemelhar a um novelo de lã, no qual os fios se enrolam em uma forma esférica.

Uma série de ligações de natureza covalente e eletrostática age para manter a estabilidade da estrutura terciária. Essas ligações são os mesmos agentes que promovem o dobramento espacial da cadeia peptídica. Assim, as ligações covalentes envolvidas na estrutura terciária são, principalmente, as denominadas **pontes** ou **ligações dissulfeto** (—S—S—). São ligações fortes e importantes, ocorrendo entre os grupos mercaptano ou tiol (—SH) de dois resíduos do aminoácido cisteína.

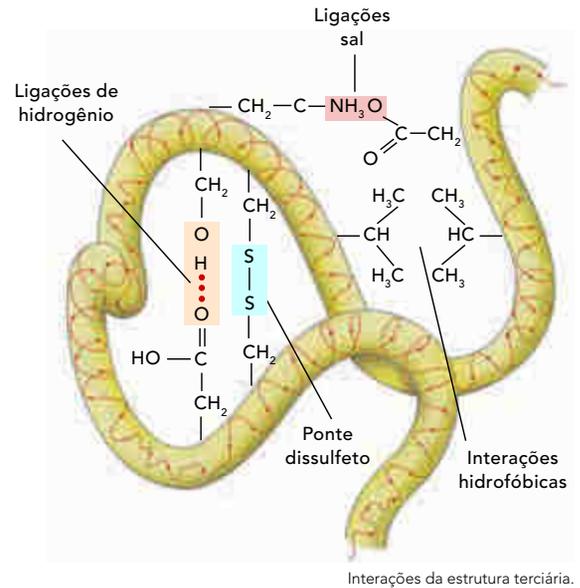
A queratina, proteína que forma os cabelos, possui uma série de ligações dissulfeto, determinando sua estrutura. Em cabelos lisos, essas ligações são menos frequentes, estando mais presentes em cabelos crespos. Alguns produtos cosméticos de tratamento capilar possuem agentes redutores, que quebram as ligações dissulfeto, e promovem uma mudança na queratina, resultando no alisamento dos cabelos.

Ligações de natureza eletrostática também estão envolvidas na determinação da estrutura terciária. Dessa forma, há as ligações iônicas, resultantes das forças de atração vindas da ionização de certos átomos. O tipo mais comum é a chamada **ligação sal**, decorrente da ionização dos grupos —COOH e —NH<sub>2</sub>, sobressalentes de aminoácidos ácidos e básicos (—COO<sup>-</sup> e —NH<sub>3</sub><sup>+</sup>).

Outras interações físicas mais fracas também estão envolvidas na determinação da estrutura terciária das proteínas. Em seguida, há alguns exemplos.

- **Ligação de hidrogênio** – Ocorre quando um átomo de hidrogênio é partilhado por dois átomos eletronegativos vizinhos. Esse átomo de hidrogênio pode ser dividido entre o nitrogênio e o oxigênio de grupos amina e carboxila próximos. Estes podem ser tanto as carboxilas e aminas envolvidas na ligação peptídica como aquelas presentes nos radicais R de aminoácidos ácidos e básicos. As ligações de hidrogênio também determinam a estrutura secundária da proteína.
- **Interações hidrofóbicas** – Envolvem o agrupamento de estruturas não polares, que se associam de maneira a não ficar em contato com a água. São abundantes entre aminoácidos cujos radicais R são apolares (radicais alifáticos ou aromáticos).
- **Dipolo induzido** – Ocorre somente quando dois átomos chegam bem próximos um do outro. A proximidade das moléculas pode induzir a uma flutuação de carga, que pode produzir atração mútua em um raio de ação bastante pequeno. Em dado momento, a presença de maior número de elétrons, em certa parte da molécula, provoca repulsão dos elétrons de outra molécula próxima. Com os elétrons repelidos, parte dessa molécula fica momentaneamente positiva, ocorrendo a atração. Como esses processos ocorrem muito rapidamente, essas forças são fracas, pois os elétrons se movimentam muito e a todo momento, mudando as direções dessas flutuações de carga. Esse tipo de interação ocorre principalmente entre moléculas apolares.

- **Dipolo permanente** – Acontece entre estruturas polares. A parte positiva de uma molécula polar é atraída pela parte negativa da outra molécula polar. Ocorre entre aminoácidos cujos radicais R são polares.



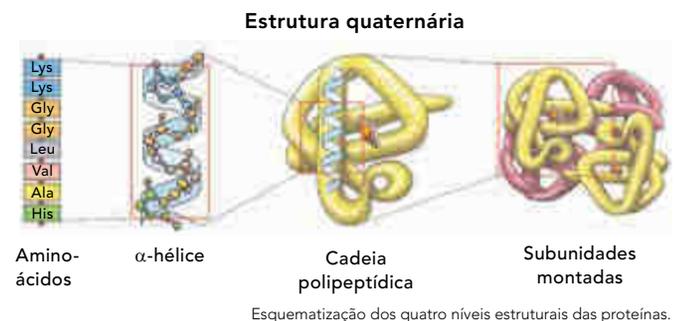
### Tome nota

A diferença essencial entre uma ligação covalente e uma interação fraca não covalente é a quantidade de energia necessária para quebrar essa interação. Uma ligação de hidrogênio necessita de apenas 4,5 kcal/mol de energia para ser quebrada. Já uma ligação covalente, como a interação entre os átomos de hidrogênio e oxigênio na molécula de água, requer cerca de 110 kcal/mol.

## Estrutura quaternária

Algumas proteínas são formadas pela união de mais de uma cadeia polipeptídica. A estrutura quaternária é o arranjo dessas subunidades proteicas no espaço, pois cada cadeia polipeptídica envolvida na estrutura quaternária é uma subunidade. A estrutura terciária, por si só, não fornece função biológica à proteína. Apenas a estrutura quaternária lhe confere funcionalidade. Em algumas proteínas, a estrutura quaternária está ausente. Então, nesses casos, a estrutura terciária é responsável pelo desempenho do papel biológico.

Um exemplo de arranjo quaternário é aquele que acontece com a molécula de hemoglobina. Como foi dito anteriormente, ela possui quatro cadeias polipeptídicas, duas cadeias **α** e duas cadeias **β**, fabricadas independentemente e depois ligadas entre si.



## Classificação proteica

As proteínas são classificadas de diversas maneiras. No início desse módulo, elas foram divididas de acordo com as funções que possuem e como agem nos organismos dos seres vivos.

Mas é possível, também, classificá-las de acordo com o número de subunidades que as compõem, podendo ser, dessa maneira, monômeros (aminoácidos), dímeros (queratina), trímeros (colágeno), tetrâmeros (hemoglobina) etc.

Além disso, ainda há a possibilidade de categorizá-las de acordo com sua forma (globular ou fibrosa), ou conforme sua composição química (simples ou complexa).

### Composição química

Existem proteínas que possuem apenas aminoácidos em sua composição, sendo denominadas **proteínas simples**. Se sofrerem hidrólise, elas liberarão apenas os aminoácidos que fazem parte de suas cadeias peptídicas.

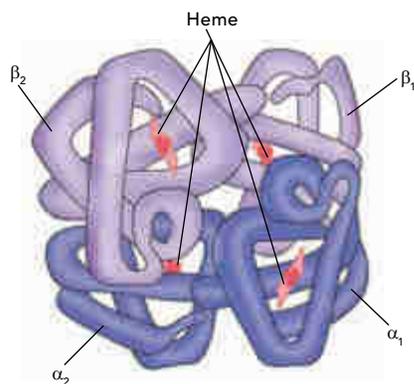
Por outro lado, algumas proteínas podem ter estruturas não proteicas associadas a elas. Em uma eventual hidrólise, essas proteínas liberam aminoácidos e outros compostos, os radicais não peptídicos, com os quais elas se ligam. Nesse caso, elas recebem o nome de **proteínas complexas** ou **conjugadas**, e a parte não proteica recebe o nome de **grupo prostético**. Esse grupo pode se apresentar de maneiras distintas.

- **Metais** – A hemoglobina, a mioglobina e os citocromos são exemplos de proteínas em que o grupo prostético é composto por ferro.
- **Ácidos nucleicos** – O cromossomo é uma associação entre proteínas histonas e o DNA.
- **Açúcares** – Várias proteínas podem se associar a carboidratos, formando glicoproteínas e proteoglicanas.

### Forma e solubilidade em água

As proteínas podem ser globulares ou fibrosas, conforme a disposição espacial final de suas estruturas. A forma que as proteínas assumem influi diretamente na sua interação com o meio e com outras substâncias.

- **Proteínas globulares** – Apresentam-se como glóbulos, enoveladas. A forma dessas proteínas facilita sua interação com a água, de maneira que são solúveis em meio aquoso, como as histonas (proteínas que participam da constituição dos cromossomos) e proteínas transportadoras, como a hemoglobina, alguns hormônios, anticorpos, enzimas etc.
- **Proteínas fibrosas** – São longas e desenroladas, apresentando-se como filamentos delgados, em uma estrutura que dificulta interações com a água, sendo, portanto, insolúveis. São exemplos de proteínas fibrosas a queratina (cabelos), o colágeno (tecidos) e a fibrina (coagulação sanguínea).



Molécula de hemoglobina, proteína globular, suas cadeias α e β e seus grupos prostéticos heme (ferro).

Saiba mais

### Formação de fibras de colágeno e queratina

Tanto o colágeno como a α-queratina são proteínas que possuem estruturas quaternárias. Quanto à quantidade de subunidades em sua composição, o colágeno é considerado um trímero; e a α-queratina, um dímero.

Cada subunidade do colágeno é uma super-hélice, sendo que, nas suas extremidades, há regiões globulares para a conexão dessas subunidades. Cada proteína pode, ainda, se associar a outras proteínas idênticas para formar fibras mais espessas.

A α-queratina do cabelo, por sua vez, é uma proteína alongada, em que a cadeia forma três α-hélices que dobram e ficam lado a lado, sendo unidas por ligações dissulfeto em uma super-hélice.

## Desnaturação e inativação

### Desnaturação por calor

Na desnaturação por meio do **calor**, as ligações de hidrogênio são destruídas e as estruturas secundária, terciária e quaternária desorganizam-se. Apenas a estrutura primária permanece intacta. Como a atividade biológica é determinada pela estrutura proteica intacta em todos os seus níveis, a proteína desnaturada não funciona.

Em algumas proteínas, a desnaturação é um processo irreversível. Nelas, quando a temperatura volta ao normal, as ligações de hidrogênio são refeitas, mas de forma aleatória, impedindo a recuperação da estrutura original da proteína. Já em certas proteínas fibrosas, como a queratina, esse processo é reversível devido à sua estrutura alongada peculiar.

Esse processo não altera a composição da proteína, apenas sua estrutura. Assim, sua função biológica é desativada, mas seu valor nutritivo, ou seja, a sequência de aminoácidos que a compõem, permanece inalterado. Portanto, a desnaturação proteica não afeta a absorção dos nutrientes, visto que a proteína é quebrada em aminoácidos no processo digestivo. Dessa forma, a proteína, desnaturada ou não, fornecerá os mesmos aminoácidos.

Esse raciocínio explica porque um hormônio como a insulina não pode ser aplicado por via oral em pacientes. Sabe-se que a insulina é um hormônio proteico. Por isso, se fosse administrado oralmente, ele seria digerido e quebrado em aminoácidos. Para se manter intacto, ele tem que ser aplicado por meio de injeções, chegando à corrente sanguínea com sua estrutura espacial intacta.

Em condições normais, as chamadas **proteínas chaperonas** criam "jaulas" para isolar as proteínas, enquanto essas se enrolam. Caso não existisse essa proteção, a exposição de grupos apolares, que devem estar dentro da estrutura proteica, com grupos apolares semelhantes de outras proteínas, poderia levar à formação de aglomerados proteicos, com consequências negativas semelhantes à desnaturação.

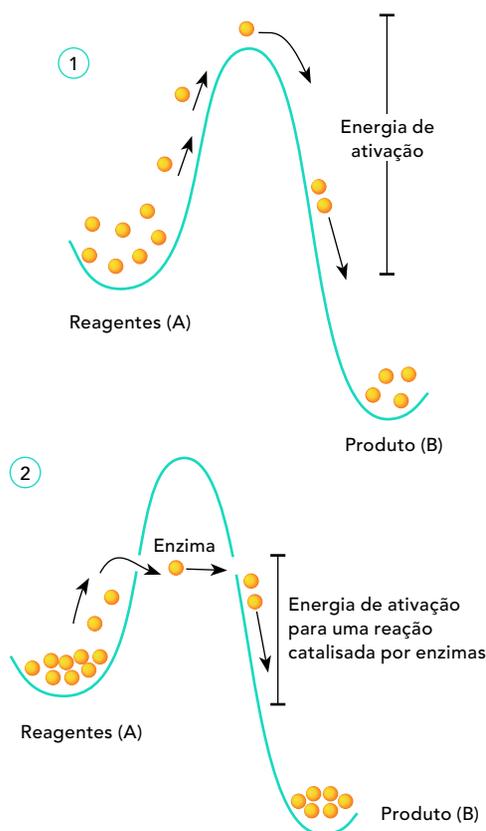
### Inativação por pH

A inativação por pH é uma situação em que, devido à uma mudança de pH do meio, desorganiza-se a estrutura terciária da proteína. Isso ocorre porque íons H<sup>+</sup> ou OH<sup>-</sup> acabam interagindo com os radicais R ionizados —COO<sup>-</sup> ou —NH<sub>3</sub><sup>+</sup>, respectivamente. Isso faz com que suas cargas desapareçam, formando, então, —COOH ou —NH<sub>2</sub>. A atração eletrostática também se dissipa, e a ligação sal que mantém a estrutura terciária é rompida. Assim, restam intactos apenas os dois primeiros níveis da estrutura proteica.

Dessa maneira, cada proteína atua em determinado pH, como as proteínas enzimáticas do estômago, que atuam em pH ácido de 1,8 a 2,0. Ao mudar o pH do meio, ela não funciona, sendo, assim, inativada. Esse processo é reversível, basta que o pH retorne ao seu nível normal para reativar a proteína.

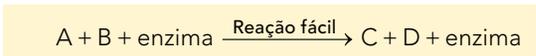
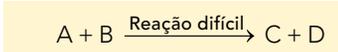
## Enzimas

As **enzimas** são catalisadores biológicos. Catalisador é uma substância que tem a propriedade de acelerar reações químicas sem ser alterada pelo processo, podendo, assim, ser utilizada várias vezes para realizar a ação. Os catalisadores atuam diminuindo a **energia de ativação** da reação, e é essa economia de energia que permite a aceleração das reações. Sua eficiência é tão marcante, que a reação pode efetuar-se de  $10^8$  a  $10^{11}$  vezes mais rapidamente do que aquelas não catalisadas.



Na figura 1, os reagentes (A) necessitam de uma alta energia de ativação para ultrapassar a barreira de dificuldade e atingir seu objetivo, que é o de originar o produto (B). Em 2, a enzima economiza esse trabalho, “abrindo um túnel”, facilitando a ação dos reagentes.

Dois compostos que participam de uma reação, normalmente, possuem certo grau de estabilidade entre si. A combinação desses componentes não ocorre de uma maneira mais fácil exatamente devido à essa estabilidade. Portanto, a energia de ativação é uma determinada quantidade de energia que tem que ser fornecida ao sistema para que as moléculas deixem de ser quimicamente estáveis e possam reagir entre si. As enzimas atuam porque se combinam com os reagentes mais facilmente do que eles se combinam entre si. Uma vez associadas aos reagentes, a reação, que era difícil de acontecer, torna-se mais fácil.



Os compostos orgânicos, em geral, por serem dotados de notável estabilidade, têm uma enorme tendência a não reagirem entre si. Isso é altamente benéfico, pois confere à matéria viva uma alta estabilidade química. No entanto, certas reações químicas são necessárias para o metabolismo do ser vivo. As enzimas, assim, permitirão que essas reações aconteçam mesmo entre compostos cuja reatividade é mínima. Dessa maneira, praticamente toda reação que acontece no interior de um organismo vivo ocorre somente devido à atuação de uma enzima que permite tal processo. É isso que confere às enzimas um papel essencial dentro dos seres vivos.

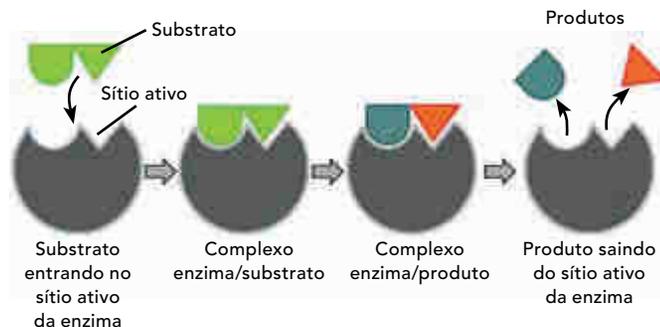
As enzimas são a maior e mais especializada classe de moléculas de proteína. Há milhares de enzimas diferentes só na espécie humana. Essas substâncias representam um dos produtos mais importantes provenientes dos genes contidos nas moléculas de DNA. A complexa rede de reações químicas envolvidas no metabolismo celular é dirigida por enzimas. São elas que viabilizam as inúmeras reações metabólicas celulares. Sem elas, as reações aconteceriam, mas em um espaço de tempo muito longo e incompatível com a vida, além disso, haveria um gasto maior de energia.

As enzimas (do grego *en*, “em”; *zyme*, “fermento”) podem estar presentes nas células sob uma forma inativa, chamada **proenzima** ou **zimogênio**. A alteração das moléculas de zimogênio devido a determinados fatores leva à sua conversão para a forma ativa. Por exemplo, o pepsinogênio (zimogênio) no estômago só se transforma em pepsina (enzima) quando ocorre a liberação de ácido clorídrico (HCl) pelas células da mucosa gástrica, pois ele propicia o meio ácido que leva o pepsinogênio a perder um aminoácido e ativar-se em pepsina.

## Propriedades da ação enzimática

### Sítio ativo e especificidade com o substrato

A ação enzimática é um processo que ocorre entre as enzimas e o substrato em um nível molecular. As enzimas, moléculas proteicas, se ligam às moléculas do substrato em pontos específicos, denominados **sítios ativos**. O substrato, então, se liga às enzimas nesses determinados pontos. Essa interação altera o substrato, transformando-o em produto, mas não afeta a enzima. Além disso, como tal reação é reversível, a própria enzima que catalisa a reação direta catalisa, também, a inversa.



Observe que a enzima não se altera após a reação.

As enzimas aceleram a reação até que um equilíbrio seja alcançado. Esse tipo de proteína catalítica possui grande especificidade para seus substratos e, conseqüentemente, não aceitará outras moléculas, mesmo que seja apenas uma pequena diferença em sua configuração. Isso pode ser explicado pelo **modelo chave-fechadura**, o qual postula que a enzima

possui um sítio ativo complementar para cada substrato. Se este possuir uma forma diferente, ele não se ligará à enzima.

A necessidade de complementaridade entre enzima e substrato pode ser explicada pela maneira como a enzima catalisa a sua reação. Enzimas agem por meio de forças intermoleculares fracas, de pequeno raio de ação. Se não houver o perfeito encaixe, a grande distância do substrato para o sítio ativo impedirá essas forças fracas de atuarem. Somente com a complementaridade, o perfeito encaixe do substrato no sítio ativo garantirá a proximidade necessária para ação enzimática.

Devido à alta especificidade, a nomenclatura das enzimas é feita adicionando o sufixo **-ase** ao nome do substrato ou à função da enzima.

Nome da enzima = Nome do substrato e/ou função + **-ase**

Assim, a enzima que quebra a maltose é a maltase; aquela que quebra a sacarose é a sacarase (também chamada sucrose ou invertase); e a que quebra a lactose é denominada lactase. Pode-se ainda nomear, da mesma forma, de acordo com a função promovida pela enzima, por exemplo, as hidrolases, descarboxilases e transaminases. Essas três são enzimas que promovem, respectivamente, reações de hidrólise, descarboxilação e transaminação.

### Ação reversível

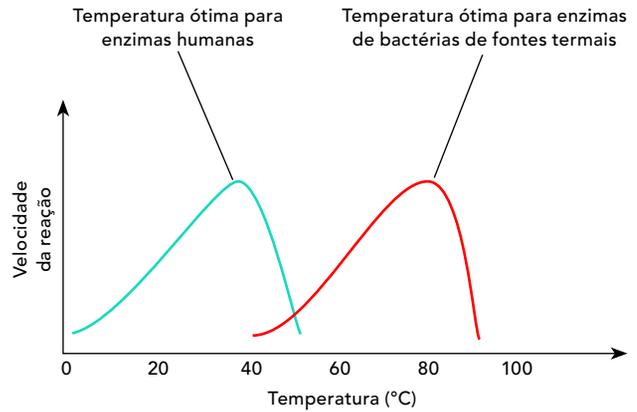
A mesma enzima pode catalisar tanto a reação direta como a reação inversa. Isso ocorre porque a enzima é um catalisador e, como tal, não altera o ponto de equilíbrio da reação. Desse modo, a enzima acelera a reação, mas não define qual sentido a ser tomado. A mesma maltase catalisa a reação de formação de maltose a partir de glicose e, também, de quebra de maltose em glicose. Quem define o sentido da reação são as condições de equilíbrio, de acordo com o Princípio Químico de Le Chatelier. Assim, se a concentração de maltose é baixa no meio, o equilíbrio se desloca no sentido de formar maltose, mas se a concentração de glicose for baixa, o equilíbrio se desloca no sentido de formar glicose.

### Ação influenciada pela temperatura

A velocidade de qualquer reação química duplica ou triplica com o aumento da temperatura do meio. Isso acontece porque, elevando-se a temperatura, a energia das moléculas aumenta e, conseqüentemente, o número de choques entre elas. A variação de temperatura facilita a eficiência de qualquer reação, diminuindo a energia de ativação necessária.

Esse princípio também se aplica às reações enzimáticas. Assim, ao baixar a temperatura do sistema em 10 °C, a velocidade da reação é reduzida à metade ou a um terço da temperatura inicial. O limite máximo de temperatura na qual a reação enzimática pode ocorrer é aquele em que a temperatura pode provocar a desnaturação da enzima. A partir dessa temperatura, a velocidade da reação deixa de aumentar e cai bruscamente, pois a enzima desnaturada perde sua conformação espacial e, portanto, sua função biológica.

Para cada tipo de enzima, existe uma **temperatura ótima** na qual a velocidade da reação é máxima, sem que ocorra desnaturação. A maioria das enzimas humanas apresenta uma temperatura ótima em torno de 35 °C e 40 °C, visto que a temperatura do corpo humano é, em média, de 37 °C. Por outro lado, em bactérias que vivem em fontes termais, a temperatura ótima para as enzimas desses seres pode ultrapassar os 70 °C.



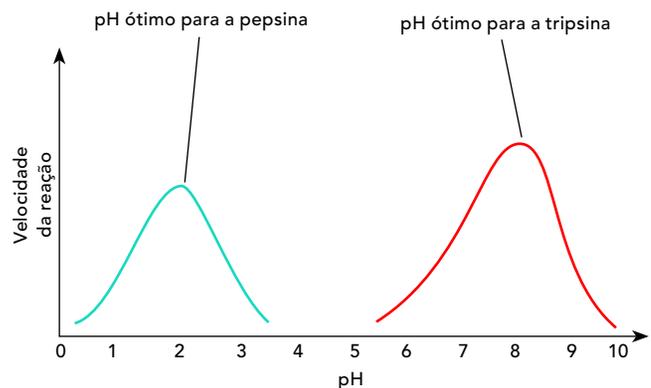
Representação gráfica das temperaturas ótimas de enzimas humanas e bacterianas.

A **febre** é uma resposta do organismo, que eleva a temperatura corporal para aumentar a atividade química das enzimas e, assim, acelerar reações de defesa, tais como produção de anticorpos, proteínas de reparo etc. É importante perceber que essa febre é benéfica. Porém, ela passa a ser prejudicial a partir do momento em que a temperatura aumenta, iniciando o processo de desnaturação de enzimas. As enzimas das células nervosas são particularmente suscetíveis à desnaturação, de modo que, diante de uma febre muito alta, delírios, convulsões e, eventualmente, morte podem ocorrer.

### Ação em pH específico

Cada reação química ocorre em um pH específico, e com as reações enzimáticas não é diferente. Cada enzima atua apenas em determinado pH, havendo um **pH ótimo** no qual a atividade da enzima é máxima. Isso ocorre porque uma proteína, quando colocada em um pH que não é o seu pH de funcionamento normal, perde sua forma espacial e sua atividade biológica. O mesmo acontece com as proteínas enzimáticas.

Por exemplo, a enzima pepsina só atua em um meio de pH muito baixo (altamente ácido), em torno de 1,8 a 2,0, proporcionado pelo ácido clorídrico no estômago. A enzima tripsina atua em meio alcalino, com pH entre 8 e 9.



Representação gráfica dos níveis de pH ótimos para duas enzimas: a pepsina e a tripsina.

Como uma enzima só age em condições determinadas de pH, muitas vezes o organismo utiliza enzimas diferentes para realizar uma mesma reação em regiões específicas do corpo. Por exemplo, diversas proteases estão presentes no sistema digestório, uma vez que cada compartimento do tubo digestivo possui condições diferentes de pH. Assim, como a pepsina necessita de um pH altamente ácido para atuar, o meio estomacal, cujo pH permanece entre 1,8 e 2, é ideal para essa enzima. A tripsina, no entanto, age no duodeno, cujo pH fica entre 7,8 e 8,2, proporcionando o meio básico ideal.

Durante a digestão de proteínas, essas duas enzimas operam sobre pontos de quebra diferentes, ou seja, a pepsina e a tripsina não atacam as mesmas ligações peptídicas. Contudo, em alguns casos, a reação é idêntica, sendo o mesmo substrato e o mesmo produto, e as enzimas denominando-se, então, **isozimas** ou **isoenzimas**.

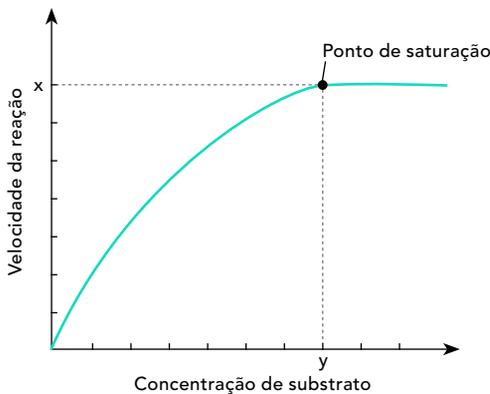
### Ação em pequenas concentrações

Como as enzimas são catalisadores, elas não são consumidas no processo e promovem as reações individuais em altas velocidades, logo se liberando para promover uma nova reação. Desse modo, uma pequena quantidade de enzima é necessária para realizar a reação.

### Ação proporcional à concentração do substrato

Para uma concentração fixa de enzima, um eventual aumento na concentração de substrato aumenta a velocidade da reação. Isso ocorre porque a maior parte das moléculas de enzima encontra-se inativa. Em concentrações elevadas de substrato, as moléculas de enzima inativas passarão à forma de complexo enzima-substrato, atingindo a velocidade máxima da reação.

Aumentando a concentração do substrato além desse ponto, nada ocorre, pois não há mais enzimas para que ocorram reações naquele momento. Consequentemente, não há mais aumento na velocidade da reação global, e ela se torna constante, atingindo o chamado **ponto de saturação**. Nesse caso, a velocidade só volta a aumentar se a concentração enzimática do meio for aumentada ou após os substratos serem consumidos, liberando enzimas para a reação.



Representação gráfica demonstrando o ponto de saturação entre a concentração máxima de substrato e a velocidade máxima da reação. Observe como a curva se estabiliza em certo momento do processo.

### Enzimas conjugadas

Existem algumas enzimas que são proteínas conjugadas, ou seja, além da parte proteica, elas possuem uma parte não proteica ou **grupo prostético**. A enzima conjugada só funciona quando ligada a esse grupo prostético, sendo este essencial à catálise ou à ligação entre enzima e substrato.

A parte proteica da enzima é chamada **apoenzima**. O grupo prostético, por sua vez, pode receber nomes diferentes de acordo com sua composição. Ele será denominado **coenzima** quando for uma substância orgânica (vitaminas), ou **cofator**, se for uma substância inorgânica, como íons metálicos (cálcio, potássio, zinco, manganês etc.). A enzima completa (apoenzima + coenzima ou cofator) é denominada **holoenzima**.

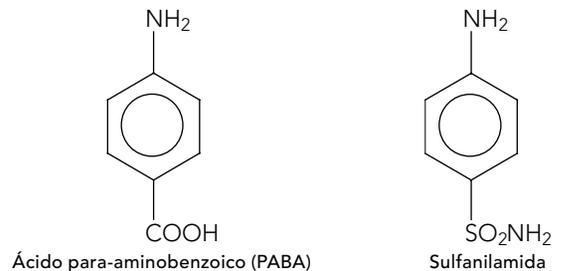
Holoenzima = apoenzima + coenzima (ou cofator)

### Inibição enzimática

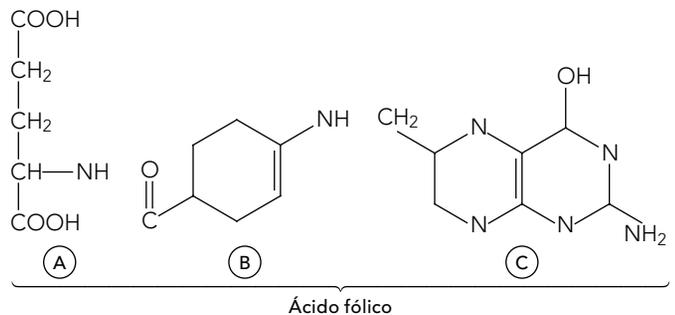
A atividade enzimática pode ser inibida por meio de determinados processos. Alguns deles são reversíveis, enquanto outros não.

A **inibição reversível** pode ocorrer devido a vários processos, sendo o mais importante a **inibição competitiva**. Esta acontece quando certas substâncias se ligam ao sítio ativo no lugar do substrato, por serem muito parecidas com ele. Esses inibidores não formam produtos, apenas ocupam o sítio ativo, atrapalhando a reação. Quando tem-se tanto o substrato quanto o inibidor, eles vão competir pelo sítio ativo da enzima. Se o inibidor estiver em maior concentração, ele vai se ligar à maior parte das moléculas enzimáticas. Estas, por sua vez, ficam impedidas de catalisar a reação com o substrato.

Um exemplo desse processo é o que acontece com as **sulfas**, um tipo de antibiótico. As bactérias produzem uma substância conhecida como ácido fólico (uma vitamina essencial para seu crescimento e sua reprodução) a partir de três compostos: o ácido glutâmico (um aminoácido), o PABA (ácido para-aminobenzoico, outra vitamina) e a nucleopteridina (derivada de bases nitrogenadas).

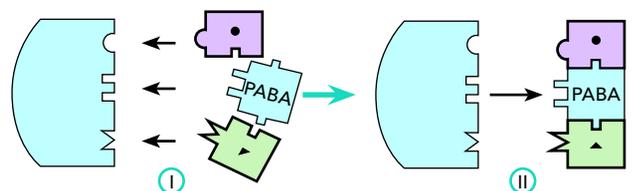


Estrutura molecular do PABA e da sulfanilamida.

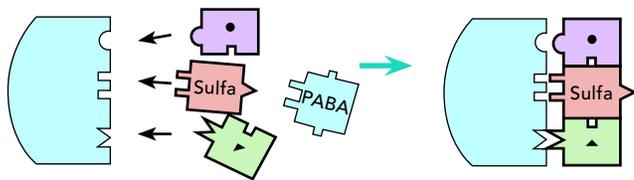


Ácido fólico, ou vitamina B9, é formado por três componentes: o ácido glutâmico (A), o PABA (B) e a nucleopteridina (C).

A sulfa possui um grupo sulfanilamida profundamente semelhante ao PABA, do ponto de vista químico. Ao ser administrada, a sulfa competirá com o PABA pelo sítio ativo da enzima que produz o ácido fólico. Se a sulfa estiver em maior concentração, ela ocupa o sítio ativo de maior parte das enzimas no lugar do PABA. Dessa forma, o ácido fólico será produzido em quantidades insuficientes, e a bactéria é impedida de se multiplicar, sendo facilmente eliminada pelo organismo.



A enzima encaixa os substratos (I) (ácido glutâmico, PABA e nucleopteridina) e forma o ácido fólico (II). A bactéria se beneficia.



(▲) Ácido glutâmico  
(●) Nucleopteridina

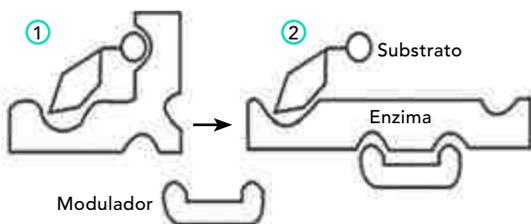
A sulfa compete com o PABA e ocupa o seu lugar. O ácido fólico não se forma, e a bactéria morre.

Por outro lado, a inibição pode ser **irreversível**, ocorrendo por meio de uma ligação forte (covalente) do inibidor com o sítio ativo, impedindo, permanentemente, que o substrato interaja com a enzima. Como exemplo de inibição irreversível, existe a inibição da enzima respiratória **citocromo-oxidase** por ação do íon cianeto, componente do veneno cianureto. Esse íon (CN<sup>-</sup>) combina-se, irreversivelmente, com a enzima, impedindo sua atuação, ou seja, o transporte de elétrons na cadeia respiratória. Ele se combina com o ferro da proteína, impedindo que ele se oxide ou reduza para executar o transporte.

## Enzimas alostéricas

A atividade da enzima pode, também, ser regulada. Algumas delas possuem, além do sítio ativo, o chamado **sítio alostérico**. Este não recebe substrato e não está relacionado diretamente à atividade catalítica. Tal sítio recebe os chamados **reguladores alostéricos**. Esses reguladores ligam-se aos sítios alostéricos promovendo uma alteração na estrutura da enzima, de maneira a aumentar ou diminuir a atividade de catalise. No primeiro cenário, a velocidade da reação aumenta, e o regulador é denominado **ativador alostérico**. No segundo, a velocidade diminui ou cessa a atividade da enzima, sendo o regulador chamado **inibidor alostérico**.

Cada enzima alostérica, da mesma maneira que proporciona uma determinada reação, possui um ou mais reguladores específicos. É possível que possua apenas ativadores, apenas inibidores ou os dois simultaneamente. Por vezes, pode até haver mais de um inibidor ou ativador.



Em 1, enzima com substrato perfeitamente encaixado. Em 2, devido ao regulador alostérico inibidor, enzima com configuração diferente e menor afinidade com o substrato.

Uma molécula pode ser **ativador alostérico** da enzima que a consome ou que consome uma molécula à frente na via metabólica, em um mecanismo dito **ativador pelo precursor**.

Uma molécula no final da via pode ser **inibidor alostérico** da primeira enzima, autorregulando a via: quando o produto se acumula, inibe a enzima que proporcionou o início de sua síntese, em um mecanismo chamado **retroinibição**, equivalente aos processos hormonais de *feedback*.

## Vitaminas

Muitas doenças são causadas devido a uma alimentação deficiente. Nos séculos XVIII e XIX, notou-se que determinados males, como o escorbuto e o beribéri, eram causados pela não ingestão de determinados alimentos ou pela ingestão em quantidades irregulares.

O bioquímico polonês Casimir Funk (1884-1967) descobriu uma substância que, caso não estivesse presente na alimentação do indivíduo, conduziria a um quadro clínico conhecido por beribéri. Tal substância mostrou-se vitalmente importante para o bom funcionamento do organismo de várias espécies de animais. Dessa forma, por ser quimicamente classificada como uma amina, essa substância foi denominada **amina vital** ou **vitamina**. Esta última denominação se consagrou como termo para designar os componentes desse grupo, mesmo que nem todos sejam aminas.

As vitaminas são substâncias orgânicas especiais; não são fonte de energia nem desempenham função estrutural, agindo, frequentemente, como coenzimas ou suas precursoras, ativando diversas enzimas essenciais para o metabolismo dos seres vivos. Assim, elas não têm uma identidade química própria, algumas são aminas (como a vitamina B1), outras são alcoóis (como a vitamina A), outras são ácidos (como a vitamina C) etc.

## Características das vitaminas

Os compostos vitamínicos possuem as características seguintes.

### Vitaminas não são fontes de energia

As vitaminas são **alimentos reguladores** e agem auxiliando a função enzimática. Elas não podem ser utilizadas como combustíveis para a respiração celular, da mesma forma que os glicídios, os lipídios e as proteínas. Sua relação com a produção de energia corresponde à sua ação enquanto coenzimas de enzimas que agem no processo respiratório, de modo que esse processo é interrompido na ausência delas.

### Vitaminas agem em quantidades mínimas

Como as vitaminas agem junto às enzimas, e estas operam em quantidades mínimas, as vitaminas também exercem suas funções em pequenas concentrações, sendo, pois, consideradas **micronutrientes**, correspondendo a menos de 1% das necessidades dietéticas diárias. Seus requisitos são tão baixos que, muitas vezes, em rótulos de alimentos, não há discriminação das massas das vitaminas em gramas, mas sim em UI (unidades internacionais). O valor da UI representa uma massa padrão de vitamina e pode variar, ou seja, a UI para a vitamina A não é a mesma para a vitamina E, por exemplo.

As vitaminas são chamadas de micronutrientes porque são necessárias na dieta humana em quantidades de ordem de miligramas ou microgramas por dia. Esse termo serve para distingui-los dos **macronutrientes** (carboidratos, proteínas e gorduras). Essas substâncias são necessárias em grandes quantidades na dieta, em torno de dúzias ou centenas de gramas por dia, pois são provedoras de energia. Além disso, os macronutrientes são precursores de muitos componentes corporais e fornecem aminoácidos para a síntese de proteínas. Por outro lado, as vitaminas e os demais micronutrientes são necessários em pequenas quantidades, porque eles desenvolvem uma ação basicamente enzimática, tornando possíveis as transformações dos macronutrientes, processo que, em conjunto, chama-se **metabolismo**.

### Vitaminas não são produzidas em animais

Vitaminas são compostos essenciais para animais, ou seja, devem ser obtidas na dieta. Elas são produzidas nas estruturas celulares de plantas, bactérias e fungos unicelulares (leveduras). Algumas vitaminas são produzidas até por

bactérias que habitam a microflora intestinal. Algumas exceções são mamíferos, como os ratos e as baleias, que produzem vitamina C, ou os seres humanos, que produzem vitamina D na pele sob ação dos raios ultravioleta do Sol.

Na espécie humana, bactérias podem ser encontradas espalhadas por toda a superfície da pele e mucosas, esse conjunto é denominado **microflora** (ou **microbiota**) **bacteriana**. A principal dessas comunidades bacterianas é a **microflora bacteriana intestinal**, apesar de haver microfloras na boca, uretra, vagina e qualquer outra região corporal em contato direto com o ar atmosférico.

Entre o ser humano e as bactérias, é estabelecida uma relação ecológica denominada **mutualismo**, na qual ambos os indivíduos se beneficiam. O corpo humano fornece nutrientes e habitat adequado para as bactérias, as quais, em troca, produzem substâncias úteis, como as vitaminas K e B12, o ácido fólico e a biotina, e impedem a proliferação de bactérias patogênicas. Estas, também chamadas indígenas, no caso da microflora, não conseguem se estabelecer devido à competição com as bactérias mutualísticas.

A microflora é adquirida no momento do nascimento, quando o feto passa pelo canal de parto (vagina), uma vez que esse ambiente é bastante contaminado por bactérias. Elas, então, colonizam primeiramente a pele, e depois se instalam em outras áreas, como o tubo digestivo. No caso de crianças que nascem por partos cesarianos, o estabelecimento da microflora tarda a acontecer, uma vez que a criança não passa pela vagina na hora do parto, e é eventualmente adquirida por meio do contato com a mãe durante a amamentação, por exemplo. Isso pode desencadear problemas, uma vez que a criança terá deficiências vitamínicas e maiores riscos de desenvolvimento de infecções intestinais, que podem conduzir a diarreias. O uso prolongado de antibióticos, em qualquer faixa etária, pode destruir parte da microflora e levar, também, aos problemas citados anteriormente.

A principal das bactérias da microflora é a *Lactobacillus*. Ela é obtida por meio da ingestão de laticínios como o próprio leite e seus derivados, principalmente iogurtes, que também contém essas bactérias vivas. Alimentos contendo bactérias para a manutenção ou renovação da microflora, essencial ao bom funcionamento do intestino, são chamados **probióticos**.

## Muitas vitaminas têm ação antioxidante e protegem contra radicais livres

**Radicais livres** são espécies químicas com falta de elétrons em sua estrutura. Desse modo, elas retiram elétrons de outras moléculas, promovendo sua oxidação. Se as moléculas atacadas forem de DNA ou proteínas, os prejuízos são vários. Ao remover elétrons do DNA, os radicais livres podem alterar sua estrutura, causando mutações, que, em determinados genes, desencadeiam cânceres de diversas naturezas. Quando atacam proteínas, o principal componente estrutural das células, podem levar estas à morte, ocasionando o envelhecimento do indivíduo.

Os radicais livres no corpo humano se originam, principalmente, de processos oxidativos relacionados ao metabolismo energético. Esses processos produzem, muitas vezes, peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ , popularmente conhecido como água oxigenada), responsável pela formação de uma classe de radicais livres conhecida como **espécies ativas de oxigênio** (EAO). Assim, na respiração aeróbica, muitas vezes, ocorre produção de peróxido de hidrogênio na cadeia respiratória nas mitocôndrias. Da mesma forma, no processo de  $\beta$ -oxidação dos lipídios, ocorre a formação de  $H_2O_2$  nos peroxissomos. Estes, por sua vez, produzem a enzima catalase

para degradar parte dessa água oxigenada, gerando água e gás oxigênio, utilizado na oxidação de substâncias tóxicas, que são destruídas no organismo em um processo de detoxificação.

Vitaminas que combatem os radicais livres, se oxidando antes das moléculas da célula serem afetadas, são denominadas vitaminas **antioxidantes**. Assim, elas são sacrificadas para evitar danos aos componentes celulares. São exemplos dessas vitaminas as que fazem parte dos complexos B, C, P, A e E. Acredita-se que essas vitaminas diminuem os riscos de cânceres e retardam o envelhecimento, apesar de não haver comprovação experimental desse último efeito.

Por enquanto, a única maneira cientificamente comprovada de retardar o envelhecimento é a **restrição calórica**. Apesar de não haver experiências com humanos para verificar tais efeitos, pesquisas com ratos e outras cobaias apontam um aumento de até 50% na expectativa de vida com uma restrição calórica da ordem de 30%. Ou seja, comer menos aumenta o tempo de vida, e a explicação é simples: uma menor ingestão de alimento implica em uma menor atividade respiratória de oxidação de moléculas orgânicas e, conseqüentemente, em uma menor produção de radicais livres relacionados ao envelhecimento. Algumas enzimas também podem contribuir para o combate à ação nociva dos radicais livres, como é o caso da **superóxido dismutase**, encontrada nos peroxissomos e que atacam radicais livres derivados de oxigênio.

## Doenças nutricionais relacionadas às vitaminas

As vitaminas funcionam como componentes de certas enzimas que requerem fatores não proteicos, isto é, grupos prostéticos para sua função catalítica. Em algumas enzimas, o cofator atua diretamente no processo catalítico; em outras, ele participa como transportador transitório de algum grupo funcional específico, derivado do substrato. Os cofatores podem ser orgânicos, denominados coenzimas, como as vitaminas; ou inorgânicos, como certos íons.

Certas doenças podem decorrer de falta (avitaminose), insuficiência (hipovitaminose) ou excesso (hipervitaminose) de certas vitaminas. Esses distúrbios surgem devido a perturbações metabólicas decorrentes da pequena atividade de enzimas relacionadas, ou seja, enzimas que possuem vitaminas como cofatores. Isso pode levar ao acúmulo de metabólitos tóxicos ou então à atividade exagerada de tais substâncias, incluindo a possibilidade de a própria vitamina, em excesso, originar algum desses metabólitos tóxicos.

## Classificação das vitaminas

O critério para a classificação das vitaminas diz respeito à sua solubilidade. Vitaminas **hidrossolúveis** são aquelas que se solubilizam em água e outros solventes polares, e vitaminas **lipossolúveis** são aquelas solúveis apenas em óleos, gorduras e outros solventes orgânicos apolares.

Com base nessa classificação, conclui-se que vitaminas hidrossolúveis podem ser encontradas em alimentos ricos em água, como leveduras, frutas e verduras, basicamente. Enquanto as lipossolúveis são encontradas em alimentos gordurosos, como óleos e sementes, ou ricos em lipídios carotenoides, como cenoura e beterraba. Miúdos de carne (fígado, coração, moela etc.) são boas fontes de quaisquer vitaminas.

Vitaminas hidrossolúveis: Complexo B, C e P.  
Vitaminas lipossolúveis: A, D, E e K.

As vitaminas lipossolúveis são mais fáceis de armazenar, permanecendo no organismo por mais tempo, em particular no **fígado**. Assim, é mais fácil uma hipervitaminose por elas do que pelas hidrossolúveis. De modo semelhante, é mais fácil uma hipovitaminose por vitaminas hidrossolúveis, pois o tempo de armazenamento dessas vitaminas é menor, requerendo uma maior presença na alimentação diária.

## Vitaminas hidrossolúveis

### Complexo B

O complexo B compreende uma série de vitaminas encontradas em fontes semelhantes, como **vegetais folhosos** e **leveduras**, e que atuam como coenzimas ligadas ao processo de respiração celular. Assim, a eventual falha nutricional de tais vitaminas leva a males como dermatites e neurites, resultantes da deficiência enzimática na oxidação da glicose.

As dermatites (inflamações na pele) acontecem porque a pele está em constante descamação e reposição.

- **Descamação:** contínua eliminação por meio do atrito da pele com outros corpos, como os sabões de banho, por exemplo, da camada mais externa da epiderme, dita córnea, composta por células mortas.
- **Reposição:** produção de novas células para substituir as que foram perdidas, a fim de manter a integridade da pele.

As neurites acontecem porque os neurônios dependem exclusivamente da energia proveniente da quebra da glicose. Com a falta do complexo B, esse processo é prejudicado e, conseqüentemente, as células nervosas também. Essa condição causa dores nos nervos, fraqueza muscular e demência.

➤ **Vitamina B1 ou tiamina** – A vitamina B1, também conhecida como **aneurina**, foi a primeira vitamina do complexo B a ser descoberta e isolada. É obtida na alimentação na forma de cloridrato de tiamina, mas sua forma ativa é a TPP, tiamina pirofosfato, resultante da fosforização da tiamina com duas moléculas de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ).

O requisito diário de tiamina é, em geral, para o ser humano, de doses entre 1 e 2 mg, independente da faixa etária. As principais fontes dessa vitamina são vegetais de folhas verdes, cutícula de arroz (e arroz integral), levedo, legumes, carne de porco, miúdos de carne (fígado, coração, rim) etc. No ser humano, os melhores depósitos de TPP (tiamina ativa) são o fígado, o coração e os rins.

Na carência de B1, ocorre distúrbio metabólico na etapa de formação de acetil-coA, com acúmulo anormal de compostos intermediários, o que se expressa clinicamente como o beribéri (do japonês “eu não posso, eu não posso”), também chamado *shoshin* (palavra de origem cingalesa que significa “debilidade”).

O beribéri é uma polineurite generalizada, caracterizada por anorexia, depressão mental, dores nos nervos, fadiga, paralisia dos membros e sintomas fisiológicos decorrentes dos problemas neurológicos.

➤ **Vitamina B2 ou riboflavina** – A vitamina B2 ou riboflavina atua na forma de FAD (flavina-adenina-dinucleotídeo) em combinação com enzimas desidrogenases (flavoproteínas ou flavinas desidrogenases). Essas enzimas atuam por meio da oxidação de compostos pela retirada de hidrogênios.

No ciclo de Krebs, o FAD atua comoceptor intermediário de elétrons/hidrogênios, acumulando energia na forma de elétrons de íons hidreto  $H^-$  e passando à forma reduzida  $FADH_2$ . Na cadeia transportadora de elétrons, no final do

processo respiratório, o  $FADH_2$  transfere elétrons para o oxigênio por meio dos citocromos, liberando a energia acumulada para que ela produza ATP e íons  $H^+$ , regenerando o FAD.

A riboflavina pode ser obtida em leite e derivados, folhas verdes, cereais, legumes, ovos e miúdos de carne. Além disso, a microflora bacteriana intestinal produz pequenas quantidades de B2, o que impede formas muito graves de avitaminose. A recomendação diária varia entre 0,4 mg para lactentes e 1,9 mg para mulheres lactantes.

A carência de B2 pode resultar em:

- **Queilite ou estomatite angular:** fissuras no canto da boca e inflamação local, descamação e formação de crostas.
- **Glossite:** inflamação da língua.
- **Problemas oculares:** córnea anormalmente vascularizada por proliferação e congestão de capilares, fadiga óptica e fotofobia.
- **Dermatites:** inflamações epidérmicas na região do nariz, boca e escroto.
- **Vitamina B3 ou PP** – A vitamina B3, PP ou **nicotinamida** foi isolada, no início do século XX, a partir do tabaco. Ela recebeu o nome alternativo de niacinamida para evitar que as pessoas pensassem que o tabaco é nutritivo.

A nicotinamida ou niacinamida é componente de duas importantes coenzimas, o NAD (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) e o NADP (NAD + fosfato). Essas coenzimas se apresentam em formas oxidadas ( $NAD^+$  e  $NADP^+$ ) e reduzidas (NADH e NADPH). O componente nicotinamida destas coenzimas atua como aceptores intermediários de hidrogênio (elétrons), na forma de íons hidreto  $H^-$ . Isso ocorre por meio da interconversão entre a forma oxidada e a reduzida. Assim, os íons são enzimaticamente removidos de substratos orgânicos por meio de enzimas ditas desidrogenases.

As fontes básicas dessa vitamina são fígado, carne, peixe, cereais e legumes. Os requisitos diários variam entre 5 mg para lactantes e 20 mg para indivíduos adultos do sexo masculino.

A carência da nicotinamida acarreta a doença chamada **pelagra** (do italiano “pele grossa”). O termo PP significa “preventivo da pelagra”. Por isso, muitas vezes utiliza-se o termo PPF (*pellagra preventive factor*) como sinônimo de vitamina PP.

Não se conhece exatamente o mecanismo pelo qual a carência de vitamina PP origina a pelagra, cujos sintomas são:

- **Dermatite generalizada:** formação de vesículas e subseqüentes crostas e cicatrização, origem do termo “pele grossa”; vermelhidão intensa; descamação em casos prolongados, em especial nas regiões do corpo expostas à luz solar, ou trauma mecânico.
- **Diarreia:** ocorre devido ao mau funcionamento das glândulas digestivas, o que também provoca náuseas e vômitos. É acompanhada de lesão na mucosa e ardência no trato digestivo.
- **Demência:** debilidade mental e distúrbios no sistema nervoso central. Caso quantidades adequadas de PP sejam administradas, o doente de pelagra apresenta uma cura surpreendente.

O organismo humano pode produzir PP a partir do aminoácido triptofano, processo que ocorre na presença de vitamina B6.

➤ **Vitamina B5 ou ácido pantotênico** – Formado pela união do ácido pantoico com o aminoácido alanina, o ácido pantotênico, outra denominação da vitamina B5, é um componente da coenzima A, uma coenzima essencial envolvida na acetilação de carboidratos, gorduras e aminoácidos.

O termo **pantotênico** significa “derivado de qualquer lugar”, devido ao fato dessa vitamina ser encontrada em praticamente qualquer fonte animal ou vegetal. Boas fontes são fígado, coração, rim, gema de ovo, amendoim, verdura e cereais. Carne, leite e frutas contêm quantidades apenas moderadas. O requisito diário é de cerca de 5 a 10 mg.

A síndrome resultante da hipovitaminose caracteriza-se por torpor, apatia, depressão, instabilidade cardiovascular, distúrbios adrenais e neuromotores, além de síntese prejudicada de anticorpos.

➤ **Vitamina B6 ou piridoxina** – O grupo da vitamina B6 consiste em três compostos intimamente relacionados: **piridoxina**, **piridoxal** e **piridoxamina**, os quais são facilmente interconversíveis. A forma ativa é o piridoxal-fosfato, podendo ocorrer, também, na forma amina, piridoxamina-fosfato.

A vitamina B6 age no metabolismo de aminoácidos no fígado, nos processos de **transaminação** e **desaminação**.

Boas fontes de vitamina B6 são fígado, carne, cereais integrais, soja, milho e outros vegetais. O requisito diário de B6 está entre 1,5 e 2 mg para adultos.

Os sintomas mais comuns da carência dessa vitamina são:

- dermatite seborreica ao redor dos olhos, nariz, boca e atrás das orelhas;
- dores nas extremidades do corpo, seguida de prejuízo motor, **acrodinia**;
- aumento na produção de ureia, decorrente da deficiência na transaminação dos aminoácidos.

➤ **Vitamina H ou B8** – A vitamina H, também chamada **biotina** ou B8, foi primeiramente isolada a partir do ovo, como um fator de crescimento necessário para as células de levedura e cabaias.

Os miúdos de carne, amendoim, chocolate, gema de ovo, couve-flor e cogumelos são as melhores fontes de biotina. A carência de biotina resulta em dermatite descamativa (seborreica), incluindo queda de cabelos (alopécia), e outros sintomas como palidez, anorexia, ligeira insônia, anemia e dores musculares.

A carência espontânea de biotina no ser humano parece pouco provável, pois os estudos indicam que essa substância é sintetizada pela microflora intestinal humana em quantidades suficientes, o que torna desnecessária uma fonte exógena.

➤ **Vitamina B9 ou ácido fólico** – A vitamina B9, também conhecida como **ácido pteroilglutâmico**, é quimicamente constituída por três partes: o aminoácido ácido glutâmico, o ácido para-aminobenzoico (PABA) e a pteridina (derivada de um composto heterocíclico contendo nitrogênio).

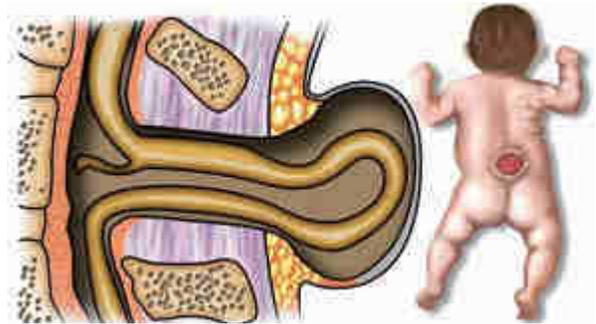
O principal papel do ácido fólico, que atua no ser humano na forma ativa de ácido tetraidrofólico, está relacionado a enzimas que participam da síntese de ácidos nucleicos e certos aminoácidos. Além disso, atua ao lado da vitamina B12 na produção de eritrócitos na hematopoiese.

Quantidades adequadas de ácido fólico podem ser encontradas no fígado, vegetais de folhas verdes, cereais etc. As necessidades diárias estão entre 0,05 mg para lactentes e 0,8 mg para mulheres grávidas.

Como foi estudado anteriormente, o ácido fólico é fator de crescimento para uma série de bactérias, algumas delas podem até sintetizá-lo a partir de seus constituintes, caso disponham de uma fonte externa de PABA. Tal descoberta foi valiosa, pois permitiu esclarecer o modo de ação

da sulfanilamida, um importante medicamento que impede o crescimento de bactérias patogênicas dependentes de PABA. A semelhança entre o PABA e a sulfanilamida provoca uma inibição competitiva na enzima que produz o ácido fólico. A flora bacteriana intestinal produz tal vitamina a partir do PABA, sendo também fonte dessa vitamina. Em compensação, ela também é sensível à ação das sulfas.

Na espécie humana, a carência dietética de ácido fólico produz uma anemia semelhante à anemia perniciosa, acompanhada de glossite, lesões gastrintestinais e diarreia. Em mulheres grávidas, a falta de ácido fólico pode acarretar má-formações do embrião, em particular espinha bífida, que consiste no não fechamento do tubo nervoso na região dorsal, condição muitas vezes letal para a criança. Não se recomenda bronzeamento artificial para mulheres grávidas, uma vez que a radiação ultravioleta destrói o ácido fólico da pele.



Representação esquemática de defeitos no tubo neural do feto (espinha bífida).

➤ **Vitamina B12** – A vitamina B12 ou **cobalamina** é a mais complexa entre as vitaminas, e a única que possui um elemento mineral ligado a ela, o cobalto. Apresenta-se como um grupo de vários compostos, sendo o principal deles a cianocobalamina, que apresenta um grupo cianeto. A B12 participa da formação das bases pirimidinas e do metabolismo das purinas, além de estar envolvida na síntese da desoxirribose do DNA. Dessa maneira, ela desempenha papel na síntese de ácidos nucleicos e nucleoproteínas. A participação dessa vitamina no metabolismo do DNA permite sua atuação na formação dos glóbulos vermelhos sanguíneos, com auxílio da vitamina ácido fólico, cujo metabolismo também depende de B12.

A vitamina B12 não é sintetizada por plantas ou animais, mas por certos micro-organismos, como os levedos *Streptomyces griseus* e *Streptomyces venezuelae*. A fonte pela qual obtém-se a vitamina B12 é a fermentação bacteriana no trato intestinal de animais, particularmente herbívoros. O ser humano, aparentemente, não extrai B12 suficiente de sua própria microflora bacteriana, requerendo um fornecimento da vitamina pré-formada em sua dieta (carnes, fígado e rins, principalmente; a maioria dos cereais são fontes muito pobres). O requisito humano diário ainda não foi determinado com precisão, mas ingestão de 0,6 a 1,2 mg é adequada para manter a saúde e a hematopoiese (produção de sangue) em indivíduos adultos normais.

A carência de B12 prejudica a hematopoiese, particularmente em relação aos eritrócitos, provocando uma doença conhecida como **anemia perniciosa** (ou de Addison), caracterizada por um baixíssimo nível de hemácias no sangue. Além disso, a vitamina em questão é necessária ao crescimento de vários micro-organismos.

Uma vez que a vitamina B12 é adquirida pela microflora bacteriana intestinal, sua eventual falta está relacionada à impossibilidade de absorvê-la no trato digestivo. Sua absorção

depende de uma substância chamada **fator intrínseco antianêmico** (FIA), produzido pela mucosa gástrica. Assim, lesões no estômago, como úlceras pépticas, podem prejudicar a produção de FIA e, conseqüentemente, a absorção de vitamina B12, o que pode levar à anemia perniciosa.

## Vitamina C ou ácido ascórbico

A mais popular das vitaminas, também conhecida como **ácido ascórbico**, a **vitamina C** desempenha papel fundamental na formação da proteína colágeno de tecidos conjuntivos em geral (ósseo, cartilaginoso etc.) e na defesa contra a oxidação prejudicial de certas moléculas corporais.

Quimicamente, tem fórmula molecular  $C_6H_8O_6$ . Logo que o ácido ascórbico é absorvido, ele é oxidado em ácido deidroascórbico por desidrogenação, uma reação facilmente reversível em condições celulares.

A vitamina C é cofator essencial na conversão do aminoácido prolina em uma versão hidroxilada a **4-hidroxi-prolina**, que é um aminoácido não codificado pelo código genético dos seres vivos. Assim, as proteínas que contêm esse aminoácido especial são produzidas com prolina normal, e a vitamina C age no processo que o converte em 4-hidroxi-prolina. A principal proteína humana com esse aminoácido especial é o colágeno, que é o principal componente das fibras que constituem a maior parte da substância intercelular abundante em tecidos conjuntivos. Tais fibras constituem uma matriz sobre a qual serão depositados os demais constituintes dos tecidos conjuntivos, como as células, e, no caso do tecido ósseo, os sais minerais que lhe conferem rigidez. Por isso, a vitamina C é fundamental para a manutenção desses tecidos e, conseqüentemente, de todo o organismo, pois sem ela o colágeno não pode ser produzido.

A capacidade do ácido ascórbico de se oxidar facilmente também faz com que a vitamina C tenha outra essencial atuação junto aos tecidos conjuntivos. O colágeno se oxida com facilidade, provocando sua destruição e, conseqüentemente, do tecido conjuntivo ao qual ele serve de base. Isso não acontece normalmente, pois o ácido ascórbico funciona como uma barreira de proteção ao colágeno, oxidando-se a ácido deidroascórbico antes que a oxidação afete os tecidos, preservando sua integridade.

Não se sabe exatamente como, mas o ácido ascórbico também parece aumentar a resistência do organismo contra danos causados por queimaduras e toxinas bacterianas, apesar de haver questionamentos a respeito dessa ação.

Os alimentos mais ricos em vitamina C são as frutas cítricas e certas verduras e legumes. Excelentes fontes dessa vitamina são acerola, quiuí, caju, pimentão, limão, laranja, tomate, batata e verduras pouco cozidas. Como a vitamina C é muito sensível à oxidação, as condições de armazenamento e métodos de preparo influenciam significativamente no seu teor final nos alimentos. O congelamento em si, e seu armazenamento nesse estado, é acompanhado de pequena perda. Entretanto, lavagem (perda mecânica), exposição prolongada à temperatura ambiente e cozimento podem conduzir a perdas de até 50%.

Existem controvérsias quanto a recomendações de uma ingestão diária satisfatória de vitamina C. O requisito diário parece estar em cerca de 45 mg por dia para adultos, recomendando-se quantidades pouco maiores para gestantes e menores para lactentes. No organismo humano, o armazenamento ocorre em órgãos como fígado, pâncreas e glândulas suprarrenais.

A hipovitaminose de vitamina C acarreta uma doença conhecida como **escorbuto**. Atualmente raro, o escorbuto em sua forma clássica era comum em marinheiros e exploradores que dependiam de dietas baseadas em biscoitos e carnes salgadas, isentas de vegetais e frutas frescas.



Hemorragia e inflamação gengival em um paciente com escorbuto.

A conseqüência da carência de vitamina C é o prejuízo na formação e dificuldade na manutenção da integridade do colágeno, pois ele tende a se oxidar. Dessa forma, a substância fundamental dos tecidos conjuntivos começa a se degradar, e sintomas decorrentes aparecem.

Hemorragias ocorrem devido à degradação do tecido conjuntivo dos vasos. Tais hemorragias são principalmente cutâneas, periarticulares e gengivais. Com a falta de colágeno, não há como manter a matriz que sustenta os sais de cálcio (carbonato, fosfato e hidroxapatita), enfraquecendo ossos e dentes, que se tornam esponjosos e quebradiços. Fraturas podem, então, ocorrer com facilidade, além de não haver uma fixação adequada dos dentes nos alvéolos da maxila e da mandíbula, tornando os dentes propensos à queda, cheios de cavidades e escoriações. Outra conseqüência é uma cicatrização deficiente, pois não há o colágeno para formar o tecido conjuntivo responsável pela cicatrização. Por fim, em casos mais avançados, ocorrem também hemorragias gastrintestinais, geniturinárias e até cerebrais, provocando também distúrbios de ordem neurológica.

Camões, em sua obra-prima, *Os Lusíadas*, descreve assim o escorbuto:

E foi, que de doença crua e feia,  
A mais que eu nunca vi, desamparam  
Muitos a vida; e em terra estranha e alheia  
Os ossos para sempre sepultaram  
Quem haverá que, sem o ver, o creia?  
Que tão disformemente ali lhe incharam  
As gengivas na boca, que crescia  
A carne e juntamente apodrecia:

Apodrecia co'um fétido e bruto  
Cheiro, que o ar vizinho inficionava:  
Não tínhamos ali médico astuto,  
Cirurgião sutil menos se achava:  
Mas qualquer, neste ofício pouco instruto  
Pela carne já podre assim cortava,  
Como se fora morta; e bem convinha,  
Pois que morto ficava quem a tinha.

*Os Lusíadas*, de Camões.

O organismo torna-se frágil e sensível a infecções, que passam a instalar-se com facilidade. As mucosas, revestidas internamente por tecido conjuntivo, são a primeira barreira contra a ação de micro-organismos. Devido ao quadro de hipovitaminose, as mucosas encontram-se fragilizadas, daí a chamada função anti-infecciosa da vitamina C.

O combate que a vitamina C dá a gripes e resfriados está relacionado a um aumento generalizado da resistência orgânica por mecanismos ainda não plenamente conhecidos, mas provavelmente envolvendo o aumento da produção de anticorpos.

### Vitamina P ou bioflavonoides

Também conhecida como **hesperidina**, **rutina**, **citrina** ou **bioflavonoides**, a vitamina P tem a função de evitar uma excessiva fragilidade e permeabilidade dos capilares sanguíneos. Como um de seus sinônimos sugere, as principais fontes são frutas cítricas, além de vegetais folhosos. Vinho e chocolate amargo são, também, boas fontes.

### Vitaminas lipossolúveis

Para uma completa exposição do assunto, é necessário abordar os mecanismos e as funções das vitaminas insolúveis em água, mas solúveis em óleos, gorduras e demais solventes apolares, ou seja, as vitaminas lipossolúveis.

As vitaminas lipossolúveis são encontradas em alimentos associados a lipídios, sendo ingeridas em associação com as gorduras e os óleos da dieta. Ao contrário das vitaminas hidrossolúveis, que devem ter seus estoques sempre em constante renovação, as lipossolúveis podem ser armazenadas em grandes quantidades no organismo, especialmente no fígado, de forma que sua carência absoluta na dieta só se manifesta depois de alguns meses.

### Vitamina A ou retinol

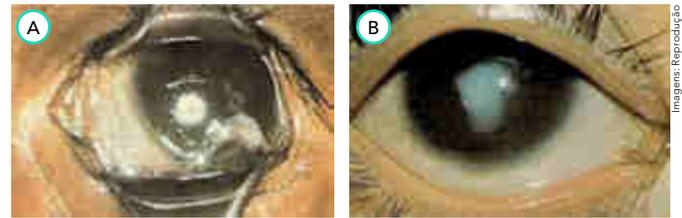
A vitamina A, também chamada de **retinol** ou **axerofol**, é encontrada na natureza em grandes quantidades, sob a forma de  $\beta$ -caroteno, carotenoide mais comum. Tal substância é encontrada no organismo animal na região ocular, mais especificamente na retina do indivíduo, participando fundamentalmente da visão normal. O funcionamento das células fotorreceptoras da retina, os bastonetes e os cones, depende de tal substância.

O **retinal** ou **aldeído da vitamina A**, uma forma oxidada do retinol, funciona ligado a uma proteína chamada **opsina**. O complexo retinal-opsina, conhecido como **rodopsina** ou **púrpura visual**, está localizado em membranas intracelulares nas células fotorreceptoras, especialmente em uma área da retina conhecida como *macula lutea* (mancha amarela). Quando a rodopsina é excitada pela luz visível, ocorre uma série de transformações moleculares rápidas e complexas que mudam a configuração do retinal e são acompanhadas por uma alteração global na conformação da molécula de rodopsina. Isso funciona como um gatilho molecular, produzindo um impulso nervoso enviado ao cérebro. Tal impulso faz com que a imagem se forme e seja interpretada no cérebro. Essa reação é reversível, e a púrpura é reconstituída mais tarde.

A restauração da púrpura visual é apenas parcial, e deve haver nova quantidade de vitamina A disponível para completar a regeneração. A regeneração incompleta, conforme se verifica na carência nutricional de vitamina A, resulta em prejuízo da visão em luz fraca. Esse processo acontece nos

bastonetes, responsáveis pela visão sob fraca luminosidade, principalmente quando vem após uma entrada de luz forte, ocasionando a chamada **cegueira noturna** ou **hemeralopia**. Tal cegueira ocorre porque, não havendo retinal, não há rodopsina e, conseqüentemente, não ocorre o "gatilho" que originaria o impulso nervoso sob exposição dos bastonetes à luz fraca.

Sabe-se, também, que a vitamina A é essencial para a integridade dos tecidos epiteliais e para o crescimento normal de suas células. Sua ausência provoca atrofia do epitélio normal e desenvolvimento de uma camada anormal de tecido. Isso provoca ressecamento das mucosas, particularmente a pele (xerodermia ou pele escamosa), e dos olhos devido ao mau funcionamento das glândulas lacrimais (xerofthalmia), além de alterar a fertilidade em animais devido ao prejuízo do epitélio germinal, que origina os gametas.



Dois estágios diferentes de xerofthalmia. A imagem A demonstra um caso avançado, a córnea bastante opaca e lesões na íris. A imagem B retrata o olho de um paciente em recuperação. Perceba que, mesmo com o tratamento, ainda persiste uma lesão.

A vitamina A também participa da atividade de osteoblastos e osteoclastos, propiciando o crescimento normal dos ossos em resposta a estímulos mecânicos que atuam sobre eles. A deficiência dessa vitamina leva a uma diminuição da atividade dos osteoblastos, de modo que a matriz orgânica não é adequadamente produzida, assim como o seu excesso acelera a ossificação do disco epifisial (cartilagem de crescimento, presente em ossos jovens), o que pode antecipar a parada no crescimento.

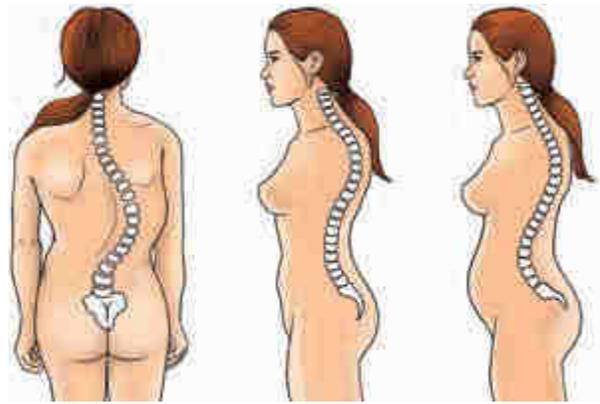
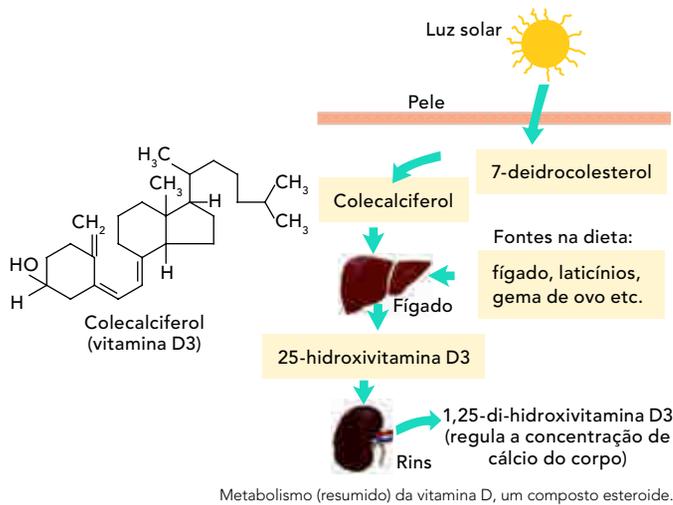
A vitamina A propriamente dita é obtida apenas em fontes animais (peixes, fígado, gema de ovo etc.), mas seus precursores são abundantes em vegetais de folhas verdes e amarelas, em trutas e raízes amarelas (cenoura, batata-doce, batata). Outras fontes são o leite, a manteiga, o tomate etc. As necessidades diárias estão em torno de 5000 UI para homens, 4000 para mulheres e cerca de 1400 para lactentes. A ingestão excessiva (50000 UI para adultos) provoca hipervitaminose, caracterizada por aumento do fígado (hepatomegalia) e baço (esplenomegalia), destacamento e descamação da pele (dermatite), prurido generalizado, queda de cabelos, náuseas e dores de cabeça.

### Vitamina D ou calciferol

A **vitamina D** é um derivado do colesterol, sendo, assim, um esteroide. Existem vários compostos esteroides capazes de prevenir e curar o raquitismo, como as vitaminas D1, D2, D3 e D4.

Entre elas, duas apresentam importância prática fundamental:

- **Vitamina D2 ou ergocalciferol** – É preparada pela irradiação ultravioleta a partir do ergosterol (provitamina D2) dos vegetais.
- **Vitamina D3, colecalciferol ou 7-deidrocolesterol ativado** – É um composto muito semelhante; forma-se na pele humana em exposição à luz solar ou por irradiação ultravioleta a partir da provitamina D3 (7-deidrocolesterol).



Representação de deformações da coluna vertebral. Da esquerda para a direita: escoliose, cifose e lordose.

Ambas as moléculas de vitamina D em sua forma ativa caem na circulação sanguínea e são convertidas em 25-hidroxicolecalciferol (25D) no fígado, que depois é convertido em **1,25-di-hidroxicolecalciferol** (1,25D) nos rins. Esta última molécula tem ação hormonal e é a responsável pelos efeitos da vitamina D no organismo. A vitamina D aumenta a utilização e retenção de cálcio e fósforo na dieta, aumentando a absorção desses compostos no intestino, pois estes possuem, também, o efeito específico de reduzir a excreção de fósforo na urina, estimulando sua reabsorção pelos túbulos renais.

A carência de vitamina D, conseqüentemente, resulta em absorção intestinal inadequada de cálcio e fósforo. Os maiores reflexos da falta de cálcio no organismo afetam os ossos, pois estes precisam de grandes quantidades de sais desse mineral para manter a sua rigidez.

Em crianças, essa carência acarreta uma doença conhecida como **raquitismo**. A matriz orgânica cartilaginosa, que precede a formação do osso, é formada. Contudo, os sais de cálcio e fósforo não são depositados, pois não estão disponíveis. Dessa forma, os ossos não crescem de maneira adequada, resultando em deficiências de crescimento e alterações na estrutura óssea normal. Além disso, a falta de rigidez, por causa da desmineralização, faz com que os ossos dos membros inferiores curvem-se, devido ao peso do próprio corpo.

Assim, típicas formações ósseas se desenvolvem: pernas arqueadas para fora, condição denominada **genuvalgo** (pernas em tesoura), ou para dentro (**genuvaro**); e problemas de coluna, como **escoliose**, **cifose** e **lordose**. Por fim, a má ossificação resulta também em um crânio mole e na erupção tardia dos dentes, além de sua má-formação e excessiva fragilidade. Daí a importância de banhos de sol em bebês e crianças muito jovens, pois, assim, há a ativação da vitamina D pelo componente ultravioleta dos raios de Sol.



Genuvalgo e genuvaro, respectivamente.

Em adultos, a hipovitaminose D é conhecida como **osteomalácia**. Como nessa faixa etária os ossos já pararam de crescer, a carência manifesta-se como desmineralização acentuada na coluna, na pélvis e nas pernas, por falta de cálcio para repor as perdas ósseas. A pressão da gravidade nos ossos mais moles provoca compressão das vértebras afetadas, curvamento dos ossos longos e deformidade na pélvis.

Atualmente, sabe-se que vários tecidos do corpo humano apresentam receptores para a vitamina D. Entre as regiões estimuladas, estão as células imunológicas. Sabe-se, por exemplo, que banhos de sol são úteis para a manutenção da resistência orgânica, e, por esse motivo, antes do advento dos antibióticos, a tuberculose, doença causada pela bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, era tratada, empiricamente, com banhos de sol.

A maioria dos alimentos contém quantidades pequenas de vitamina D. Aqueles que a têm são de origem animal; peixes de água salgada são as fontes mais ricas, especialmente as espécies com alto teor de óleo (salmão, sardinha, arenque). Gemas de ovos e leite bovino possuem quantidades substanciais. No caso dos leites utilizados para a dieta de lactentes, é adicionado um suplemento para satisfazer as necessidades da vitamina. A ingestão diária recomendada está em cerca de 400 UI (com a UI para a vitamina D em 0,025 mg), sendo a média consumida em torno de 300 a 3000 UI.

A ingestão em doses de 10000 a 20000 UI diárias para crianças e 100000 UI para adultos levam a um quadro de hipervitaminose. Tal síndrome tem por características anorexia, vômitos, dor de cabeça, sonolência e diarreia. Além disso, os níveis de fósforo e cálcio aumentam, e este se deposita em regiões do corpo como coração, grandes vasos, túbulos renais e em outros tecidos moles.

### Vitamina E ou tocoferol

Todos os compostos relacionados à vitamina E são poderosos antioxidantes, protegendo os ácidos graxos insaturados, principalmente aqueles da membrana plasmática, da oxidação.

Atualmente, nem a função nem o mecanismo de ação da vitamina E foram estabelecidos de forma conclusiva. Como antioxidante, o tocoferol impede a oxidação de componentes lipídicos insaturados da membrana plasmática e estruturas subcelulares, como a mitocôndria em todos os tecidos, incluindo o cérebro e a membrana dos eritrócitos.

Conhece-se há muito os efeitos da carência de vitamina E em ratos e outros animais, que provoca aparecimento de pele

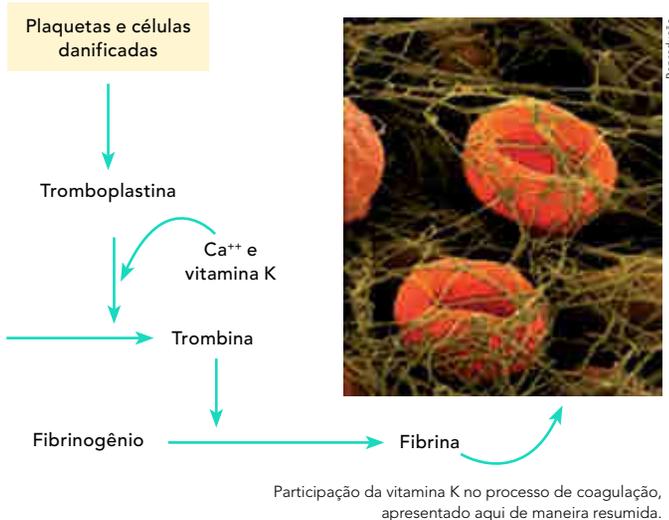
escamosa, degeneração do epitélio germinal e imobilidade dos espermatozoides, tendo como consequências, esterilidade, interrupção da gravidez e morte fetal, além de uma progressiva distrofia muscular.

As fontes dietéticas básicas mais ricas em tocoferóis são os óleos e as sementes de cereais, como os óleos de germe de trigo, de semente de algodão, de milho e margarina. Ovos, peixes, todos os tipos de carnes (especialmente o fígado), manteiga e chocolate amargo contêm alguma quantidade de vitamina E. Estima-se que a dose diária necessária esteja em torno de 10 mg.

### Vitamina K

O composto mais simples e, biologicamente, mais potente da vitamina K é a menadiona ou vitamina K3, produzida artificialmente. Para os seres humanos, os compostos mais importantes e acessíveis são a vitamina K1 (filoquinona), encontrada em alimentos de origem vegetal, especialmente verduras, e a vitamina K2 (menaquinona), sintetizada pela microflora bacteriana intestinal.

A função bioquímica mais importante da vitamina K está relacionada à **coagulação sanguínea**. Entre os fatores que regulam a coagulação estão uma série de proteínas circulantes no sangue, chamadas **fatores da coagulação**, produzidas pelo fígado humano, sob influência da vitamina K.



Amplamente distribuída na natureza, a vitamina K tem como fontes mais importantes os vegetais de folhas verdes. Sementes, tubérculos e frutas, bem como fígado de porco, são fontes razoáveis. A fonte humana mais importante, porém, é a síntese pela flora bacteriana intestinal.

Não há requisitos estabelecidos para a vitamina K, visto que ela é fundamentalmente produzida no intestino. Pelo mesmo motivo, a hipovitaminose dificilmente ocorre. E quando ocorre, a origem mais comum é a má absorção ou o mau suprimento de gorduras, que dificultam a absorção de vitamina K, visto que esta é assimilada junto com os alimentos gordurosos, mesmo aquela produzida pela microflora. A utilização de antibióticos e sulfas, quando prolongada, destrói a microflora bacteriana, principal fonte da vitamina.

Essa hipovitaminose caracteriza-se principalmente por tendências hemorrágicas. A pouca ingestão de gorduras, comum em alcoólatras, contribui para a carência de vitamina K. Associado ao fato de o álcool ser tóxico ao fígado, órgão responsável pela produção de fatores de coagulação, isto pode

fazer com que alcoólatras tenham predisposição a hemorragias. Recém-nascidos podem ser acometidos, pois, uma vez que ainda não adquiriram sua microflora, eles não têm acesso à vitamina K, podendo ter problemas de coagulação, caracterizando a síndrome hemorrágica do recém-nascido.

A tabela a seguir categoriza cada vitamina de acordo com a deficiência que seu excesso ou falta pode causar.

Vitamina	Denominação	Deficiência
B1	Tiamina	Beribéri
B2	Riboflavina/FAD	Dermatite/queilite
B3 ou PP	Nicotinamida/NAD	Pelagra
H	Biotina	Seborreia/alopecia
B5	Ácido pantotênico/ coenzima A	Dermatite/neurite
B6	Piridoxina	Acrodinia
B9	Ácido fólico	Anemia perniciosa/espinha bífida
B12	Cianocobalamina	Anemia perniciosa
C	Ácido ascórbico	Escorbuto
P	Bioflavonoides	Fragilidade capilar
A	Retinol/ axeroftol	Hemeralopia/xeroftalmia/ xerodermia
D	Colecalciferol	Raquitismo (infância)/ osteomalácia (idade adulta)
E	Tocoferol	Esterilidade masculina/ aborto/distrofia do miocárdio
K	Filoquinona/ menaquinona	Hemorragias

### Atividades para sala

- (ENEM) Na década de 1940, na Região Centro-Oeste, produtores rurais, cujos bois, porcos, aves e cabras estavam morrendo por uma peste desconhecida, fizeram uma promessa, que consistiu em não comer carne e derivados até que a peste fosse debelada. Assim, durante três meses, arroz, feijão, verduras e legumes formaram o prato principal desses produtores.

O Hoje, 15 out. 2011. (adaptado)

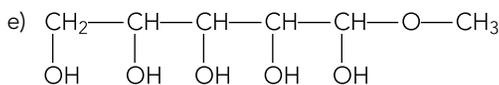
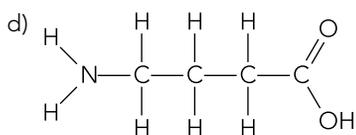
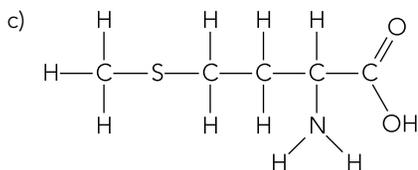
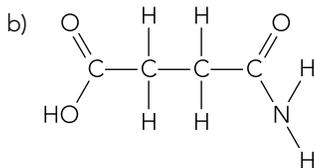
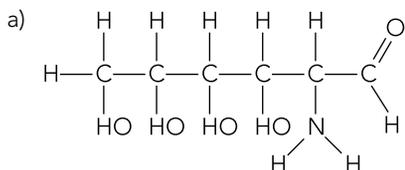
Para suprir o déficit nutricional a que os produtores rurais se submeteram durante o período da promessa, foi importante eles terem consumidos alimentos ricos em

- vitaminas A e E.
- frutose e sacarose.
- aminoácidos naturais.
- aminoácidos essenciais.
- ácidos graxos saturados.

2. Denomina-se *kwashiorkor* a doença associada a uma deficiência nutricional grave, ainda comum em crianças de certas regiões brasileiras. Essa doença é caracterizada por uma série de alterações, dentre as quais um inchaço generalizado formado pelo extravasamento de líquido do sangue para os tecidos. No sangue, esse edema está relacionado diretamente à(ao)

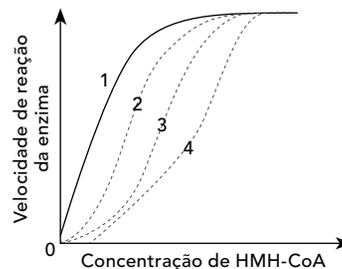
- diminuição da pressão osmótica.
- aumento da concentração de sódio.
- aumento da concentração iônica, em geral.
- aumento da concentração de lipídios.
- diminuição do número de leucócitos.

3. Proteínas são quimicamente caracterizadas por serem polímeros de  $\alpha$ -aminoácidos ligados por ligações peptídicas. Constitui exemplo de  $\alpha$ -aminoácido:



4. As estatinas, por seu grande êxito na prevenção da doença coronariana, estão entre os medicamentos mais prescritos no mundo. Essas substâncias atuam sobre a enzima que regula a síntese de colesterol pelo fígado, denominada, simplificada, de HMG-CoA redutase. Para testar a eficiência de vários derivados de estatinas, utilizou-se uma preparação de HMG-CoA redutase isolada de tecido hepático.

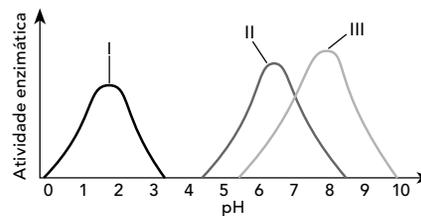
A velocidade de reação dessa preparação enzimática foi medida em função de concentrações crescentes de seu substrato HMG-CoA, na ausência e na presença de uma concentração fixa de três derivados de estatina. Nesses experimentos, o pH, a temperatura, a concentração da enzima e a concentração dos cofatores necessários foram sempre mantidos constantes. O gráfico a seguir representa os resultados encontrados para as estatinas 2, 3 e 4; a curva 1 foi obtida na ausência de estatinas.



De acordo com o gráfico, a estatina

- 2 é a que tem ação inibidora mais forte sobre a enzima HMG-coA redutase hepática.
- 3 é a que tem ação inibidora mais forte sobre a enzima HMG-coA redutase hepática.
- 4 é a que tem ação inibidora mais forte sobre a enzima HMG-coA redutase hepática.
- 2 deve levar a mais efeitos colaterais pela diminuição na produção de colesterol.
- 4 deve levar a menos efeitos colaterais pela diminuição na produção de colesterol.

5. Embora as atividades das enzimas ptialina, pepsina e tripsina sejam bem caracterizadas nos seus respectivos pH fisiológicos em seres humanos, o gráfico a seguir demonstra tais atividades com as variações de amplitude de pH quando realizadas *in vitro*.



De acordo com o gráfico, assinale a afirmativa correta.

- A pepsina é representada por II, e a sua atuação ocorre tanto em pH ácido quanto em neutro.
  - A ptialina é representada por I, e a sua atividade é maior em pH mais alcalino.
  - A tripsina é representada por III, e a sua atividade pode ocorrer do pH ácido ao alcalino.
  - As enzimas I e III atuam sobre carboidratos, embora suas atividades ocorram em pH diferentes.
  - As enzimas II e III não apresentam atividades na digestão de seus substratos em pH neutro.
6. (ENEM) O milho verde recém-colhido tem um sabor adocicado. Já o milho verde comprado na feira, um ou dois dias depois de colhido, não é mais tão doce, pois cerca de 50% dos carboidratos responsáveis pelo sabor adocicado são convertidos em amido nas primeiras 24 horas. Para preservar o sabor do milho verde, pode-se usar o seguinte procedimento em três etapas:
- descascar e mergulhar as espigas em água fervente por alguns minutos;
  - resfriá-las em água corrente;
  - conservá-las na geladeira.

A preservação do sabor original do milho verde pelo procedimento descrito pode ser explicada pelo seguinte argumento:

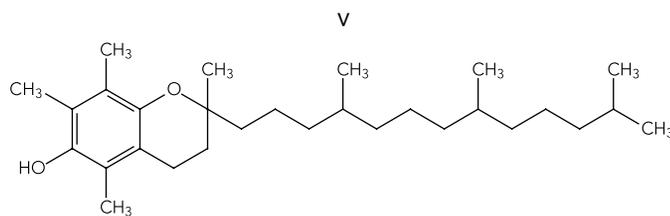
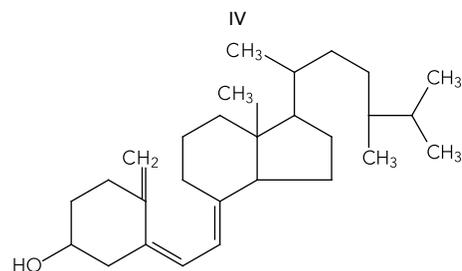
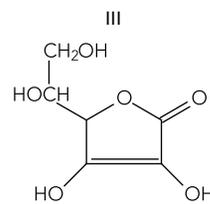
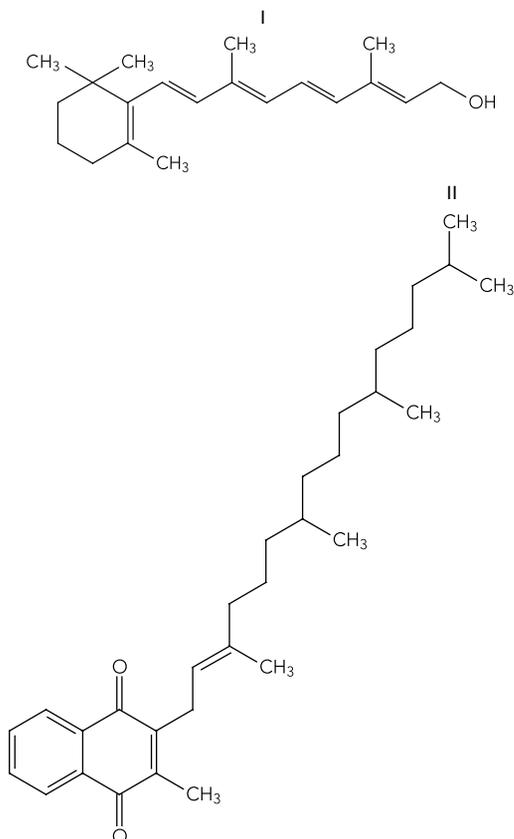
- o choque térmico converte as proteínas do milho em amido até a saturação; este ocupa o lugar do amido que seria formado espontaneamente.

- b) a água fervente e o resfriamento impermeabilizam a casca dos grãos de milho, impedindo a difusão de oxigênio e a oxidação da glicose.
- c) as enzimas responsáveis pela conversão desses carboidratos em amido são desnaturadas pelo tratamento com água quente.
- d) micro-organismos que, ao retirarem nutrientes dos grãos, convertem esses carboidratos em amido são destruídos pelo aquecimento.
- e) o aquecimento desidrata os grãos de milho, alterando o meio de dissolução no qual ocorreria espontaneamente a transformação desses carboidratos em amido.

7. As vitaminas foram descobertas há cerca de 100 anos e, a partir dos anos 1980, invadiram as prateleiras das farmácias na forma de suplementos vitamínicos, com dosagens acima das recomendadas pelas organizações de saúde, o que, ainda atualmente, gera muita discussão sobre os benefícios ou malefícios que esse "banho" de vitaminas pode acarretar ao organismo. Contudo, é relevante saber a importância delas para a saúde. Analise as informações e assinale a alternativa que contém características comuns a todas as vitaminas.

- a) São produzidas por animais, vegetais e fungos.
- b) Possuem função estrutural e energética.
- c) São necessárias em grandes quantidades aos organismos vivos.
- d) Exercem papel de complemento alimentar.
- e) Agem como antioxidantes.

8. (ENEM) O armazenamento de certas vitaminas no organismo apresenta grande dependência de sua solubilidade. Por exemplo, vitaminas hidrossolúveis devem ser incluídas na dieta diária, enquanto vitaminas lipossolúveis são armazenadas em quantidades suficientes para evitar doenças causadas pela sua carência. A seguir, são apresentadas as estruturas químicas de cinco vitaminas necessárias ao organismo.



Dentre as vitaminas apresentadas anteriormente, aquela que necessita de maior suplementação diária é a

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.
- e) V.

9. (ENEM) Estudos mostram que a prática de esportes pode aumentar a produção de radicais livres, um subproduto da nossa respiração que está ligado ao processo de envelhecimento celular e ao surgimento de doenças como o câncer. Para neutralizar essas moléculas nas células, quem faz esporte deve dar atenção especial aos antioxidantes. As vitaminas C, E e o selênio fazem parte desse grupo.

SÁ, V. Exercícios bem nutridos. Disponível em: <<http://saude.abril.com.br>>. Acesso em: 29 abr. 2010. (adaptado)

A ação antioxidante das vitaminas C e E e do selênio deve-se às suas capacidades de

- a) reagir com os radicais livres gerados no metabolismo celular por meio do processo de oxidação.
- b) diminuir a produção de oxigênio no organismo e o processo de combustão que gera radicais livres.
- c) aderir à membrana das mitocôndrias, interferindo no mecanismo de formação desses radicais livres.
- d) inibir as reações em cadeia utilizadas no metabolismo celular para geração dos radicais.
- e) induzir a adaptação do organismo em resposta à geração desses radicais.



### Atividades propostas

1. O equilíbrio da fauna e da flora, atualmente, é compreendido como algo essencial devido a sua total interdependência. A tabela a seguir apresenta a porcentagem média dos componentes geralmente encontrados em células vegetais e animais.

Constituintes	Células (%)	
	Animais	Vegetais
Água	60,0	70,0
X	4,3	2,5
Y	6,2	18,0
W	11,7	0,5
Z	17,8	4,0

Analise a tabela e assinale a alternativa que identifica os constituintes X, Y, W e Z, respectivamente.

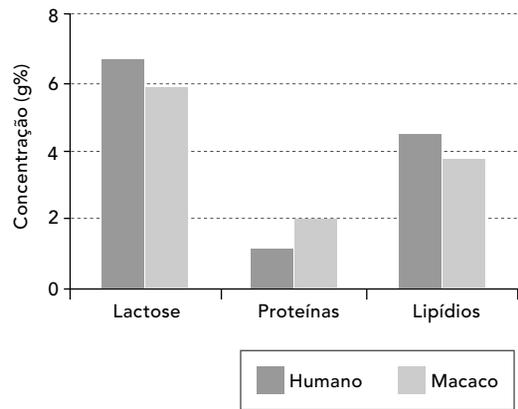
- Sais minerais, carboidratos, lipídios e proteínas.
  - Carboidratos, lipídios, proteínas e sais minerais.
  - Lipídios, proteínas, sais minerais e carboidratos.
  - Proteínas, sais minerais, carboidratos e lipídios.
  - Sais minerais, lipídios, carboidratos e proteínas.
2. Uma alimentação inadequada engloba a alta ingestão de gorduras saturadas, sal e carboidratos, bem como o baixo consumo de frutas e outros vegetais – hábitos que, geralmente, andam juntos. Em 1978, foi publicado pela The Danish Consumers Cooperative Society um guia nutricional chamado "Pirâmide Alimentar", mais tarde adotado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Na base da pirâmide, estão os alimentos que devem ser consumidos em maior quantidade e, no topo, os que devem ser consumidos com moderação. Considere a pirâmide alimentar para responder à questão.



Na busca de uma alimentação equilibrada, devem-se seguir algumas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), tais como limitar a ingestão de lipídios e glicídios, predominantes

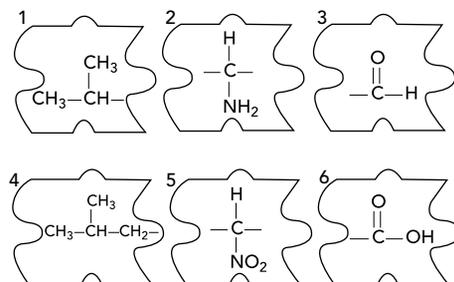
- no nível 4, equilibrar o consumo de proteínas, mais frequentes no nível 3, e aumentar o consumo de vitaminas e minerais comumente encontrados no nível 2.
- no nível 4, aumentar o consumo de proteínas, mais frequentes no nível 3, e diminuir o consumo de vitaminas e minerais comumente encontrados no nível 4.
- no nível 2, equilibrar o consumo de proteínas, mais frequentes no nível 3, e aumentar o consumo de vitaminas e minerais comumente encontrados no nível 1.
- no nível 4, equilibrar o consumo de proteínas, mais frequentes no nível 2, e aumentar o consumo de vitaminas e minerais comumente encontrados no nível 1.
- no nível 1, equilibrar o consumo de proteínas, mais frequentes no nível 4, e aumentar o consumo de vitaminas e minerais comumente encontrados no nível 4.

3. A composição do leite de cada espécie de mamífero é adequada às necessidades do respectivo filhote. O gráfico a seguir apresenta a composição do leite humano e do leite de uma espécie de macaco.



Considere dois filhotes de macaco: um alimentado com leite de macaco e o outro com o mesmo volume de leite humano. Com base na análise do gráfico, pode-se dizer que o filhote de macaco que for alimentado com o mesmo volume de leite humano provavelmente apresentará

- deformidades ósseas.
  - carência energética.
  - menor crescimento.
  - diarreias frequentes.
  - magreza acentuada.
4. A gota é um distúrbio fisiológico que causa dor e inchaço nas articulações por acúmulo de ácido úrico, um resíduo metabólico nitrogenado. Considerando-se a composição química dos diferentes nutrientes, que tipo de alimento um indivíduo com gota deve evitar?
- Alimento rico em gordura.
  - Alimento pobre em gordura.
  - Alimento pobre em proteínas.
  - Alimento rico em sais de sódio.
  - Alimento rico em proteínas.
5. Um estudante recebeu um quebra-cabeça que contém peças numeradas de 1 a 6, representando partes de moléculas.



Para montar a estrutura de uma unidade fundamental de uma proteína, ele deverá juntar três peças do jogo na sequência

- 1, 5 e 3.
- 1, 5 e 6.
- 4, 2 e 3.
- 4, 2 e 6.
- 1, 2 e 3.

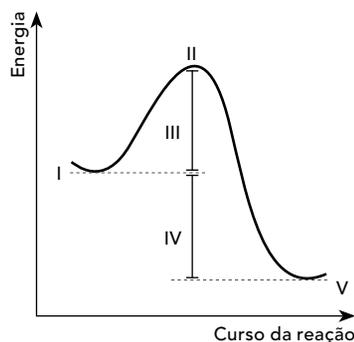
6. O alisamento do cabelo consiste na quebra, temporária ou permanente, das ligações químicas que mantêm a estrutura tridimensional da molécula de  $\alpha$ -queratina em sua forma rígida original. Essas ligações são divididas em fortes (ligações dissulfeto) e fracas (ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e ligações iônicas). As forças fracas são quebradas no simples ato de molhar os cabelos que resultam da atração de cargas positivas e negativas. Existem os alisamentos temporários, que utilizam técnicas físico-químicas e duram até a lavagem seguinte. Essas técnicas necessitam que os cabelos sejam previamente molhados, para que ocorra a quebra das ligações de hidrogênio no processo de hidrólise da queratina, permitindo, assim, a abertura temporária de sua estrutura helicoidal. Com isso, o fio se torna liso. A desidratação rápida com o secador mantém a forma lisa da haste. A aplicação da prancha quente molda as células da cutícula (escamas), como se as achatasse paralelamente à haste. Dessa forma, o fio adquire aspecto liso e brilhante, por refletir mais a luz incidente. Os alisamentos definitivos visam romper as ligações dissulfeto da  $\alpha$ -queratina que utilizam reações químicas de redução.

Disponível em: <<http://rspdermato.med.br>>. Acesso em: 9 nov. 2011.

Existe uma preocupação constante das pessoas com seus cabelos, relativa à forma, aparência e cor, indicando estilo pessoal e características de elegância e irreverência. A respeito da proteína  $\alpha$ -queratina, assinale a alternativa correta.

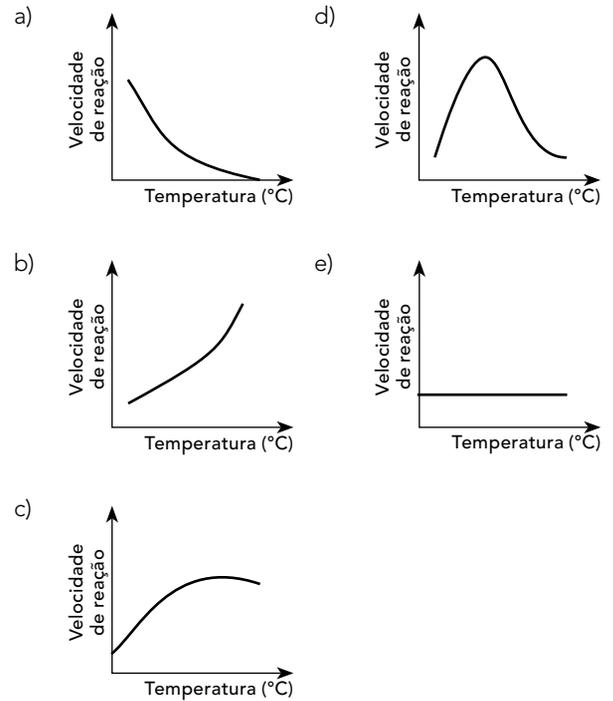
- Devido à quebra e à formação de ligações não covalentes, chamadas ligações dissulfeto, em novas posições essa proteína muda definitivamente sua forma tridimensional.
- Devido à quebra de ligações covalentes, chamadas ligações de hidrogênio, na  $\alpha$ -queratina, o simples ato de molhar os cabelos causa um alisamento temporário na estrutura do fio.
- Por ser formada de grandes quantidades do aminoácido cisteína, que se unem por ligações dissulfeto, ao sofrer quebra, determina uma mudança temporária na estrutura do fio.
- A  $\alpha$ -queratina é assim denominada pois é formada por uma cadeia polipeptídica que se arruma de forma helicoidal e, por meio de suas várias cisteínas, pode sofrer mudança permanente em sua estrutura.
- A proteína  $\alpha$ -queratina sofre redução durante o alisamento pela perda de elétrons na sua cadeia, resultando no rompimento das ligações dissulfeto e na mudança permanente na sua estrutura.

7. O gráfico a seguir representa o perfil básico da reação bioquímica de uma catálise enzimática.

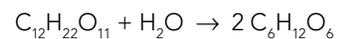


Observe o gráfico anterior e assinale a afirmativa correta.

- V representa a energia de ativação para desencadear a reação.
  - III representa o estado de transição, com o máximo de energia.
  - II pode ser um produto final da reação enzimática.
  - I pode ser representado pelos substratos da catálise.
  - IV representa a diferença de energia entre a enzima e o produto.
8. Dos gráficos a seguir, assinale aquele que representa o efeito da temperatura na atividade enzimática.



9. A equação química a seguir representa a hidrólise de alguns dissacarídeos presentes em importantes fontes alimentares.



A tabela a seguir relaciona os resultados da velocidade inicial de reação dessa hidrólise, em função da concentração e da temperatura, obtidos em quatro experimentos, sob as seguintes condições:

- soluções de um desses dissacarídeos foram incubadas com quantidades iguais ora de suco gástrico, ora de suco intestinal rico em enterócitos;
- o tempo de reação e outros possíveis fatores interferentes foram mantidos constantes.

Nº de experimento	Valor de concentração do dissacarídeo	Temperatura da reação (°C)	Velocidade de reação (unidades arbitrárias)
I	X	0	0
	X	30	9,5
	X	40	25
	X	80	1
II	X	80	10
	2X	80	20
	4X	80	41

Nº de experimento	Valor de concentração do dissacarídeo	Temperatura da reação (°C)	Velocidade de reação (unidades arbitrárias)
III	X	0	0
	X	30	0
	X	40	1
	X	80	10
IV	X	40	25
	2X	40	45
	3X	40	50
	4X	40	52

Os experimentos que podem corresponder à hidrólise enzimática ocorrida quando o dissacarídeo foi incubado com suco intestinal são os de números

- a) I e II.
- b) I e IV.
- c) II e III.
- d) II e IV.
- e) III e IV.

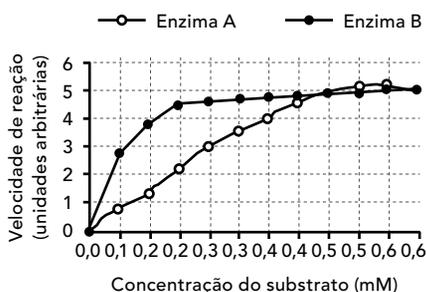
10. Uma substância X é o produto final de uma via metabólica controlada pelo mecanismo de retroinibição (*feedback*) em que, acima de uma dada concentração, X passa a inibir a enzima 1.



É possível afirmar que, nessa via metabólica,

- a) a quantidade disponível de X tende a se manter constante.
- b) o substrato faltará se o consumo de X for pequeno.
- c) o substrato se acumulará quando a concentração de X diminuir.
- d) a substância A se acumulará quando a concentração de X aumentar.
- e) a substância B se acumulará quando o consumo de X for pequeno.

11. O gráfico a seguir mostra duas curvas, A e B, de reações enzimáticas, representando a velocidade de formação do produto e a concentração do substrato.



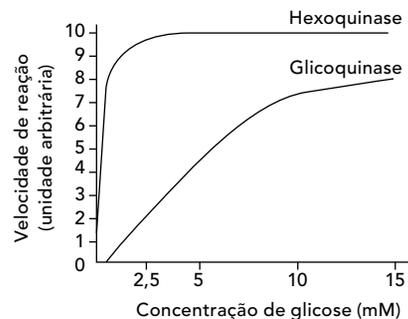
Com base no gráfico e em seus conhecimentos, pode-se afirmar que

- a) a enzima A possui maior afinidade pelo seu substrato.
- b) a enzima B possui maior afinidade pelo seu substrato.

- c) ambas as enzimas têm a mesma afinidade por seus respectivos substratos.
- d) as enzimas A e B competem pelo mesmo substrato.
- e) a enzima A tem maior velocidade de reação que a enzima B em altas concentrações de substrato.

12. A glicoquinase e a hexoquinase são duas enzimas que reagem com o mesmo substrato, a glicose. Ambas são enzimas intracelulares que fosforilam a glicose, formando glicose 6-fosfato (G6P). Dependendo da enzima produtora, a G6P pode ou ser degradada na via da glicólise para gerar energia ou então ser usada para síntese de glicogênio. A glicólise ocorre nos tecidos em geral e a síntese de glicogênio ocorre principalmente no fígado. A síntese do glicogênio somente acontece quando existe excesso de glicose no sangue. Essa é uma forma de armazenar esse açúcar.

Observe o gráfico a seguir, que apresenta as velocidades de reação dessas duas enzimas em função da concentração da glicose. Níveis normais de glicose no sangue estão ao redor de 4 mM.



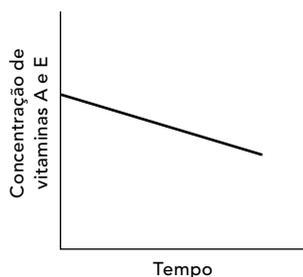
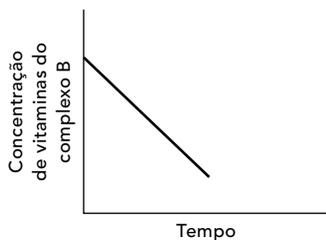
A enzima que gera G6P para síntese de glicogênio hepático é a

- a) hexoquinase, porque tem maior velocidade de reação que a glicoquinase em concentração de glicose de 2,5mM.
- b) hexoquinase, porque tem maior velocidade de reação que a glicoquinase em concentração de glicose de 4 mM.
- c) hexoquinase, porque tem maior velocidade de reação que a glicoquinase em concentração de glicose de 15 mM.
- d) glicoquinase, porque tem maior velocidade de reação em concentração de glicose de 15 mM do que na concentração de 4 mM.
- e) glicoquinase, porque tem menor velocidade de reação que a hexoquinase em concentração de glicose de 4 mM.

13. (ENEM) O arroz-dourado é uma planta transgênica capaz de produzir quantidades significativas de betacaroteno, que é ausente na variedade branca. A presença dessa substância torna os grãos amarelados, o que justifica seu nome. A ingestão dessa variedade geneticamente modificada está relacionada à redução da incidência de

- a) fragilidade óssea.
- b) fraqueza muscular.
- c) problemas de visão.
- d) alterações na tireoide.
- e) sangramento gengival.

14. Os dois gráficos a seguir mostram, respectivamente, a redução da concentração de vitaminas do complexo B e das vitaminas A e E no organismo.



Pode-se inferir que a maior redução da concentração em função do tempo é das vitaminas

- do complexo B, porque são as principais antioxidantes.
- A e E, porque são consumidas como fonte de energia pelo corpo.
- A e E, porque são lipossolúveis e, por isso, mais fáceis de serem armazenadas.
- do complexo B, porque são hidrossolúveis e, por isso, mais fáceis de serem eliminadas na urina.
- A e E, porque são lipossolúveis e, por isso, mais difíceis de serem armazenadas.

15.

### Bebê anencéfalo completa nove meses e está bem de saúde

[...] Superando todas as expectativas médicas, a menina M. de J. F. chegou ao seu nono mês de vida. Ela nasceu portadora de anencefalia. Ao nascer, segundo os médicos, a garotinha teria apenas algumas horas de vida, mas ela continua crescendo e se desenvolvendo [...].

Luciano Batista  
CN Notícias. Disponível em: <<http://noticias.cancaonova.com>>.

Anencefalia é uma desordem cerebral, que resulta de defeito no tubo neural. Acredita-se que a dieta da mãe e sua ingestão de vitaminas possam ter alguma influência. Estudos recentes têm mostrado que a suplementação de uma vitamina na dieta da mulher em idade reprodutiva possa reduzir significativamente a incidência de defeitos no tubo neural, sendo essa a vitamina

- A ou retinol.
- B3 ou niacina.
- B5 ou ácido pantotênico.
- B9 ou ácido fólico.
- C ou ácido ascórbico.

16. Em relação à vitamina hidrossolúvel B12, também conhecida como cianocobalamina, pode-se afirmar que

- é dissolvida em solventes orgânicos e armazenada no tecido adiposo.
- é essencial para a maturação das hemácias e para a síntese de nucleotídeos.

- atua no metabolismo do cálcio e do fósforo, mantendo os ossos e os dentes em bom estado.
- mantém o tônus muscular e nervoso e o bom funcionamento do sistema digestório, prevenindo a pelagra.
- sua deficiência no organismo pode ocasionar aborto ou esterilidade (no caso do homens).

17.



A deficiência de vitamina D ocorre principalmente devido à pouca exposição à luz solar e vem se tornando uma epidemia, inclusive no Brasil, porque hoje é comum passarmos a maior parte do dia em ambientes fechados e usando bloqueadores solares para prevenção de câncer de pele.

Disponível em: <<http://milenaar.org>>. (adaptado)

Nesses casos, a deficiência de vitamina D decorre da impossibilidade da radiação ultravioleta do Sol de

- facilitar a absorção no intestino da vitamina D ingerida com alimentos.
- converter o 7-deidrocolesterol em vitamina D.
- sintetizar colágeno para a sustentação aos ossos e cartilagens.
- converter a vitamina D a partir do metabolismo dos aminoácidos.
- promover a absorção de cálcio no intestino.

18. Em uma determinada cidade fictícia do Ceará, em que a alimentação da população é considerada extremamente carente de vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis, a equipe que trabalha no posto de saúde foi chamada para desenvolver um levantamento acerca dos prováveis problemas de saúde que esta população poderia desenvolver, e quais os alimentos mais indicados na prevenção destas deficiências. Considerando este contexto, indique a alternativa que traz informações corretas que poderiam estar no relatório da equipe.

- Pacientes com deficiência de vitamina K podem desenvolver cegueira noturna, sendo indicada a ingestão de cenoura, abóbora e gema de ovo.
- Pacientes com deficiência de vitamina D deverão comparecer mais ao consultório dos dentistas, sendo indicada a ingestão de fígado, gema de ovo e exposição ao Sol.
- Pacientes com deficiência de ácido fólico podem desenvolver escorbuto, sendo indicada a ingestão de vegetais verdes, tomate e castanha.
- Pacientes com deficiência de calciferol podem desenvolver hemorragias frequentes, sendo indicada a ingestão de fígado, levedo de cerveja e carnes magras.
- Pacientes com deficiência de vitamina C deverão comparecer mais ao consultório com problemas de fraqueza óssea.

**Neste livro:**

**Módulo 1:** Evolução – Conceitos e evidências, teorias evolucionistas e fatores evolutivos .....54

**Módulo 2:** Genética das populações; Especiação; Seleção natural e seu impacto sobre ambientes naturais e sobre populações humanas .....70

**Módulo 3:** Histologia animal – Tecido epitelial, pele humana e tecido conjuntivo ..... 86

Origem e evolução da vida

C	4
H	16

**Módulo**

1

## Evolução – Conceitos e evidências, teorias evolucionistas e fatores evolutivos

## Introdução à evolução – Conceitos e evidências

**Calendário da vida na Terra**

	*	1	2	** 3	4	5
		Formação da Terra		Origem da vida		
6	Fósseis mais antigos	7	8	9	10	11
13	Evolução da fotossíntese	14	15	16	17	18
20	Evolução das células eucarióticas	21	22	23	24	25
27	Vida abundante	28	29	30		

Vida aquática	27	Primeiras plantas	28	Florestas extintas que originaram o carvão mineral	29	Primeiros pássaros	30
Fósseis abundantes		Primeiros animais terrestres		Insetos Primeiros mamíferos A era dos dinossauros		Primeiras plantas com flores Surgimento dos mamíferos	

← Primeiros hominídeos  
← Homo sapiens

O *Homo sapiens* (ser humano moderno) apareceu nos últimos 10 minutos do dia 30.



A história dos hominídeos preenche os últimos 30 minutos do dia 30.

- \* Cada "dia" do calendário representa cerca de 150 milhões de anos.
- \*\* A vida surgiu em algum momento durante os "dias" 3 e 4 ou há aproximadamente 4 bilhões de anos.

Os mecanismos evolutivos desenvolvidos ao longo do tempo são responsáveis por pontos que diferem o sexo

masculino do feminino. No início da espécie humana, enquanto os homens saíam para caçar, as mulheres ficavam na tribo, cuidando das crianças e dos afazeres domésticos.

Com o passar do tempo, os homens adquiriram características físicas e comportamentais que os diferenciavam das mulheres. Hoje, estudos científicos já comprovam que, de fato, há, além do aspecto físico, diferenças no modo de agir entre os sexos. Sabe-se que homens e mulheres, na maioria das vezes, pensam de maneira diferente, têm visões distintas em várias situações. As mulheres costumam ser mais comunicativas, mais expressivas; os homens, em sua maioria, são tímidos quando se trata de falar em público. Segundo os cientistas, na execução de trabalhos mais detalhados e no uso da argumentação, da linguagem verbal, é o sexo feminino que se destaca; enquanto os homens têm maiores habilidades nas áreas exatas.

Estudos na área da neurolinguística demonstram que homens e mulheres compreendem as informações de maneiras diferentes. Indubitavelmente, essas diferenças existem, mas não são uma regra, são predominâncias perceptíveis no comportamento de ambos os sexos. Diante disso, essas e outras evidências da evolução dos seres vivos serão abordadas neste módulo.

## Evidências da evolução biológica

As diferentes pesquisas nas áreas da Biologia têm fornecido uma vasta evidência da evolução biológica; dentre as principais, destacam-se: documentário fóssil; adaptação dos seres vivos a seus ambientes; semelhanças anatômicas, fisiológicas e bioquímicas entre as espécies.

### Documentário fóssil

Os **fósseis** (do latim *fossilis*, "tirado da terra") correspondem a restos de seres vivos ou a vestígios de atividades biológicas de eras passadas.

As descobertas e estudos dos fósseis permitem aos paleontólogos deduzir aspectos morfológicos de organismos, estabelecendo uma possível análise histórica e comportamental desses seres vivos na época em que habitaram o planeta Terra.

O documentário fóssil torna-se uma das mais evidentes provas da colonização da Terra por espécies de aspectos morfológicos diferentes das encontradas atualmente, aumentando, assim, a curiosidade em descobrir os fatos e as circunstâncias que as fizeram desaparecer ou transformar-se ao longo do tempo.

## Processos de fossilização

A raridade de documentos fósseis é explicada tendo em vista a quantidade de condições favoráveis necessárias para que um organismo, após a sua morte, dê início à preservação de seu cadáver.



Fóssil de *Xiphactinus*.

Em geral, assim que um organismo alcança o fim de seu ciclo vital, os organismos decompositores (bactérias e fungos) iniciam a decomposição de sua matéria orgânica, etapa fundamental no ciclo da matéria.

Para uma adequada fossilização, é importante que o organismo sofra soterramento por sedimentos, como areia, argila etc., geralmente em ambientes alagados. Antes de soterrado, o organismo poderá passar por uma série de processos, como desarticulação e transporte, e só depois ser soterrado. A água atua como agente transportador do material e de sedimentos que recobrirão o organismo.

Depois de soterrado, o organismo passará por um processo chamado **diagênese**, que consiste na compactação (pelo peso do sedimento) e na cimentação (o sedimento depositado sobre o organismo ou por dentro dele, por meio de processos químicos, aglomera-se e passa a formar uma rocha sedimentar). Nessas condições, esse organismo pode ser considerado um fóssil.

Os vestígios representam evidências da existência do organismo ou de sua atividade e também são úteis para identificar a presença de um determinado organismo quando seus restos não foram fossilizados.

Os principais vestígios encontrados são pegadas, fezes fossilizadas (coprólitos) e a formação de moldes internos e externos do organismo.

A concha de um molusco bivalve poderá deixar vestígios na forma de molde interno (quando a porção interna da concha fica marcada durante a sedimentação) ou a impressão do molde externo. Após isso, a concha poderá ser dissolvida por ação do tempo, sendo o seu espaço preenchido por outro material, originando um contramolde.

Em alguns casos, certos organismos podem ter aparecido há bastante tempo, e, embora existam até hoje, seus corpos não sofreram muitas modificações ao longo do tempo geológico. Esses organismos são denominados "fósseis vivos".

No entanto, o conceito de "fóssil vivo" em contextos científicos e educativos não é considerado relevante por não ser minimamente objetivo – nem útil – na abordagem de temas paleontológicos ou evolutivos.

## Adaptação dos seres vivos a seus ambientes

O fato de os organismos estarem adaptados para a vida na Terra é tão óbvio que os filósofos não precisaram esperar por Darwin para destacar esse aspecto de magnitude evolutiva.

Muitos são os exemplos encontrados da adaptação dos organismos a seus respectivos ambientes: o bico do pica-pau,

a camuflagem das mariposas, o mimetismo das borboletas e a resistência do HIV a fármacos, por exemplo.

O conceito de adaptação biológica tem sido considerado uma das ideias centrais do modelo explicativo darwinista para as mudanças evolutivas das formas vivas.

No âmbito semântico, seu significado condiz com aquele encontrado em sua etimologia, com base nos termos latinos *ad* + *aptus*, ou seja, em direção a um ajuste. Dessa forma, esse "ajustamento" que todo ser vivo apresenta em relação ao seu ambiente é chamado **adaptação**.

De acordo com a descrição do biólogo Walter Bock, "uma adaptação é, assim, uma característica do organismo que interage operacionalmente com algum fator do seu ambiente de tal modo que o indivíduo sobrevive e se reproduz". A seguir, veja exemplos de adaptações.

## Camuflagem

A camuflagem corresponde a um evento marcante no processo de adaptação, no qual um determinado organismo apresenta um ou mais aspectos corporais que o tornam semelhante ao ambiente, dificultando sua visualização por espécies presentes no mesmo local.

Algumas espécies de louva-a-deus apresentam seu corpo morfológicamente semelhante a uma folha como forma de evitar o ataque de predadores diretos, bem como para passarem despercebidas por outros organismos de seu hábitat.

Outro animal curioso é uma espécie de cavalo-marinho (conhecido como dragão-marinho), o qual possui projeções em seu corpo que lembram algas, entre as quais esse animal vive.

A raposa-do-ártico (*Vulpes lagopus*) é um exemplo da notável adaptação animal a um ambiente inóspito. A cor de sua pelagem funciona como uma verdadeira camuflagem, e seu estômago é extremamente eficiente, digerindo qualquer presa. Além disso, pode suportar longos períodos de jejum. Na evolução da espécie, houve uma mutação que permitiu à raposa-do-ártico variar a cor de sua pelagem de acordo com a estação do ano: acinzentada ou acastanhada no verão, e branca no inverno. A mudança começa na região da cauda, avançando para a parte posterior. É importante deixar claro que essa variação da tonalidade da cor do pelo não corresponde a uma decisão voluntária do animal, mas a uma característica adaptativa incorporada à espécie durante sua evolução.



1 Fotoclia



2 Fotoclia



3 Wikimedia Commons



4 Wikimedia Commons

Figuras 1 e 2: imagens da raposa-do-ártico com pelagens de inverno e verão. Figura 3: dragão-marinho com aspectos semelhantes aos das algas do ambiente em que vive. Figura 4: louva-a-deus, um inseto que se assemelha a uma folha.

## Mimetismo

Determinados animais apresentam, em sua constituição natural, cores vivas, que servem para sinalizar aos seus predadores que sua composição é desagradável ao paladar. Esse fenômeno é chamado **coloração de aviso**. Essa indicação visual faz com que os predadores evitem alimentar-se de tais animais, devido ao seu sabor repulsivo ou mesmo venenoso, prevenindo-se, assim, de seu caráter letal.

Algumas espécies, sem qualquer grau de parentesco com esses animais que apresentam coloração de aviso, desenvolveram a habilidade de imitar tais características repulsivas com o objetivo de ludibriar seus predadores. Essa habilidade que determinados seres vivos desenvolveram denomina-se **mimetismo batesiano**, devido a essa descoberta ter sido realizada pelo explorador inglês Henry Walter Bates. Essa adaptação faz com que seus inimigos os vejam como presas repugnantes, ao invés de agradáveis (que seria como se apresentariam caso não se adaptassem), preservando, assim, sua espécie.



Mosca e besouro mimetizando abelhas e vespas.

Fritz Müller, um alemão naturalizado brasileiro que trabalhou na América do Sul, observou um fenômeno semelhante entre várias espécies igualmente repugnantes para os predadores. Quando espécies igualmente tóxicas e/ou perigosas para o predador apresentam um compartilhamento evolutivo de semelhanças, denomina-se **mimetismo mülleriano**. A semelhança existente entre as espécies de corais-verdadeiras, por exemplo, igualmente peçonhentas, constitui um exemplo desse tipo de mimetismo.

O mimetismo atua de forma a enganar os sentidos dos animais, podendo manifestar-se de forma auditiva, olfativa, tátil e visual.



Figura 1

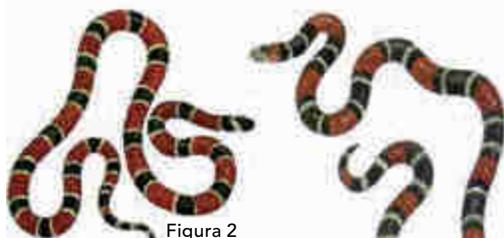


Figura 2



Figura 4



Figura 3

Entre a falsa-coral (figura 1) e as espécies de corais-verdadeiras (figuras 2, 3 e 4), encontra-se um mimetismo batesiano, enquanto, entre as espécies de corais-verdadeiras – 2) *Micrurus corallinus*; 3) *M. frontalis*; 4) *M. albicinctus* –, observa-se um mimetismo mülleriano.

## Semelhanças morfofisiológicas

O estudo dos seres vivos tem demonstrado uma organização anatômica das estruturas corporais com um significativo grau de semelhança entre algumas espécies, apesar de desempenharem funções diferentes. Como exemplo, é possível citar as asas de um beija-flor e as nadadeiras de um pinguim; as nadadeiras de um golfinho e os membros anteriores (braços) de uma pessoa.

A análise morfológica desses órgãos revela estruturas semelhantes, havendo a possibilidade de estabelecer correspondência entre os diversos ossos.

Em sua mais conhecida publicação (*A origem das espécies*, 1859), Charles Darwin defendeu que todas as formas de vida descendiam de ancestrais comuns que viveram em um passado remoto, dos quais teriam herdado a estrutura de mesmo padrão ósseo. Assim, pode-se deduzir que, durante a evolução dos grupos de seres vivos, muitas características sofreram modificações devido à adaptação das espécies e a modos de vida diferentes, mas o “arquetipo” do ancestral há de ter sido conservado.

Mesmo antes de Darwin, os evolucionistas alegavam que as semelhanças no desenvolvimento embrionário indicavam uma descendência comum. Os livros modernos ainda apresentam esboços de embriões de animais, como aves, répteis e mamíferos, como o ser humano, mostrando importantes semelhanças entre eles e atribuindo essas semelhanças à existência de um ancestral comum.

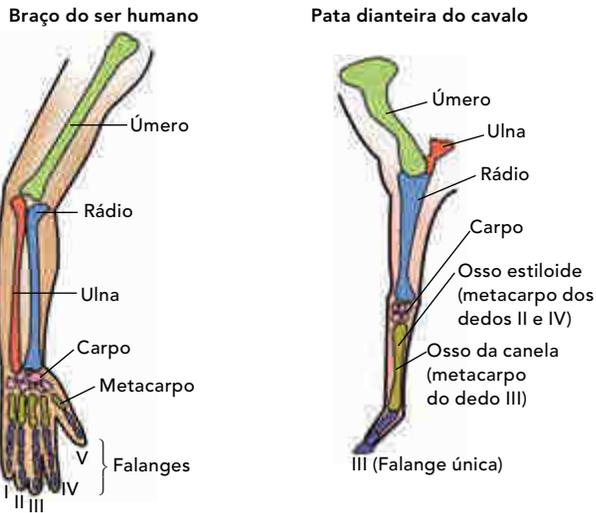
O chavão evolucionista “a ontogenia recapitula a filogenia” é uma definição popular da Teoria da Recapitulação ou Lei Biogenética de Ernst Haeckel. Essa teoria afirma que cada organismo em seu desenvolvimento embrionário (ontogenia) tende a recapitular os estágios pelos quais passaram seus antepassados (filogenia).

Peixe	Galinha	Ser humano
1 dia	3 dias	32 dias
3 dias	12 dias	56 dias

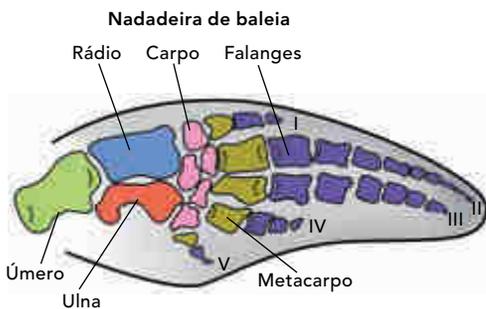
Semelhança observada no desenvolvimento embrionário de cordados.

Dessa forma, estruturas que derivam de outras presentes em um mesmo grupo ancestral comum, refletindo, portanto, parentesco evolutivo, são denominadas **estruturas homólogas**. Essas apresentam a mesma origem embrionária e, portanto, são utilizadas para estabelecer uma relação de parentesco evolutivo (árvore filogenética).

Tais estruturas homólogas podem ou não desempenhar a mesma função. As nadadeiras de baleias e golfinhos (ambos mamíferos) revelam estruturas de mesma origem embrionária que se adaptaram ao mesmo modo de vida aquático. No entanto, a observação das asas dos morcegos e das nadadeiras das baleias permite concluir que, apesar da função distinta, essas estruturas são homólogas, pois são modificações de ossos presentes nos membros anteriores dos animais que compõem o grupo ancestral exclusivo que deu origem aos mamíferos.

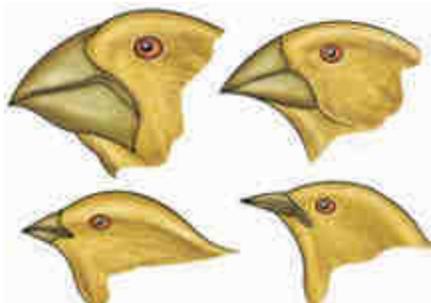


Homologia verificada entre o braço humano e a pata dianteira do cavalo.



Homologia entre a asa de um morcego e a nadadeira de uma baleia.

No caso de estruturas homólogas não desempenharem a mesma função, fala-se em **divergência evolutiva**, que pode originar uma variedade de formas adaptativas que exploram de maneira diversificada os recursos ou o hábitat. Nesse caso, essas formas são chamadas **irradiações adaptativas**.



Variações na morfologia do bico dos tentilhões, evidenciando o processo de irradiação adaptativa.

Na anatomia comparada, é possível perceber a existência de **órgãos vestigiais**. Essas estruturas são, geralmente, menores, mais simples e/ou sem função quando comparadas às partes correspondentes de espécies ancestrais.

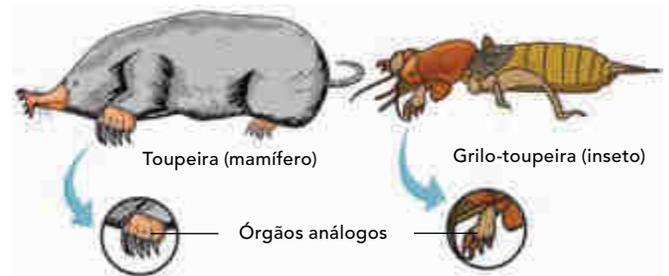
Assim, pode-se concluir que os órgãos vestigiais revelam uma evidência evolutiva de ascendência comum. Como exemplos, percebem-se as asas vestigiais em aves que não voam, como avestruzes, as asas traseiras vestigiais de moscas e o apêndice nos seres humanos.

Quando estruturas são semelhantes apenas por exercerem a mesma função, são denominadas **estruturas análogas**. Sendo assim, elas não derivam de modificações de estruturas semelhantes existentes no ancestral comum. Com isso, afirma-se que tais estruturas não podem ser utilizadas para a construção de relações de filogenia entre os seres vivos.

Como exemplo de analogia, é possível citar as asas de um beija-flor e as asas de uma borboleta, pois, apesar de desempenharem a mesma função adaptativa, certamente não são derivadas de um mesmo ancestral comum.

Segundo os estudos evolutivos, as estruturas análogas são resultado de um processo denominado **evolução convergente** (ou convergência evolutiva), que acontece quando organismos evolutivamente não tão próximos assemelham-se em função da adaptação a uma mesma condição ecológica.

A adaptação da garra da toupeira-nariz-de-estrela (pequeno mamífero que habita a costa nordeste dos Estados Unidos) e a do grilo-toupeira (inseto), por exemplo, revelam estruturas que são condicionadas à execução das mesmas funções, porém com origens embrionárias evolutivas diferentes.



Outro exemplo de convergência evolutiva é a semelhança fusiforme do corpo de peixes (tubarões), golfinhos e répteis fósseis do grupo dos ictiossauros.

## Evidências moleculares

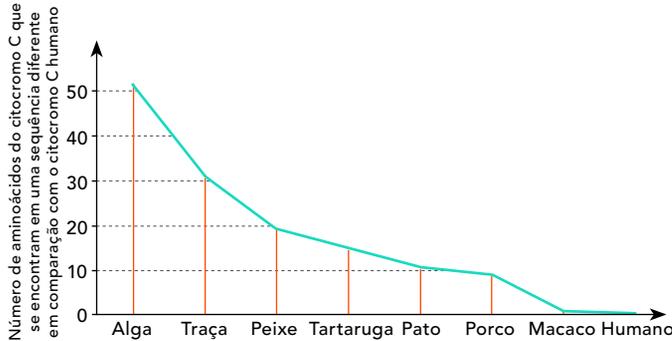
As modernas técnicas de análises moleculares têm mostrado uma grande semelhança bioquímica entre os organismos aparentados evolutivamente.

Talvez uma das características mais significativas do código genético seja a sua universalidade. Isso significa que todos os seres vivos têm os mesmos nucleotídeos em seu DNA e são traduzidos da mesma maneira em proteínas, abrindo a possibilidade de uma origem comum e única para todos os seres vivos. Seria apenas uma coincidência?

Durante a década de 1970, os biólogos testaram as árvores filogenéticas, comparando as moléculas de várias espécies. Quanto mais semelhantes fossem as moléculas de duas espécies diferentes, presumia-se que mais aparentadas seriam.

O estudo comparativo de DNA, RNA e proteínas pode fornecer indícios sobre relações filogenéticas entre grupos de seres vivos. Para isso, moléculas retiradas de seres vivos de grupos diferentes são sequenciadas e comparadas. Alguns pesquisadores utilizam os princípios da cladística para realizar as comparações: eles procuram determinar quais seriam as condições ancestral e derivada da molécula analisada e constroem cladogramas a partir das condições derivadas.

O **citocromo C** é uma proteína respiratória que se encontra em todos os organismos aeróbios. A molécula dessa proteína existe em todas as espécies com a mesma função, sendo constituída por 104 aminoácidos. No decurso da evolução, as mutações modificaram os aminoácidos em certas posições da proteína, mas o citocromo C de todas as espécies tem, incontestavelmente, estrutura e função semelhantes, tornando-se, para o evolucionismo, uma **evidência de ordem bioquímica**.



O citocromo C é uma pequena proteína que tem um papel central na respiração celular.

## Teorias evolucionistas

As teorias sobre a evolução são bastante antigas e já se encontravam nos escritos dos filósofos gregos pré-socráticos. A partir do século XVIII, alguns naturalistas iniciaram os estudos para tentar explicar a diversidade das espécies. Veja o seguinte exemplo.

Muitas espécies de cucos e chupins põem seus ovos nos ninhos de outras espécies de pássaros. Esse comportamento é conhecido como parasitismo de ninho: os pássaros hospedeiros frequentemente incubam os ovos e criam os filhotes parasitas. Pássaros hospedeiros que aceitam ovos parasitas, e os criam, provavelmente produzirão menos descendentes do que hospedeiros que reconhecem os ovos parasitas e os destroem, empurrando-os para fora dos ninhos.

Para investigar a evolução desse comportamento de defesa, biólogos estudaram cucos e seus hospedeiros em áreas onde o parasitismo de ninho ocorre em diferentes períodos. Em um vale localizado no sudoeste da Espanha, cucos e pegas têm convivido por vários séculos. Nesse ambiente, 78% das pegas foram capazes de remover ovos artificiais de cuco colocados experimentalmente em seus ninhos. No entanto, em um outro vale da Espanha, no qual os cucos estão presentes apenas desde o início da década de 1960, somente 14% das pegas removeram os ovos artificiais de seus ninhos. O comportamento de remoção dos ovos parasitas evoluiu rapidamente no Japão, onde cucos e pegas-de-asas-azuladas recentemente ocuparam o mesmo espaço. Em uma região onde os cucos já parasitavam ninhos de pegas há 10 anos, nenhuma pega removia ovos de cuco, no entanto, em áreas onde o parasitismo ocorria há mais de 20 anos, 42% das pegas os removiam. O que pode explicar essas diferenças no comportamento das pegas?

O comportamento de defesa estabelecido no exemplo entre os chupins e cucos revela a estratégia de sobrevivência e adaptação na busca pelo sucesso reprodutivo dos seres vivos.

O estudo das teorias evolucionistas busca demonstrar como esses mecanismos estratégicos surgiram. A principal

contribuição de Charles Darwin para a Biologia foi propor uma hipótese plausível e passível de ser testada de um mecanismo de modificação evolutiva que poderia resultar na adaptação de organismos a seus ambientes. É preciso sempre considerar que o ambiente de um organismo inclui o ambiente físico, os indivíduos de outras espécies e os indivíduos da espécie em questão. Todos esses componentes influenciam a sobrevivência e o sucesso reprodutivo dos indivíduos.

## Antes de Darwin

Antes de os mecanismos da evolução serem compreendidos, personalidades importantes do mundo naturalista estabeleceram que os organismos sofriam transformações ao longo do tempo. Em meados do século XVIII (1760), o francês Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), escreveu a obra *História natural dos animais*, que demonstra uma visão clara da possibilidade de ocorrência de evolução. Inicialmente, o conde acreditava que os organismos haviam sido criados divinamente para um tipo particular de sobrevivência. Contudo, à medida que estudava a anatomia comparada, ele começou a apresentar dúvidas. A observação de que alguns órgãos em mamíferos possuem bastante similaridade e o fato de que porcos possuem alguns dedos que praticamente não tocam o solo (parecendo não ter utilidade), intrigaram o conde de Buffon, que considerou difícil justificar esses mecanismos por criação divina.

Essas estruturas, aparentemente sem uso, poderiam ser explicadas se os mamíferos não tivessem sido criados com a mesma variabilidade encontrada atualmente, ou seja, se eles tivessem sido modificados ao longo do tempo a partir de formas ancestrais.

A ideia de Buffon demonstra uma visão nobre de que ocorre evolução (transmissão com modificação), porém ele nunca estabeleceu mecanismos que pudessem explicar como as modificações ocorreriam.

## O determinismo de Lamarck

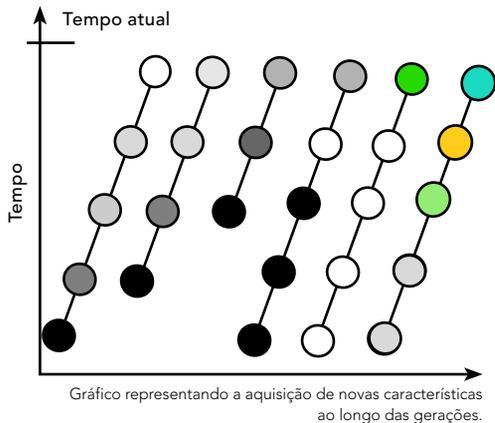
Um aluno do conde de Buffon, Jean-Baptiste de Monet, cavaleiro de Lamarck (1744-1829), obteve sequência de destaque nos estudos sobre evolução e acabou sendo o primeiro naturalista a propor mecanismos para as mudanças evolutivas. Lamarck sugeriu que as variações dos organismos ocorriam de forma gradual, com o passar de muitas gerações, uma vez que a descendência herda estruturas adquiridas pelos genitores.

O naturalista Lamarck publicou, em 1809, a obra *Philosophie zoologique*, a qual ampliou pensamentos por ele publicados em 1801. Nessa obra, Lamarck estabeleceu que as mudanças ocorridas no meio orgânico e inorgânico resultavam da ocorrência de uma lei, e não de intervenções divinas.

Para o cavaleiro de Lamarck, as transformações ocorridas ao longo do tempo poderiam ser explicadas por meio de dois mecanismos descritos a seguir.

➤ **Lei do Uso e Desuso** – A necessidade de adaptação imposta ao organismo por um ambiente dinâmico leva-o a realizar, por meio de esforços repetidos ou pela falta de utilização, o uso ou o desuso de determinadas partes do corpo. A resposta a esse uso e desuso revela o aparecimento de caracteres adquiridos (novas características) que favoreceriam sua adaptação ao ambiente. Lamarck propôs que esses caracteres adquiridos poderiam ser transmitidos à descendência, possibilitando a evolução.

- **Lei da Herança e dos Caracteres Adquiridos** – Segundo o naturalista Lamarck, as características adquiridas por uso e desuso eram transmitidas aos descendentes, o que resultava em uma prole portadora de mudanças.



Pode-se concluir que, para Lamarck, a evolução corresponde a um “aperfeiçoamento”, uma vez que o indivíduo evolui como resultado de um acúmulo de caracteres adquiridos ao longo do tempo. Como foi observado no gráfico anterior, cada organismo apresentaria uma série de transformações, revelando que as espécies atuais possuem uma diversidade de características que diferem daquelas existentes no momento de suas origens.

Lamarck utilizou-se de alguns exemplos para fortalecer suas defesas, como o caso do crescimento do pescoço das girafas (apesar de alguns cientistas afirmarem que ele não detalhou esse exemplo ao publicá-lo na sua *Filosofia zoológica*, em 1809). Ele defendia que as girafas, inicialmente de pescoço curto, viviam em lugares onde o solo era seco e sem capim. Assim, obrigadas a comer folhas e brotos no alto das árvores, esticavam o pescoço repetidamente. Mantidos os esforços ao longo de gerações por todos os indivíduos da espécie, os resultados foram pernas anteriores mais longas que as posteriores, além de um pescoço alongado. Essas características desenvolvidas pela Lei Natural do Uso e Desuso teriam sido transmitidas às descendências ao longo das gerações.



Outro conhecido exemplo desse evolucionista é o de que aves aquáticas teriam desenvolvido longas patas devido ao esforço que faziam para esticar as pernas durante a locomoção na água.

## Charles Darwin e a adaptação

O termo **adaptação** possui dois significados em Biologia Evolutiva:

- O primeiro refere-se a características que aumentam a sobrevivência e o sucesso reprodutivo dos indivíduos que as possuem. Por exemplo, acredita-se que as asas são adaptações para o voo, a teia de uma aranha é uma adaptação para a captura de insetos voadores, e assim por diante.
- O segundo significado refere-se ao processo pelo qual essas características são adquiridas, ou seja, os mecanismos evolutivos que as produzem.

Os biólogos consideram um organismo bem adaptado a um determinado ambiente quando o desempenho de um organismo, minimamente diferente do anterior, que se reproduz

ou sobrevive com uma maior eficiência do que este no mesmo ambiente, ou seja, adaptação é um conceito relativo.

Para compreender a adaptação, os biólogos devem comparar a atuação de indivíduos (da mesma espécie ou de espécies diferentes) que diferem entre si em determinadas características. Por exemplo, para investigar a natureza adaptativa de teias de aranha, é possível tentar determinar a eficiência de captura de insetos, comparando teias feitas por indivíduos de uma mesma espécie, mas que possuam pequenas diferenças em suas conformações. Pode-se também medir modificações existentes nas teias dessa espécie em diferentes situações. A partir desses dados, será possível compreender como alterações na estrutura da teia podem influenciar a sobrevivência e o sucesso reprodutivo dos indivíduos que a teceram.

## A viagem do naturalista vitoriano

Aos 22 anos, Charles Darwin teve uma oportunidade única de aprofundar seus estudos e de aumentar suas coleções quando, recomendado ao capitão Robert FitzRoy pelo seu professor de botânica, John Henslow, embarcou como naturalista em uma expedição ao redor do mundo a bordo do navio HMS Beagle.

Ao longo dessa revolucionária viagem, sempre que possível, Darwin descia à terra para observar e buscar espécimes que ocupavam os mais diferentes tipos de ambiente.

Não tardou para que o cientista observasse uma grande quantidade de estruturas e de comportamentos, os quais aparentemente se desenvolveram com o objetivo de assegurar a sobrevivência e o sucesso reprodutivo dos indivíduos que os apresentavam.

Como o próprio Darwin disse: “para ser um bom observador, é preciso ser um bom teórico”. Ele estudou Botânica, Entomologia e Paleontologia quando cursava Teologia na Universidade de Cambridge, incentivado pelo primo William Darwin Fox, que cursou Entomologia.

Um grande período da viagem ocorreu na costa litorânea da América do Sul, onde percebeu que as espécies ali encontradas diferiam bastante daquelas observadas na Europa.

No entanto, Darwin sentiu-se encantado pelo arquipélago de Galápagos (oeste do Equador), onde a maioria das espécies não era encontrada em nenhuma outra parte do mundo. Percebeu também que a fauna encontrada nas diferentes ilhas do arquipélago não apresentava a mesma composição.

A certeza de que a viagem a bordo do Beagle foi a causa do surgimento do Darwin autor e evolucionista encontra-se documentada na introdução de seu livro, quando ele assim escreveu:

As relações geológicas que existem entre a fauna extinta da América meridional, assim como certos fatos relativos à distribuição dos seres organizados que povoam este continente, impressionaram-me profundamente quando da minha viagem a bordo do Beagle, na condição de naturalista. Estes fatos [...] pareceram lançar alguma luz sobre a origem das espécies [...]. Julguei que, acumulando pacientemente todos os dados relativos a este assunto e examinando-os sob todos os aspectos, poderia, talvez, elucidar esta questão.

Seu retorno à Inglaterra ocorreu cinco anos depois, em 1836, quando ele continuou a amadurecer e a ponderar suas ideias e observações para, anos mais tarde, publicar aquele que seria o mais revolucionário pensamento das ciências naturais no campo da evolução.

No ano de 1842, recebeu uma casa de campo de herança paterna, na qual viveu devotado ao estudo.

No dia 24 de novembro de 1859, Charles Darwin publicou, em Londres, a primeira edição de seu livro, intitulado *On the origin of species by means of natural selection, or The preservation of favoured races in the struggle for life* (*Sobre a origem das espécies por meio da seleção natural, ou A preservação de raças favorecidas na luta pela vida*). Com uma tiragem de 1 250 exemplares, todos foram vendidos no primeiro dia de lançamento; somente na sexta edição, o título sofreu abreviação para *A origem das espécies*, como é conhecido atualmente.

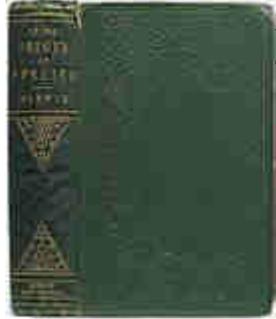


Foto da capa da primeira edição de *A origem das espécies*, do naturalista Charles Darwin. Um exemplar dessa edição atinge hoje mais de 90 mil dólares em leilão.

## Mecanismos darwinistas para explicar a adaptação

A obra de Darwin continha algumas ideias centrais para uma compreensão do pensamento evolutivo. Entre essas observações, é possível citar:

- **As espécies não são imutáveis (oposição ao fixismo)** – Para Charles Darwin, a evolução é um fato histórico, de maneira que as espécies sofrem modificações ao longo do tempo; com isso, ele concorda com o pensamento de Lamarck, mas não admite que a Lei do Uso e Desuso possa ser o mecanismo responsável pelas variações.
- **O agente que produz as modificações é a seleção natural** – Em seu estudo sobre populações, Darwin observou que, apesar de os filhotes de uma determinada espécie serem semelhantes a seus parentes, a descendência possui pequenas variações que podem afetar significativamente sua sobrevivência e sua consequente taxa de reprodução. Ele chamou tal fenômeno de **seleção natural**, como ele mesmo descreve em seu livro:

[...] Dei o nome de seleção natural ou de persistência do mais capaz à preservação das diferenças e das variações individuais favoráveis e à eliminação das variações nocivas. As variações insignificantes, isto é, as que não são nem úteis nem nocivas ao indivíduo, não seriam prejudicadas pela seleção natural e seriam deixadas no estado de elementos variáveis, talvez como as que vemos em algumas espécies polimorfas, e terminariam por tornarem-se fixas, graças à natureza do organismo e às das condições de vida [...].

*A origem das espécies*, de Charles Darwin.

- **Todas as espécies descendem de um ancestral comum** – Nas ilhas Galápagos, Darwin observou a semelhança entre as espécies de tentilhões com uma que vivia no continente, um pouco distante do arquipélago. Isso permitiu a ele supor que indivíduos pertencentes à população de tentilhões do continente haviam migrado, há muito tempo, para essas ilhas, onde, por meio de seleção natural, teriam surgido populações com adaptações diferentes. No entanto, todos teriam o mesmo ancestral comum. Assim, expandiu sua ideia para todo o mundo natural.

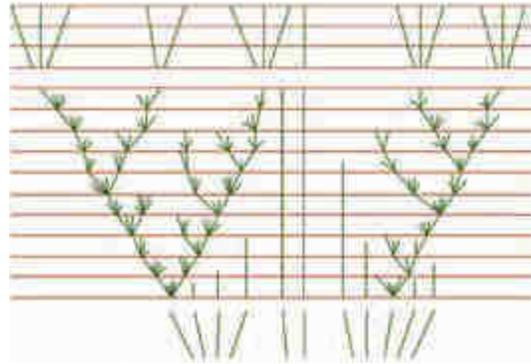


Diagrama ramificado de Darwin, mostrando a inter-relação entre espécies atuais e ancestrais.

## Evolução a partir de Darwin

Quando propôs a Teoria da Seleção Natural, Darwin não tinha exemplos de seleção que estivessem operando na natureza. Em vez disso, fundamentou seus argumentos nos resultados observados na seleção de espécies domesticadas. Desde o tempo de Darwin, muitos estudos têm sido desenvolvidos sobre a ação da seleção natural. Sabe-se, atualmente, que a evolução biológica consiste na modificação da composição genética de uma população ao longo do tempo. Darwin compreendeu a importância da hereditariedade para sua teoria, mas desconhecia qualquer modelo de herança genética. Empregou muito tempo na tentativa de desenvolver uma teoria de hereditariedade, no entanto, não conseguiu descobrir as leis que governam a herança genética. Apesar de ter tido acesso ao trabalho de Gregor Mendel, não foi capaz de compreender o significado desses estudos.

Por volta de 1900, a redescoberta dos trabalhos de Mendel começou a pavimentar um caminho que desembocaria no desenvolvimento da Genética das Populações, um campo que fornece grande sustentação para o darwinismo. Os geneticistas de populações aplicam as Leis de Mendel a populações inteiras de organismos; eles estudam variações inter e intraespecíficas com o objetivo de compreender os processos que resultam em alterações evolutivas nas espécies ao longo do tempo, assunto que será visto com mais detalhe no módulo sobre genética das populações.

## Fatos relevantes

Apesar de ter oferecido uma explicação inadequada para a evolução das espécies, Lamarck contribuiu de forma notável com as ideias evolucionistas: ele chamou atenção para o fato de que o meio ambiente e a adaptação a ele são fatos que impulsionam a transformação das espécies. Perceba que, tanto para Lamarck quanto para Darwin, o ambiente tem um papel importante. Para Lamarck, o ambiente provoca, determina, induz as variações; para Darwin, a variabilidade é própria do ser vivo (apesar de ele desconhecer os mecanismos que promovem a variabilidade), o ambiente apenas seleciona a variação mais adaptativa.

## Teoria Sintética da Evolução ou neodarwinismo

Darwin não explicou satisfatoriamente as causas da diversidade, mas, com o desenvolvimento dos trabalhos de Mendel sobre genética e a descoberta das mutações pelo biólogo holandês Hugo de Vries, as causas da variabilidade puderam ser finalmente compreendidas. Houve uma reinterpretção da teoria evolucionista de Darwin tendo como base as novas descobertas.

Trabalhos de vários cientistas nas décadas de 1930 e 1940 do século XX, como os de Ronald A. Fisher, J. B. S. Haldane, Sewall Wright, Theodosius Dobzhansky e Ernst Mayr, inovaram com ideias genéticas que foram acrescentadas aos conceitos evolucionistas de seleção natural. A evolução, atualmente, é explicada pela Teoria Sintética da Evolução ou neodarwinismo. Para ela, as causas da variabilidade são as mutações e a recombinação gênica.

### Tome nota

**Recombinação gênica** consiste em mecanismos capazes de espalhar os genes surgidos por mutação ao longo da população, mas não cria novos genes ou características.

É importante destacar que as mutações ocorrem completamente ao acaso, sem efeito previsível. Por esse motivo, a ideia de *scala naturae* que Lamarck usava não faz sentido: os seres vivos não evoluem propositalmente; a evolução não conduz necessariamente ao aumento de complexidade ou ao “aperfeiçoamento” da espécie. Como as mutações dão início a todo o processo evolutivo, a evolução acaba por ser um processo casual. A seleção natural apenas seleciona as mutações que aperfeiçoam a capacidade de adaptação ao meio e, por isso, mutações de efeito deletério normalmente são excluídas da população por meio da competição com indivíduos adaptados.

A única maneira de fazer a recombinação gênica é pela reprodução sexuada. Qualquer mecanismo que envolva a transferência de genes entre indivíduos deve ser considerado recombinação gênica. Processos como meiose (devido ao *crossing-over* e à segregação dos cromossomos homólogos) e fecundação são os mais comuns dentro dos mecanismos de recombinação gênica. Além disso, mecanismos de reprodução sexuada em bactérias, como conjugação, transdução e transformação, também constituem recombinação gênica. Assim, os neodarwinistas apontam as mutações e as recombinações gênicas como eventos explicativos da variabilidade, em que, por meio da seleção natural, indivíduos potencializarão suas capacidades reprodutivas, uma vez que estarão adaptados à sobrevivência.

## Fatores evolutivos

### Mutação gênica

Uma mutação corresponde a toda alteração aleatória na sequência informativa de um gene. Essas modificações no conjunto gênico do indivíduo não podem ser explicadas pelos mecanismos de recombinação genética (*crossing-over*, segregação independente de cromossomos) e possuem caráter hereditário. Dessa forma, o organismo mutante é aquele que resultou de súbitas alterações em seu conjunto genético.

As mutações gênicas são consideradas as fontes primárias do fenômeno de variabilidade, uma vez que resultam no aumento do número de alelos disponíveis em um *locus*. Pode-se concluir que as mutações permitem a criação de novos genes alelos.

As mutações não apresentam efeito intencional de adaptação do indivíduo ao ambiente; elas ocorrem de forma aleatória e por seleção natural. Serão mantidas caso sejam favoráveis (seleção positiva) ou eliminadas em caso de efeito não adaptativo (seleção negativa).

As mutações ocorrem em todo e qualquer estágio do ciclo celular e em células que possuem as mais variadas diferenciações. Assim, as mutações afetam tanto as células somáticas como as germinativas (envolvidas na formação de gametas). No entanto, apenas estas últimas possuem importância evolutiva,

uma vez que são repassadas às gerações seguintes. Essas mutações germinativas correspondem a um dos mais importantes fatores de variabilidade das populações ao longo do tempo.

### Recombinação gênica

Uma importante propriedade do DNA das células é a sua capacidade de sofrer rearranjos, que podem ocasionar desde novas combinações entre os genes presentes em qualquer genoma individual até alterações qualitativas e quantitativas na expressão desses genes. A combinação é uma fonte de variação genética fundamental para permitir que os organismos evoluam em resposta a mudanças ambientais. Esses rearranjos do DNA são realizados pela recombinação genética.

Dois mecanismos principais promovem a ocorrência de recombinação: o *crossing-over* (evento ocorrido na subfase de paquíteno da prófase I) e a segregação independente dos cromossomos homólogos (que ocorre durante a anáfase I).

Enquanto a mutação permite a criação de genes alelos novos, a recombinação corresponde a um mecanismo de distribuição (reorganização) aleatória dos genes alelos já existentes nos cromossomos.

Dessa forma, populações de indivíduos que apresentam fecundação cruzada possuem maiores probabilidades de aumentar a variabilidade genética, mesmo que não ocorra a adição de genes novos por mutação gênica.

### Migração

Do ponto de vista evolutivo, as migrações colaboram com a variabilidade genética, uma vez que a entrada ou saída de indivíduos de um grupo populacional favorece a introdução ou remoção de genes, conduzindo a uma diferente oferta de genes para ocorrência das recombinações genéticas.

A entrada dos indivíduos denomina-se **imigração**, e a saída, **emigração**. Quando se tem a entrada de um indivíduo em uma população, ele carrega um conjunto gênico que passa a ser introduzido no grupo já existente, permitindo, assim, a ocorrência de alteração na frequência gênica da população de origem. A migração permite estabelecer um fluxo de genes entre populações distintas, diminuindo as diferenças genéticas entre essas populações.

### Deriva genética

A deriva genética corresponde a um fator evolutivo eventual que induz mudanças aleatórias nas frequências gênicas. Nesse processo, apenas uma fração dos zigotos verdadeiramente se torna adulta e, com isso, nem todos os alelos dos genitores serão repassados aos descendentes, provocando mudança na distribuição e na frequência gênica da população. Assim, pode-se concluir que, na deriva genética aleatória, ocorre variação das frequências dos genes sem a participação da seleção natural.

Darwin não conhecia a deriva genética; essa é uma das razões para que os biólogos evolutivos modernos não sejam simplesmente darwinistas.

Isso não significa que houve uma única mulher da qual nós todos descendemos, mas que, de uma população, numerando talvez diversos milhares, somente uma linhagem mitocondrial de genes foi passada adiante acidentalmente. (Essa descoberta, talvez a mais importante para nós, é a menos disputada pelos geneticistas e por pessoas familiarizadas com a deriva genética e com outras manifestações das leis da probabilidade.)

CURTIS, Helena; BARNES, N. Sue. *Biology*. 5. ed. Worth Publishers, 1989. p. 1050.

Um caso particular de deriva genética é conhecido como **princípio do fundador**. Nesse caso, um pequeno grupo isola-se de uma população maior, formando uma nova população. Esse efeito é muito bem conhecido nas populações humanas.

Pode-se observar uma provável ausência do grupo sanguíneo B nos indígenas americanos, que chegaram por meio do Estreito de Bering, durante a última Era do Gelo. Essa suposta ausência do tipo sanguíneo B certamente não resultou de processos seletivos, mas provavelmente consiste em um exemplo de efeito fundador. Esse efeito resulta de populações fundadas por pequenos grupos, os quais permanecem isolados e completamente fechados a outros representantes das populações circunvizinhas. Assim, a frequência dos genes daquelas populações difere completamente das populações situadas nos arredores.

## Seleção

Nos estudos da Biologia, a definição do conceito de seleção é bastante abrangente, devido às divergências de análise acadêmica que o termo permite.

Observe o conceito comumente matemático: a seleção é a diferença consistente e não aleatória nas taxas reprodutivas de entidades biológicas fenotipicamente (e genotipicamente) distintas. Assim, a seleção promove o aumento do potencial reprodutivo dos organismos mais adaptados a determinada condição ecológica, diminuindo a ocorrência dos desvantajosos para essa mesma condição.

Esse conceito matemático evita os adjetivos “natural” e “artificial”, pois, se a seleção corresponde apenas a uma diferença nas taxas reprodutivas das entidades biológicas distintas, qual seria a diferença entre a seleção natural e a artificial? Do ponto de vista matemático, nenhuma.

No entanto, é possível estabelecer uma diferença quanto ao agente seletivo. Dessa forma, a seleção natural apresentaria como agente a natureza, e a seleção artificial teria como agente o ser humano.

Alguns especialistas em Biologia Evolutiva discordam dessa diferença, argumentando que a definição de seleção refere-se, sobretudo, à consequência do processo, e não ao seu desenrolar mecânico.

Percebe-se que, após a análise dos resultados, convém definir a seleção natural como um embate das entidades biológicas no mundo real externo, seu ambiente de adaptabilidade, completo e íntegro. Portanto, todas as suas características somam-se para determinar sua dinâmica naquele meio, contribuindo em maior ou menor grau para as diferenças nas taxas reprodutivas.

No caso da seleção artificial, um organismo (leia-se ser humano) escolhe os indivíduos cruzantes com base em uma só característica, ou em algumas poucas, que não necessariamente contribuiria(m) para o ajustamento (taxa reprodutiva média *per capita*) daquela entidade no ambiente natural.

Pode-se concluir que a seleção artificial promove uma alteração quantitativa mais rápida. Além disso, deve-se concordar que essa seleção, visando a um só caráter, faz com que toda uma série de genes e de características a eles relacionadas flutuem aleatoriamente.

Por exemplo, caso um pecuarista escolha, para a cruzar, vacas de boa produção leiteira, preterindo suas companheiras de baixa produção; não interessa para esse caso a produção de pelos curtos ou longos, se são malhadas ou não, se possuem audição normal ou se são surdas etc. Esses fatores, inicialmente, não interessam para o criador.

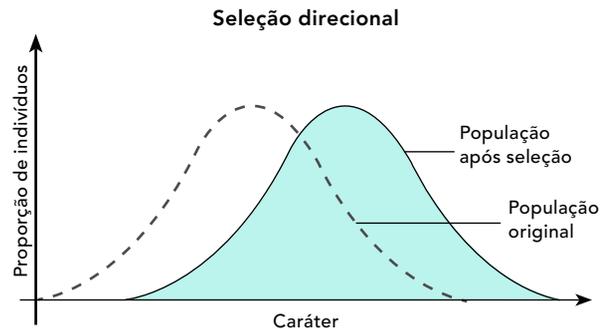
Tem-se a confirmação de que se trata de uma seleção sensivelmente diferente da que ocorreria no mesmo ambiente (fazenda) se as vacas fossem deixadas a seus próprios cuidados, ou seja, sem intervenção do ser humano.

Mark Ridley, em seu livro *Evolution*, usa a expressão “*artificial selection experiment*” para referir-se à seleção artificial. Nesse caso, o termo **experimental** não se encontra necessariamente associado a laboratórios ou à ciência moderna: o ser humano tem realizado experimentos de seleção desde o início da revolução agrícola, há mais de dez mil anos.

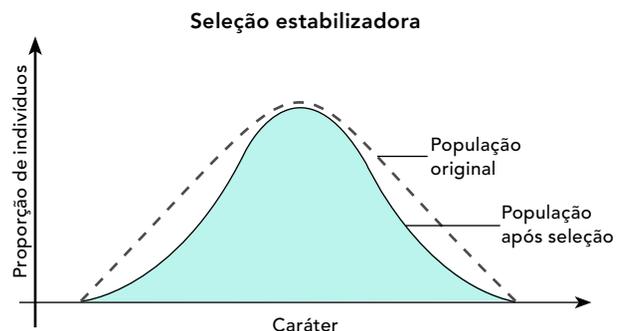
A seleção natural promove uma diminuição da variabilidade genética. Assim, quanto mais intensa a seleção natural, maior será a probabilidade de os representantes da população conterem os mesmos caracteres fenotípicos e/ou genotípicos que aumentaram suas taxas reprodutivas, diminuindo sua variabilidade.

## Tipos de seleção natural

A seleção natural é classificada em três tipos: estabilizadora, direcional e disruptiva. Essa divisão ocorre devido ao efeito da seleção sobre uma característica, por exemplo, o tamanho do corpo. O primeiro tipo é aquele em que os menores indivíduos têm maior valor adaptativo ou *fitness* (estado de se ter o corpo bem condicionado, adaptado). Nesse caso, a seleção é classificada como **direcional**, que consiste no favorecimento dos indivíduos menores e, caso o caráter em questão seja hereditário, promoverá um aumento das frequências dos genes que expressam o pequeno porte dos indivíduos. A seleção natural direcional poderá também provocar um aumento da frequência de indivíduos adultos, desde que essa característica venha a ter melhor valor adaptativo.

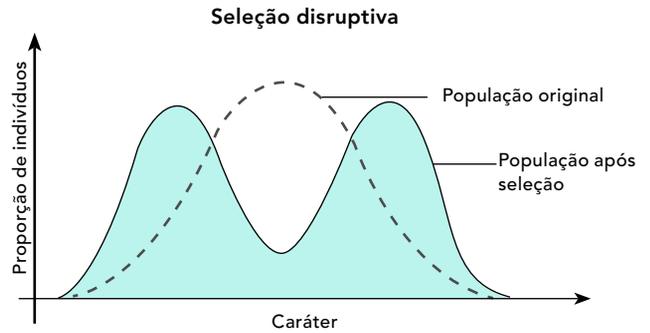


No caso da seleção natural **estabilizadora**, haverá uma seleção positiva de caráter intermediário. Nesse exemplo, ocorreria um aumento gradativo dos indivíduos de tamanhos médios, o qual se mantém constante ao longo das gerações seguintes. Um clássico exemplo de seleção estabilizadora é o nascimento de bebês humanos. Em décadas passadas, a chance de sobrevivência de um recém-nascido era maior quando possuíam tamanho médio, e menor quando divergiam dessa média. Claro que hoje isso se modificou bastante, principalmente devido aos avanços dos cuidados médicos com os bebês prematuros (menor tamanho) e com os partos cesarianos para bebês de porte maior.



No terceiro caso, tem-se a seleção natural **disruptiva** ou diversificadora. Esta favorece uma seleção positiva dos caracteres extremos e uma seleção negativa do fenótipo intermediário.

O experimento feito com moscas-das-frutas, de Thoday e Gibson, será utilizado como ilustração: eles pegaram uma população de moscas e consideraram a característica hereditária "número de cerdas". Colocaram as moscas com alto ou baixo número de cerdas para reproduzir e impediram que as moscas com um número intermediário reproduzissem. Após um tempo (12 gerações), observaram uma grande divergência: a maior parte da população era formada por indivíduos com grande número de cerdas ou com pequeno número de cerdas.

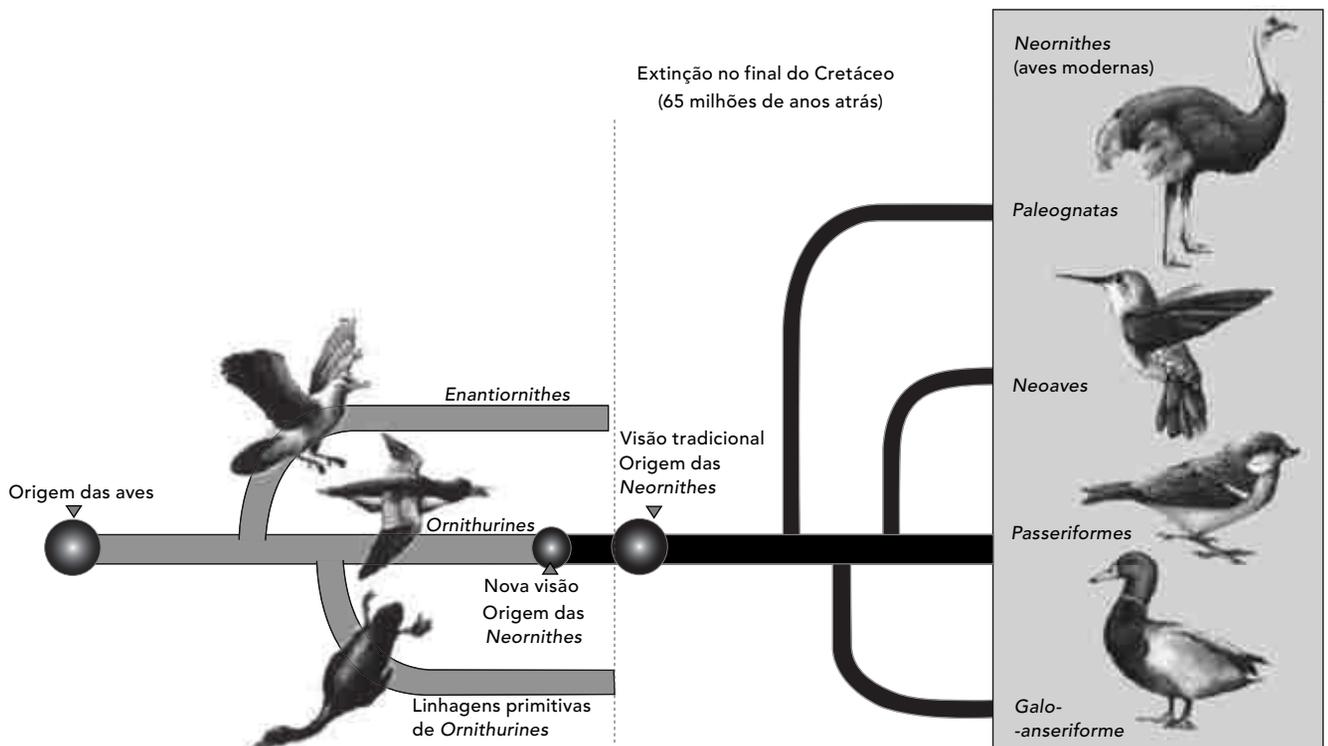


### Atividades para sala

#### Cladograma para as questões 1 e 2.

É engraçado pensar em um tordo empoleirado nas costas de um *Velociraptor* ou um pato nadando ao lado de um *Spinosaurus*.

DYKE, 2010, p. 59.



1. A ilustração anterior apresenta duas concepções sobre a origem das aves modernas, considerando um período específico na história da evolução da vida na Terra. Com base na ilustração e em conhecimentos correlatos, uma possível evidência científica que sustenta a ideia de que dinossauros e aves habitaram a Terra em um mesmo período seria
  - a) a existência de homologias encontradas a partir da análise de registros fósseis, datados de mais de 65 milhões de anos, que constata a contemporaneidade dos grupos.
  - b) a identificação de evidências moleculares por meio da análise do material genético dos grupos, que constata a universalidade do genoma dos indivíduos.
  - c) a identificação da capacidade de voar dos *Velociraptor* e dos *Neornithes* (aves modernas), evidenciando uma convergência evolutiva entre os grupos.
  - d) a universalidade do código genético, identificada por meio do documento fóssil, revelando a origem a partir de um mesmo ancestral comum.
  - e) a existência do bico nos dinossauros e nas aves modernas, revelando a homologia desses órgãos vestigiais.

2. A imagem reforça o conceito que afirma que as aves são geralmente chamadas de "dinossauros com penas". Tal denominação
- procede, porque elas surgiram a partir dos tecodontes, o mesmo grupo ancestral de répteis que originou os dinossauros. Como os dinossauros, as aves possuem ovos com âmnio. Porém, diferentemente deles, elas apresentam, como novidades evolutivas, as penas e a endotermia (homeotermia).
  - procede, porque elas surgiram a partir de répteis crocodylianos que, por sua vez, tiveram suas origens entre os dinossauros. As características do coração de crocodilos e de aves são evidências dessa proximidade e dessa descendência.
  - procede, porque elas surgiram no mesmo período que os primeiros dinossauros. Um pequeno grupo de anfíbios deu origem aos répteis que resultaram nos mamíferos e outro grupo maior de anfíbios originou répteis que se diferenciaram em dinossauros e em aves.
  - não procede, porque, para isso, elas teriam que ter se originado dos grandes répteis voadores já extintos. O grupo de répteis que originou as aves e os mamíferos ainda hoje é vivente, embora conte com poucos representantes. Sua maior expansão ocorreu na mesma época em que os grandes dinossauros.
  - não procede, porque a endotermia e as penas são características muito distintas que afastam qualquer possibilidade de que as aves e os dinossauros possam ter sido aparentados. Além disso, as aves possuem um anexo embrionário a mais, que as diferencia de todos os demais répteis.
3. Os tubarões e os golfinhos são semelhantes quanto ao formato corporal, como pode ser notado nas figuras a seguir. Tal semelhança, no entanto, não reflete proximidade filogenética.



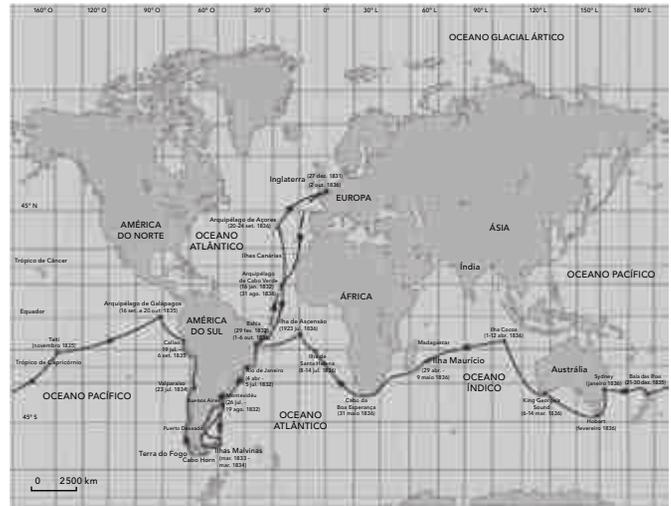
Dado que a semelhança apontada entre os tubarões e os golfinhos não pode ser explicada por ancestralidade comum, pode-se concluir que as estruturas revelam um exemplo característico de

- divergência evolutiva.
  - irradiação adaptativa.
  - evolução convergente.
  - homologia.
  - órgãos vestigiais.
4. Seus ancestrais eram animais de quatro patas como os demais répteis. Uma necessidade surgiu e esses animais passaram a se mover deslizando pelo solo e esticando o corpo para atravessar passagens estreitas. Nessas condições, as patas deixaram de ter utilidade e passaram até a prejudicar o deslizamento. As patas, pela falta de uso, foram se atrofiando e, após um longo tempo, desapareceram por completo.

Este texto exemplifica a teoria denominada

- seleção natural.
- morganismo.
- darwinismo.
- lamarckismo.
- fixismo.

5. O seguinte mapa-múndi mostra o itinerário da mais importante viagem que modificou os rumos do pensamento biológico, realizada entre os anos de 1831 e 1836. Acompanhe o percurso.



Essa viagem foi comandada pelo jovem capitão FitzRoy, que tinha na tripulação do navio HMS Beagle outro jovem, o naturalista Charles Darwin. No dia 27 de dezembro de 1831, o Beagle partiu de Devonport, na Inglaterra, rumo à América do Sul com o objetivo de realizar levantamento hidrográfico e mensuração cronométrica.

Durante cinco anos, o Beagle navegou pelas águas dos continentes e, nessa viagem, Darwin observou, analisou e obteve diversas informações da natureza por onde passou, o que culminou em várias publicações, sendo *A origem das espécies* uma das mais divulgadas mundialmente. Contudo, o legado de Darwin é imensurável, pois modificou paradigmas e introduziu uma nova forma de pensar sobre a vida na Terra.

Quando Darwin chegou ao arquipélago de Galápagos, em 1835, observou pássaros da família Fringillidae (tentilhões) e ficou impressionado com as treze espécies dessas aves nas diferentes ilhas. Uma explicação para o surgimento dessas espécies é a irradiação adaptativa, na qual os tentilhões

- apresentavam características semelhantes e hereditárias que surgiram a cada geração por acaso, e não em resposta às necessidades adaptativas dos indivíduos.
  - surgiram a partir de um ancestral comum que emigrou do continente para as ilhas, ocupando-as, enquanto os diversos ambientes insulares selecionaram as aves mais adaptadas.
  - adquiriram características em consequência do uso mais ou menos acentuado de uma parte do organismo.
  - foram capazes de gerar descendentes férteis em resposta a uma competição entre os machos de uma mesma espécie em disputa pelas fêmeas.
  - surgiram em decorrência de uma barreira física que proporcionou um isolamento geográfico e causou a origem de aves diferenciadas.
6. Até o século XVIII, prevaleceram, entre os estudiosos, as ideias criacionistas e fixistas, em que o sobrenatural era usado para explicar fenômenos da natureza. Após esse período, importantes nomes foram surgindo e implantando as ideias evolucionistas. A partir disso, algumas conclusões

de um importante nome na origem do pensamento evolucionista foram expostas, tais como:

- Lei do Uso e Desuso;
- Lei da transmissão das características adquiridas;
- Tendência inevitável ao aperfeiçoamento nos seres vivos.

Sobre as ideias expostas, é correto inferir que pertencem

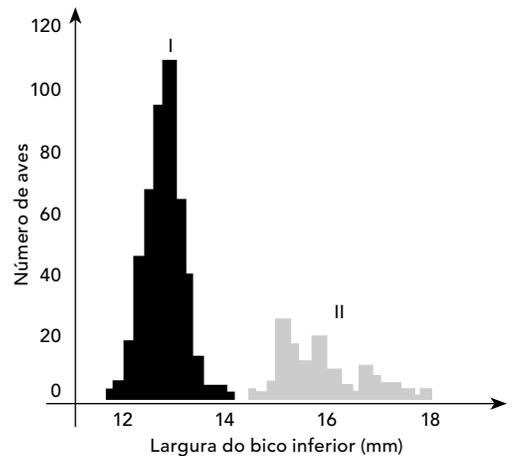
- a) ao inglês Charles Darwin, adquiridas pela viagem ao redor do mundo a bordo do navio Beagle da marinha britânica.
  - b) ao francês Lamarck e surgiram após o darwinismo, como uma tentativa de tornar a teoria evolucionista mais aceita.
  - c) ao inglês Charles Darwin e, posteriormente, foram reunidas em dois grandes conceitos: o de ancestralidade comum e o de seleção natural.
  - d) ao francês Lamarck. Darwin chegou até a concordar com a segunda ideia, porém não aceitava que os seres vivos tivessem uma tendência inevitável ao aperfeiçoamento.
  - e) ao francês Lamarck e, posteriormente, foram modificadas pelas ideias darwinistas que reuniam as mutações e recombinações como mecanismos de variabilidade.
7. Uma pessoa com aids tem vários tipos de vírus no sangue. Todos são HIV, mas nem todos são iguais, ocasionando ineficácia nos medicamentos usados no tratamento, pois, após um período de uso de medicamentos, os poucos vírus resistentes que sobram são suficientes para recomençar a infecção, desta vez mais forte.

*Superinteressante*, set. 2003. (adaptado)

Relacionando-se o texto com o neodarwinismo, sobre a diferença individual do parasita citado, conclui-se que essa diferença, a qual permite a resistência aos medicamentos, é resultante da

- a) produção de anticorpos.
  - b) recombinação gênica.
  - c) reprodução sexuada.
  - d) permutação.
  - e) mutação.
8. Em um estudo realizado nas ilhas Galápagos, um casal de pesquisadores observou que indivíduos de uma espécie de tentilhão (espécie A) comumente se alimentavam de sementes de vários tamanhos. A ilha onde a espécie A ocorria foi colonizada por outra espécie de tentilhão (espécie B). Indivíduos de B se alimentavam de sementes grandes e eram mais eficientes que A na aquisição desse recurso. Com o passar dos anos, os dois pesquisadores observaram que o tamanho médio do bico dos indivíduos de A estava reduzindo gradualmente. Considerando que pássaros com bicos maiores conseguem se alimentar de sementes maiores, o processo de redução de bico observado em A é um exemplo de seleção
- a) direcional: o estabelecimento de indivíduos da espécie B representou uma pressão seletiva que favoreceu indivíduos da espécie A com bicos pequenos.
  - b) disruptiva: o estabelecimento de indivíduos da espécie B representou uma pressão seletiva que favoreceu indivíduos da espécie A com bicos muito pequenos ou muito grandes.
  - c) estabilizadora: o estabelecimento de indivíduos da espécie B representou uma pressão seletiva que favoreceu indivíduos da espécie A com bicos de tamanho intermediário.
  - d) sexual: o estabelecimento de indivíduos da espécie B aumentou a competição entre machos da espécie A por acesso às fêmeas.
  - e) direcional: o estabelecimento de indivíduos da espécie B induziu mutações em indivíduos da espécie A.

9. A evolução envolve as formas de seleção natural, estabilizadora, direcional e disruptiva. O histograma seguinte representa o resultado do estudo em populações de tentilhões. A população I corresponde a das aves com bico "forma afinada", adaptado para quebrar sementes macias. Já na população II, o bico "forma larga" é adaptado para quebrar sementes duras mais rapidamente que o da população I.



Analisando o histograma, assinale a afirmativa correta.

- a) O exemplo corresponde à seleção direcional no sentido de alargar o bico.
- b) Ocorreu seleção disruptiva na população e aumentou a variação fenotípica.
- c) O perfil do histograma é típico de um processo de seleção estabilizadora.
- d) O histograma demonstra que a população com o bico largo teve mais vantagem.
- e) As duas populações resultaram da seleção em favor do "bico intermediário".



## Atividades propostas

1. "Fóssil de animal pré-histórico é encontrado no município de Santa Maria por equipe de paleontólogos alemães."
- Essa frase possivelmente apareceu nos maiores jornais do estado, ao final dos anos 1920, com as primeiras descobertas paleontológicas de répteis no estado. Analisando a quantidade de répteis fósseis do Período Triássico (180 milhões de anos) no Rio Grande do Sul, é possível notar que a maior parte deles é composta por dicinodontes e rincossauros, ambos herbívoros. São raríssimos os exemplares encontrados de tecodontes carnívoros.
- Com base nessas informações, pode-se concluir que, nesse ecossistema pré-histórico,
- a) o número de presas era menor que o de predadores, fato comum até mesmo nas cadeias alimentares atuais.
  - b) o número de presas era maior que o de predadores, fato observado nas cadeias alimentares atuais.
  - c) os dicinodontes e os rincossauros eram mais numerosos porque predavam os tecodontes.
  - d) os tecodontes eram menos numerosos porque concorriam pelo mesmo alimento com os dicinodontes e os rincossauros.
  - e) os rincossauros predavam os dicinodontes, concorrendo, assim, diretamente com os tecodontes, promovendo o declínio de sua população.

2. (ENEM) Embora seja um conceito fundamental para a Biologia, o termo **evolução** pode adquirir significados diferentes no senso comum. A ideia de que a espécie humana é o ápice do processo evolutivo é amplamente difundida, mas não é compartilhada por muitos cientistas. Para esses cientistas, a compreensão do processo citado baseia-se na ideia de que os seres vivos, ao longo do tempo, passam por
- modificação de características.
  - incremento do tamanho corporal.
  - complexificação de seus sistemas.
  - melhoria de processos e estruturas.
  - especialização para determinada finalidade.

3. É comum haver vários tipos de interações nas comunidades biológicas para garantir sobrevivência, que, por consequência, promoverão evolução, ou até mesmo coevolução. Uma das estratégias de interação é o mimetismo. Por exemplo, sapos que foram alimentados com abelhas vivas passaram a evitar a palatável mosca-abelha (família Bombyliidae), que mimetiza a abelha. Por outro lado, quando sapos inexperientes foram alimentados com abelhas mortas, das quais o veneno havia sido retirado anteriormente, eles apreciaram as miméticas moscas-abelhas. Sobre esse fenômeno, é correto afirmar que

- se trata do mimetismo mülleriano e do mimetismo batesiano, que correspondem ao mesmo tipo de estratégia, semelhança de presas potenciais com seus predadores.
- se trata do mimetismo mülleriano, teoria de Fritz Müller datada de 1878, que ocorre quando a aquisição do aspecto externo de uma espécie protegida por seu odor nauseabundo faz com que os organismos inofensivos não sejam atacados por seus predadores habituais.
- se trata do mimetismo batesiano, teoria formulada pelo naturalista inglês do século XIX Henry Bates, que ocorre quando a proteção de um grupo de animais se torna eficiente depois que o predador aprende, por experiência, a selecionar suas presas.
- se trata do mimetismo mülleriano, teoria de Fritz Müller datada de 1878, que se dá pela "imitação" da aparência de borboletas tóxicas aos predadores por outras espécies também tóxicas. Dessa forma, a proteção de um grupo de animais se torna eficiente depois que o predador aprende, por experiência, a selecionar suas presas.
- o conceito de mimetismo batesiano também foi formulado por Fritz Müller, em 1878, e se traduz pela ocorrência de presas potenciais que tentam se assemelhar aos seus predadores.

4. Analise as ilustrações a seguir.



Disponível em: <<http://www.ecoedges.com>>. Acesso em: 17 set. 2013.

Esses animais pertencem ao mesmo filo e classe, mas a diferentes ordens. Mesmo assim, apresentam grande semelhança de coloração. Esse fato justifica-se por

- modificações intencionais na coloração da pele, evitando a predação dessas espécies.
- infecções similares causadas por fungos, estimulando a pigmentação das áreas afetadas.

- defeitos na produção de pigmentos escuros, impedindo que a pele seja monocromática.
- transformação de um grupo de organismos em outro, modificando sua estrutura corporal.
- equivalência entre as pressões seletivas, caracterizando um caso de convergência adaptativa.

5. Os morcegos, únicos mamíferos capazes de voar, têm se adaptado ao espaço urbano e passado a viver em casas e galpões abandonados. A consequência imediata desse processo é o aumento do número de ataques de morcegos hematófagos ao homem e a outros animais. Embora pareçam morfologicamente com outras formas de vida que também podem voar, como borboletas ou beija-flores, este processo não revela padrão de semelhança filogenética.



Sendo assim, as semelhanças morfológicas citadas no contexto revelam um exemplo evolutivo de

- convergência evolutiva.
- órgãos homólogos.
- divergência evolutiva.
- irradiação adaptativa.
- deriva genética.

6. Leia o texto a seguir.

Certo dia, quase no Sol posto, avistei uma espessa nuvem negra [...]. Conhecia já alguns morcegos que se alojavam nas árvores, mas a nuvem era uma horda imensa deles [...]. Possuíam asas que não lembravam asas, e sim uma espessa pele estendida entre suas atrofiadas patas, como couro espichado em vara, daí serem silenciosas por não haver o ruflar leve de penas [...] Das suas bocas de miúdos dentes e na rede de suas asas, vinham colados inúmeros mosquitos e insetos que eles engoliam vorazes. Invadiram-me. Muitos ficaram suspensos nos caibros a lembrar grandes ratos de asas recolhidas, que o tempo envelhecera e os transformara em cegos e alados morcegos.

CAMPOS, Natércia. *A casa*. Fortaleza: Edições UFC, 2004.

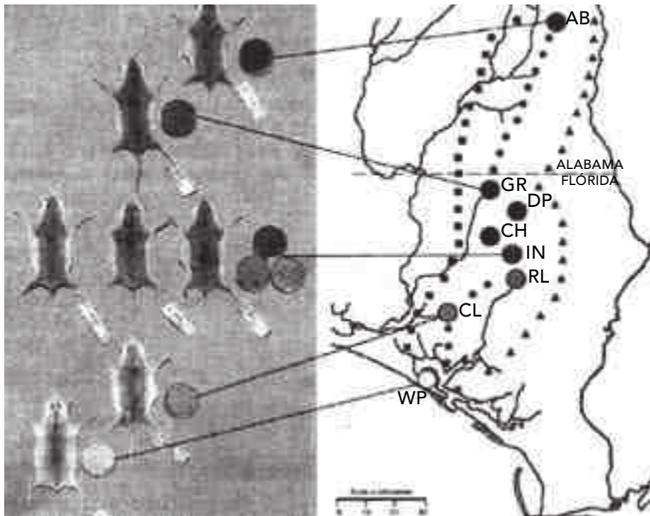
"[...] Possuíam asas que não lembravam asas, e sim uma espessa pele estendida entre suas atrofiadas patas, como couro espichado em vara, daí serem silenciosas por não haver o ruflar leve de penas. [...]"

Nesse período, há uma alusão a dois tipos de asas. Sabe-se que essas estruturas são adaptadas para o voo e revelam um caso de

- divergência evolutiva.
- homologia.
- evolução convergente.
- ancestralidade comum recente.
- mesma origem embrionária.

7. (ENEM) Os ratos *Peromyscus polionotus* encontram-se distribuídos em ampla região na América do Norte. A pelagem de ratos dessa espécie varia do marrom-claro até o escuro, considerando que os ratos de uma mesma população têm coloração muito semelhante. Em geral, a coloração da pelagem também é muito parecida à cor do solo da região em que se encontra, que também apresenta a mesma variação de cor, distribuída ao longo de um gradiente sul-norte. Na figura a seguir, encontram-se representadas sete diferentes

populações de *P. polionotus*. Cada população é representada por meio da pelagem do rato, por uma amostra de solo e por sua posição geográfica no mapa.



MULLEN, Lynne M.; HOEKSTRA, Hopi E. *Natural selection along an environmental gradient: a classic cline in mouse pigmentation*. Evolution, 2008.

O mecanismo evolutivo envolvido na associação entre cores de pelagem e de substrato é

- a alimentação, pois pigmentos de terra são absorvidos e alteram a cor da pelagem dos roedores.
- o fluxo gênico entre as diferentes populações, que mantém constante a grande diversidade interpopulacional.
- a seleção natural, que, nesse caso, poderia ser entendida como a sobrevivência diferenciada de indivíduos com características distintas.
- a mutação genética, que, em certos ambientes, como os de solo mais escuro, tem maior ocorrência e capacidade de alterar significativamente a cor da pelagem dos animais.
- a herança de caracteres adquiridos, capacidade de organismos se adaptarem a diferentes ambientes e transmitirem suas características genéticas aos descendentes.

8. (ENEM) Experimentos realizados no século XX demonstraram que os hormônios femininos e mediadores químicos atuam no comportamento materno de determinados animais, como cachorros, gatos e ratos, reduzindo o medo e a ansiedade, o que proporciona maior habilidade de orientação espacial. Por essa razão, as fêmeas desses animais abandonam a prole momentaneamente, a fim de encontrar alimentos, o que ocorre com facilidade e rapidez. Ainda são capazes de encontrar rapidamente o caminho de volta para proteger os filhotes.

VARELLA, Drauzio. *Borboletas da alma: escritos sobre ciência e saúde*. São Paulo: Companhia das Letras, 2006. (adaptado)

Considerando a situação descrita sob o ponto de vista da hereditariedade e da evolução biológica, o comportamento materno decorrente da ação das substâncias citadas é

- transmitido de geração a geração, sendo que indivíduos portadores dessas características terão mais chances de sobreviver e deixar descendentes com as mesmas características.
- transmitido em intervalos de gerações, alternando descendentes machos e fêmeas, ou seja, em uma geração, recebem a característica apenas os machos e, na outra geração, apenas as fêmeas.

- determinado pela ação direta do ambiente sobre a fêmea quando ela está no período gestacional, portanto todos os descendentes receberão as características.
  - determinado pelas fêmeas, na medida em que elas transmitem o material genético necessário à produção de hormônios e dos mediadores químicos para sua prole de fêmeas, durante o período gestacional.
  - determinado após a fecundação, pois os espermatozoides dos machos transmitem as características para a prole e, ao nascerem, os indivíduos são selecionados pela ação do ambiente.
9. Em 1831, a bordo do navio Beagle, Charles Darwin, naturalista inglês, iniciou uma viagem de exploração científica pelo mundo, durante a qual fez importantes observações dos seres vivos que resultaram na publicação do livro *A origem das espécies por meio da seleção natural*.



Modelo do Beagle (acima, Charles Darwin).

Nesse livro, considerado um dos mais importantes da história da Biologia, Darwin apresentou sua teoria sobre a evolução das espécies – o darwinismo –, que se baseia principalmente nas seguintes ideias:

- todos os seres vivos descendem, com modificações, de ancestrais comuns;
- os indivíduos com características mais vantajosas são selecionados naturalmente para a reprodução.

Entre as muitas evidências apontadas como provas da evolução dos seres vivos, Darwin destacou os fósseis que encontrou em vários países por onde passou. Na Argentina, por exemplo, descobriu o fóssil de um bicho-preguiça gigante com mais de 3 metros de comprimento.

Essas descobertas, entre outras, ajudaram a concluir que o planeta Terra foi habitado por organismos diferentes dos atuais e que muitas espécies recentes têm semelhanças com esses organismos, o que é um forte indício de parentesco evolutivo.

O princípio desse pensamento propõe que

- a descoberta de fósseis foi um fator que dificultou a comprovação da teoria evolucionista de Darwin.
- o darwinismo se baseou no estudo de espécies que contradizem, até hoje, a Teoria da Seleção Natural.
- a teoria da origem das espécies, ao contrário do que Darwin esperava, não teve repercussão nos estudos da Biologia.
- as características dos indivíduos são imutáveis ao longo das gerações, pois eles são cópias idênticas dos seus ancestrais.
- os indivíduos não são exatamente iguais, apresentando diferenças que os tornam mais adaptados ou menos adaptados ao ambiente.

10. (ENEM) Diferente do que o senso comum acredita, as lagartas de borboletas não possuem voracidade generalizada. Um estudo mostrou que as borboletas de asas transparentes da família Ithomiinae, comuns na Floresta Amazônica e na Mata Atlântica, consomem, sobretudo, plantas da família Solanaceae, a mesma do tomate. Contudo, os ancestrais dessas borboletas consumiam espécies vegetais da família Apocynaceae, mas a quantidade dessas plantas parece não ter sido suficiente para garantir o suprimento alimentar dessas borboletas. Dessa forma, as solanáceas tornaram-se uma opção de alimento, pois são abundantes na Mata Atlântica e na Floresta Amazônica.

Cores ao vento. Genes e fósseis revelam origem e diversidade de borboletas sul-americanas. Revista Pesquisa FAPESP, n. 170, 2010. (adaptado)

Nesse texto, a ideia do senso comum é confrontada com os conhecimentos científicos, ao se entender que as larvas das borboletas Ithomiinae, encontradas atualmente na Mata Atlântica e na Floresta Amazônica, apresentam

- facilidade em digerir todas as plantas desses locais.
- interação com as plantas hospedeiras da família Apocynaceae.
- adaptação para se alimentar de todas as plantas desses locais.
- voracidade indiscriminada por todas as plantas existentes nesses locais.
- especificidade pelas plantas da família Solanaceae existentes nesses locais.

11. (ENEM) Meses depois de deixar o convés do Beagle, Darwin estabeleceu-se em Londres, o coração da Inglaterra. Ansioso para se juntar aos “verdadeiros naturalistas”, Darwin mergulhou no trabalho de redigir a sua pesquisa, realizada durante a viagem no Beagle. Enquanto isso, uma grande ideia estava tomando forma em sua mente. Será que suas reflexões iniciais a bordo do navio estavam certas? Era possível que novas espécies pudessem surgir de velhas espécies? Se fosse possível, como isso poderia ter acontecido?

Fragmento extraído do material educativo da exposição Darwin – Descubra o Homem e a Teoria Revolucionária que Mudou o Mundo. Instituto Sangari.

Vários anos após o término de sua viagem ao redor do mundo a bordo do Beagle, Charles Darwin publicou sua revolucionária teoria da evolução das espécies por meio da seleção natural. Graças às reflexões do cientista durante a viagem mencionada no texto, hoje sabe-se que

- as mutações são o único fator responsável pela variabilidade genética nos seres vivos.
- a seleção natural é o único mecanismo conhecido responsável pelas mudanças evolutivas nos seres vivos.
- os indivíduos de uma população natural são todos iguais entre si, apresentando forma e comportamento imutáveis.
- o uso frequente de determinado órgão ou parte do corpo conduz à sua hipertrofia, característica mantida na prole.
- algumas características podem contribuir para a sobrevivência e reprodução de certos indivíduos em determinado ambiente.

12. (ENEM) As fêmeas de algumas espécies de aranhas, escorpiões e de outros invertebrados predam os machos após a cópula e inseminação. Como exemplo, fêmeas canibais do inseto conhecido como louva-a-deus, *Tenodera aridifolia*, possuem até 63% da sua dieta composta por machos parceiros. Para as fêmeas, do canibalismo sexual pode assegurar

a obtenção de nutrientes importantes na reprodução. Com esse incremento na dieta, elas geralmente produzem maior quantidade de ovos.

Jogo mortal, de Jerry Carvalho Borges. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br>>. Acesso em: 1º mar. 2012. (adaptado)

Apesar de ser um comportamento aparentemente desvantajoso para os machos, o canibalismo sexual evoluiu nesses táxons animais porque

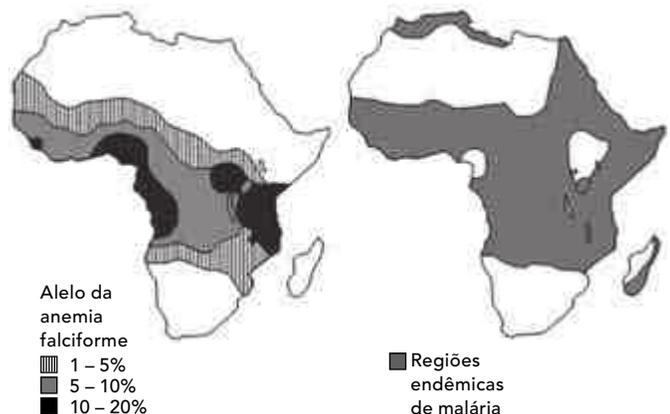
- promove a maior ocupação de diferentes nichos ecológicos pela espécie.
- favorece o sucesso reprodutivo individual de ambos os parentais.
- impossibilita a transmissão de genes do macho para a prole.
- impede a sobrevivência e reprodução futura do macho.
- reduz a variabilidade genética da população.

13. (ENEM) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (*Crotalus* spp.), 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 necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.
- as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.
- as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.
- as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.
- as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos.

14. As figuras a seguir representam as frequências do alelo da anemia falciforme (à esquerda) e as regiões de endemia da malária (à direita), causada pelo *Plasmodium falciparum*, na África. Regiões com maior quantidade de indivíduos heterozigotos para a anemia falciforme são as que apresentam maior incidência de malária.



A coincidência das distribuições dessas duas situações observadas pode-se explicar porque

- a malária atinge, preferencialmente, indivíduos com anemia falciforme.
- os indivíduos heterozigotos têm menor chance de contrair o *Plasmodium*.
- os indivíduos infectados pela malária têm maiores chances de desenvolver anemia falciforme.
- os indivíduos heterozigotos têm maior chance de sobreviver quando infectados pelo *Plasmodium*.
- o *Plasmodium* invade apenas as hemácias em forma de foice, típica dos indivíduos com anemia falciforme.

15. (ENEM)

**O que têm em comum Noel Rosa, Castro Alves, Franz Kafka, Álvares de Azevedo, José de Alencar e Frédéric Chopin?**

Todos eles morreram de tuberculose, doença que, ao longo dos séculos, fez mais de 100 milhões de vítimas. Aparentemente controlada durante algumas décadas, a tuberculose voltou a matar. O principal obstáculo para seu controle é o aumento do número de linhagens de bactérias resistentes aos antibióticos usados para combatê-la.

Esse aumento do número de linhagens resistentes se deve a

- modificações no metabolismo das bactérias, para neutralizar o efeito dos antibióticos e incorporá-los à sua nutrição.
- mutações selecionadas pelos antibióticos, que eliminam as bactérias sensíveis a eles, mas permitem que as resistentes se multipliquem.
- mutações causadas pelos antibióticos, para que as bactérias se adaptem e transmitam essa adaptação a seus descendentes.
- modificações fisiológicas nas bactérias, para torná-las cada vez mais fortes e mais agressivas no desenvolvimento da doença.
- modificações na sensibilidade das bactérias, ocorridas depois de passarem um longo tempo sem contato com antibióticos.

16. (ENEM) Se a exploração descontrolada e predatória verificada atualmente continuar por mais alguns anos, pode-se antecipar a extinção do mogno. Essa madeira já desapareceu de extensas áreas do Pará, de Mato Grosso, de Rondônia, e há indícios de que a diversidade e o número de indivíduos existentes podem não ser suficientes para garantir a sobrevivência da espécie a longo prazo. A diversidade é um elemento fundamental na sobrevivência de qualquer ser vivo. Sem ela, perde-se a capacidade de adaptação ao ambiente, que muda tanto por interferência humana como por causas naturais.

Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br>>. (adaptado)

Com relação ao problema descrito no texto, é correto afirmar que

- a baixa adaptação do mogno ao ambiente amazônico é causa da extinção dessa madeira.
- a extração predatória do mogno pode reduzir o número de indivíduos dessa espécie e prejudicar sua diversidade genética.

- as causas naturais decorrentes das mudanças climáticas globais contribuem mais para a extinção do mogno que a interferência humana.
- a redução do número de árvores de mogno ocorre na mesma medida em que aumenta a diversidade biológica dessa madeira na Região Amazônica.
- o desinteresse do mercado madeireiro internacional pelo mogno contribuiu para a redução da exploração predatória dessa espécie.

17. A lactase é a enzima responsável pela digestão da lactose do leite, e sua ausência no organismo humano causa intolerância ao produto e aos seus derivados. A digestão do leite na maioria dos mamíferos só ocorre na infância, durante o período de amamentação. No entanto, em populações com uma tradição de pecuária leiteira, uma forma mutante do gene da lactase continua ativa na idade adulta: a glicose e o cálcio provenientes desses alimentos trazem vantagens reprodutivas aos adultos tolerantes.

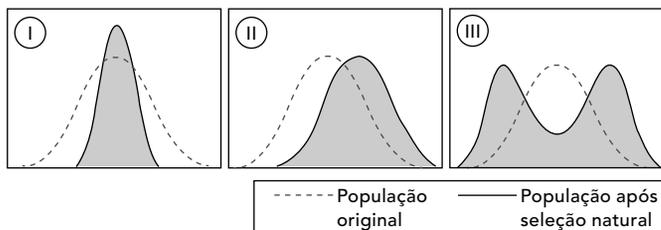
O estudo da presença de lactase em diferentes etnias e populações mundiais pode levar a afirmar que

- em um curto prazo, a intolerância à lactose em asiáticos e indígenas americanos tende a aumentar, na medida em que essas populações passarem a criar gado.
- a seleção natural não ocorre mais na espécie humana; as pressões evolutivas já não resultam em diferenças significativas entre as pessoas.
- a evolução na espécie humana ocorreu, há milhares de anos, apenas em algumas populações que desenvolveram a agricultura e a pecuária.
- a seleção natural tende a extinguir adultos com intolerância à lactose, já que estes não terão sucesso reprodutivo.
- as mudanças socioeconômicas e culturais são parte no processo evolutivo da espécie humana, pois continuam sob influência da seleção natural.

18. O processo de seleção pode ser artificial (quando o ser humano, por meio de técnicas diversas, faz escolhas deliberadas em prol de uma característica), sexual (quando fêmeas ou machos escolhem o melhor parceiro reprodutivo, ou seja, aquele que porta características que melhor adaptem o grupo seja pela cor, ou pelo canto, ou por aspectos anatômicos ou mesmo pelo cortejo) e natural (quando há imposição do ambiente no sentido de escolher os mais aptos, que sobrevivem, reproduzem-se e deixam maior número de descendentes). A seleção natural pode ser dividida em três tipos: estabilizadora, direcional e diversificadora ou disruptiva. Na seleção estabilizadora, indivíduos portadores de características intermediárias são mais aptos; na seleção direcional, os indivíduos são selecionados mediante duas características; na seleção disruptiva, a população apresenta indivíduos com três características distintas, porém somente os tipos extremos estão mais adaptados às condições ambientes.

FUTUYMA, D. J. Evolução, ciência e sociedade. Sociedade Brasileira de Genética, 2002. (adaptado)

Nos gráficos a seguir estão representadas as distribuições das características de três populações, antes (linha tracejada) e depois (linha cheia) da seleção natural.



Os gráficos I, II e III indicam, respectivamente, os tipos de seleção natural

- a) estabilizadora, direcional e diversificadora.
- b) direcional, diversificadora e estabilizadora.
- c) estabilizadora, diversificadora e direcional.
- d) diversificadora, estabilizadora e direcional.
- e) diversificadora, direcional e estabilizadora.

Hereditabilidade e diversidade da vida

Módulo

2

## Genética das populações; Especiação; Seleção natural e seu impacto sobre ambientes naturais e sobre populações humanas

### Genética das populações

Para que determinada população possa evoluir, é necessário que seus membros apresentem diversidade genética, que será a base sobre a qual atuarão os agentes evolutivos. A composição genética dos organismos ou das populações não é diretamente observada no dia a dia. O que se vê na natureza é aquilo que se chama de **fenótipo**, ou seja, a expressão física dos genes dos organismos. Os agentes da evolução certamente atuarão sobre os fenótipos, mas o foco desse módulo será, especificamente, a variabilidade genética intrapopulacional, uma vez que os genes são o material que será passado aos descendentes por meio das células reprodutoras – óvulos e espermatozoides.

Uma característica hereditária é aquela que é parcialmente influenciada pelos genes do organismo. A constituição genética que determina essa característica é denominada **genótipo**. Uma população evolui quando indivíduos com diferentes genótipos sobrevivem ou se reproduzem em diferentes taxas. É importante lembrar que diversas formas de um gene, denominadas **alelos**, podem existir em determinado **locus**. Um indivíduo possui apenas alguns dos possíveis alelos encontrados na população à qual ele pertence. A soma de todos os alelos encontrados na população constitui o **pool genético**, que contém a variabilidade que produz os diferentes fenótipos sobre os quais a evolução atua.

### Lei de Hardy-Weinberg

Diz-se que uma população se encontra em **equilíbrio de Hardy-Weinberg** quando não ocorrem mudanças em sua estrutura genética de uma geração para outra, ou seja:

A geração seguinte de uma população apresenta as mesmas frequências alélicas e genotípicas que a geração anterior, e assim por diante.

As condições que levaram a tal equilíbrio em uma população foram descobertas de forma independente por um matemático inglês, chamado Godfrey Harold Hardy, e um médico alemão, chamado Wilhelm Weinberg, em 1908. Hardy escreveu suas equações em resposta a uma pergunta que o geneticista mendeliano Reginald Crundall Punnett (o inventor do quadrado de Punnett) lhe havia feito no clube da Universidade de Cambridge.

Punnett estava intrigado com o fato de a maioria das pessoas na Inglaterra possuir dedos com tamanho normal, e essa característica ser codificada, em humanos, por um alelo

recessivo, em contrapartida ao alelo dominante, que codifica para dedos curtos. A **equação de Hardy** explica por que alelos dominantes não substituem os alelos recessivos nas populações, bem como explica uma série de outras características da estrutura genética das populações. Essas equações, no entanto, aplicam-se apenas a organismos que apresentam reprodução sexuada. O exemplo específico que será utilizado para ilustrar essa teoria assume que o organismo em questão é diploide e não apresenta sobreposição de gerações; além do gene considerado possuir dois alelos e das frequências alélicas serem idênticas em machos e fêmeas. O equilíbrio de Hardy-Weinberg também é aplicável se existem mais de dois alelos para o *locus* e em caso de ocorrência de sobreposição de gerações, mas, nesses casos, a resolução matemática se apresentará um pouco mais complicada.

Os pressupostos essenciais que devem ser considerados para o equilíbrio de Hardy-Weinberg estão dispostos a seguir.

- Os cruzamentos ocorrem ao acaso.
- O tamanho da população é bastante grande.
- Não existe migração entre diferentes populações.
- O efeito de mutações é tão pequeno que pode ser ignorado.
- A seleção natural não afeta os alelos que estão sendo considerados.

Se essas condições estiverem presentes, será possível chegar a dois possíveis resultados: as frequências dos alelos de um *locus* permanecerão constantes de uma geração para a outra ou, após uma geração de cruzamentos aleatórios, as frequências permanecerão nas seguintes proporções.

<b>Genótipo</b>	AA	Aa	aa
<b>Frequência</b>	p <sup>2</sup>	2pq	q <sup>2</sup>

Colocando as informações da tabela anterior de outra forma, que representa a equação para o equilíbrio de Hardy-Weinberg, constata-se que:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Para verificar por que esses resultados estão corretos, considere-se a população 1, usada no exemplo seguinte, na qual a frequência do alelo **A** (p) é igual a 0,7. Pelo fato de se ter assumido que os indivíduos selecionam seus pares para cruzamento de forma aleatória, sem levar em consideração seu genótipo, gametas carregando os alelos **A** ou **a** irão se combinar entre si ao acaso, ou seja, de acordo com as frequências **p** e **q**. A probabilidade de que um espermatozoide ou óvulo desse exemplo carregue o alelo **A** em vez de um alelo **a** é de 0,7.

Colocando essa observação de outro modo, observa-se que, de cada 100 espermatozoides ou óvulos contados ao acaso, 70 estarão carregando o alelo **A**. Como consequência de  $q = 1 - p$ , a possibilidade de se encontrar um alelo **a** será de  $1 - 0,7 = 0,3$ . Para determinar a possibilidade de que dois gametas carregando o alelo **A** fertilizem-se, basta multiplicar as duas probabilidades independentes – a probabilidade de que cada um carregue um alelo **A** é igual a 0,7:

$$p \cdot p = p^2 = (0,7)^2 = 0,49$$

Assim, 0,49 (ou 49%) da prole da próxima geração da população estudada possuirá um genótipo **AA**. De maneira semelhante, a probabilidade de fertilização entre gametas que carregam o alelo **a** é:

$$q \cdot q = q^2 = (0,3)^2 = 0,09$$

Desse modo, 9% dos indivíduos da geração seguinte apresentarão genótipo **aa**.

A figura mais adiante também irá mostrar que existem duas possibilidades para a obtenção de heterozigotos: um espermatozoide **A** pode combinar-se com um óvulo **a**, sendo a probabilidade de tal encontro  $p \cdot q$ ; ou um espermatozoide **a** pode combinar-se com um óvulo **A**, sendo a probabilidade desse encontro  $q \cdot p$ . Consequentemente, a probabilidade total de obtenção de heterozigotos é igual a  $2pq$ . Agora fica fácil demonstrar que as frequências alélicas **p** e **q** permanecem constantes para cada geração. Observe que o total de  $p^2 + pq$  representa o total de alelos **A**; essa frequência constitui uma fração do total de alelos que pode ser representada da seguinte forma.

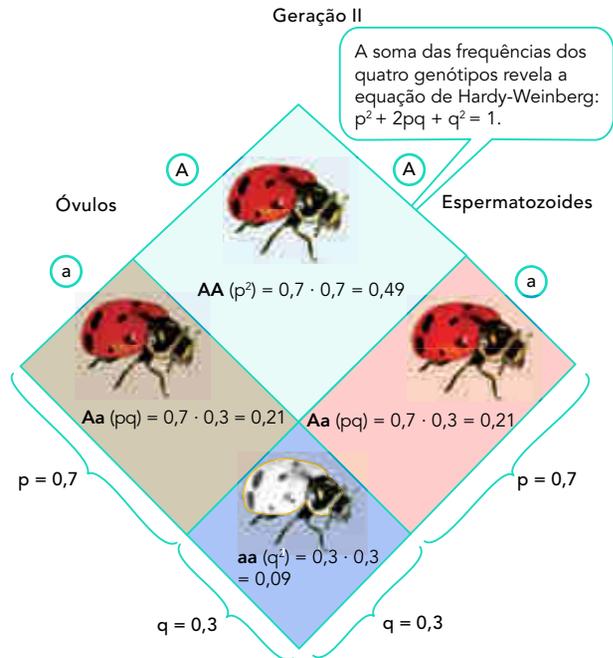
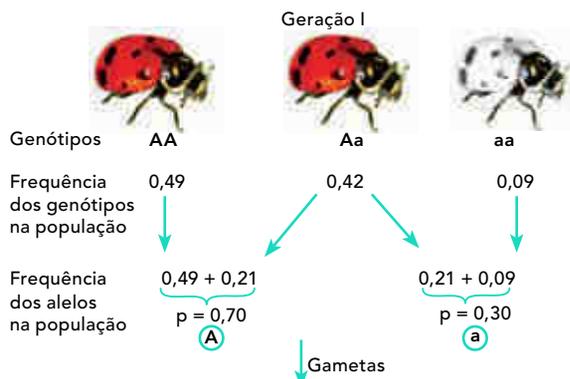
$$\frac{p^2 + pq}{p^2 + 2pq + q^2} = \frac{p(\cancel{p+q})}{(p+q)(\cancel{p+q})} = \frac{p}{p+q} = \frac{p}{p+(1-p)} = p$$

De modo semelhante, a frequência de **a** para a próxima geração será:

$$\frac{q^2 + pq}{p^2 + 2pq + q^2} = \frac{q(\cancel{p+q})}{(p+q)(\cancel{p+q})} = \frac{q}{p+q} = \frac{q}{(1-q)+q} = q$$

Assim, as frequências alélicas originais permanecem inalteradas, e a população encontra-se no equilíbrio de Hardy-Weinberg. Se algum fator, como a ocorrência de cruzamentos preferenciais, vier a alterar as frequências alélicas, automaticamente as frequências genótípicas irão se estabelecer em um novo e previsível padrão na próxima geração. Por exemplo, se apenas indivíduos **AA** e **Aa** puderem cruzar, **p** e **q** vão sofrer modificações, mas ainda assim será possível encontrar indivíduos **aa** na população.

### Cálculo das frequências



## Genética de populações em casos de herança ligada ao sexo

A aplicação do Princípio de Hardy-Weinberg nas heranças ligadas ao sexo precisa levar em consideração que o gene encontra-se localizado na porção heteróloga do cromossomo X. Nesse caso, a frequência de homens afetados é igual à frequência do próprio gene, uma vez que os indivíduos do sexo masculino apresentam par sexual XY.

Usando um exemplo como o daltonismo, chamando **p** de frequência do gene dominante (**X<sup>D</sup>**) e **q** de frequência do gene recessivo (**X<sup>d</sup>**), tem-se:

- f (homens normais) = f (**X<sup>D</sup>Y**) = p
- f (homens daltônicos) = f (**X<sup>d</sup>Y**) = q

No caso das mulheres, que são homogaméticas e apresentam par sexual cromossômico XX, tem-se:

- f (mulheres normais homozigotas) = f (**X<sup>D</sup>X<sup>D</sup>**) = p<sup>2</sup>
- f (mulheres normais heterozigotas) = f (**X<sup>D</sup>X<sup>d</sup>**) = 2pq
- f (mulheres daltônicas) = f (**X<sup>d</sup>X<sup>d</sup>**) = q<sup>2</sup>

## Genética de populações em casos de polialelia

No caso dos **alelos múltiplos** ou **polialelismo**, a análise das populações, segundo o Princípio de Equilíbrio, segue o mesmo raciocínio usado para os casos regulares.

Será usada como exemplo a herança dos grupos sanguíneos, o sistema ABO. Como existe uma série de três alelos, chama-se de **p** a frequência do gene **I<sup>A</sup>**; de **q**, a frequência do gene **I<sup>B</sup>**, e de **r**, a frequência do gene **i**. Portanto, observe:

- f (**I<sup>A</sup>I<sup>A</sup>**) = f (**I<sup>A</sup>**) · f (**I<sup>A</sup>**) = p · p = p<sup>2</sup>
- f (**I<sup>B</sup>I<sup>B</sup>**) = f (**I<sup>B</sup>**) · f (**I<sup>B</sup>**) = q · q = q<sup>2</sup>
- f (**ii**) = f (**i**) · f (**i**) = r · r = r<sup>2</sup>
- f (**I<sup>A</sup>I<sup>B</sup>**) = f (**I<sup>A</sup>**) · f (**I<sup>B</sup>**) ou f (**I<sup>B</sup>**) · f (**I<sup>A</sup>**) = p · q + q · p = 2pq
- f (**I<sup>A</sup>i**) = f (**I<sup>A</sup>**) · f (**i**) ou f (**i**) · f (**I<sup>A</sup>**) = p · r + r · p = 2pr
- f (**I<sup>B</sup>i**) = f (**I<sup>B</sup>**) · f (**i**) ou f (**i**) · f (**I<sup>B</sup>**) = q · r + r · q = 2qr

Nesse caso, lembre que a soma das frequências gênicas é igual a 100% ou 1. Com isso:

$$f(I^A) + f(I^B) + f(i) = p + q + r = 100\% \text{ ou } 1.$$

## Importância do equilíbrio de Hardy-Weinberg

Um fato importante, determinado a partir do equilíbrio de Hardy-Weinberg, é o de que as frequências alélicas permanecerão inalteradas de geração para geração, a menos que algum fator atue de modo a induzir uma modificação. Assim, pelo simples fato de dedos de comprimento normal serem uma característica recessiva na espécie humana, não se deve esperar que a frequência do alelo dominante aumente e que a frequência de dedos de comprimento normal na população diminua, a menos que alguma força evolutiva específica interfira sobre os genes que governam essa característica. O equilíbrio também mostra que uma distribuição de genótipos deve ser esperada para a população (no equilíbrio genético), considerando um valor qualquer para  $p$  e  $q$ .

Nesse ponto, você já deve ter observado que as populações naturais dificilmente poderão estar enquadradas nas estritas condições requeridas para a manutenção do equilíbrio de Hardy-Weinberg. Assim sendo, por que esse equilíbrio é considerado tão importante para o estudo da evolução? A resposta é que sem ele seria impossível saber se existe algum fator evolutivo operando sobre uma dada população. Mais importante, o padrão de desvio do equilíbrio indica quais pressupostos não estão sendo levados em consideração na população em questão e, assim, será possível identificar os fatores de mudança evolutiva sobre os quais se deve concentrar a atenção.

Para assinalar:

$$\begin{array}{c} p^2 + 2pq + q^2 = 1 \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ f(AA) + f(Aa) + f(aa) = 1 \end{array}$$

Em que  $p + q = 1$ .

## Especiação

Na década de 1940, os especialistas em saúde pública da Ilha de Trinidad lançaram uma campanha intensiva para controlar a malária. Imaginando-se que a malária estava sendo transmitida pelo *Anopheles albimanus*, um mosquito que se reproduz em banhados e que é o principal vetor dessa doença na América Latina, gastou-se uma grande soma de dinheiro drenando e pulverizando os pântanos. Essa campanha, entretanto, fracassou. Em Trinidad, o principal vetor da malária é o *Anopheles bellator*, uma espécie de mosquito que se reproduz na água acumulada nas folhas de bromélias (plantas relacionadas ao abacaxi) que crescem nos ramos das árvores.

Na Europa, de modo similar, as pessoas achavam que a malária era transmitida por apenas uma espécie de mosquito: *Anopheles maculipennis*. Os esforços europeus para deter essa doença resultaram em algumas vitórias e também em algumas derrotas, pois o *Anopheles maculipennis* mostrou ser não uma espécie única, mas um grupo de, pelo menos, 18 espécies aparentadas que só podem ser distinguidas pela análise de seus cromossomos. Algumas dessas espécies se reproduzem em água doce, outras, em água salobra. Algumas entram nas casas, enquanto outras não. Além disso, a espécie do mosquito transmissor da malária varia regionalmente.

Os esforços sanitários têm sucesso apenas se dirigidos contra a espécie que realmente transmite a doença naquela área. Portanto, para controlar a malária, deve-se saber quais espécies de mosquito são vetores da doença, bem como detalhes de seu ciclo de vida. Assim, como surgiram tantas

espécies de mosquito? Quais são os processos que mantêm sua unidade ou as distinguem?

Supõe-se que todas as espécies, vivas ou extintas, sejam descendentes de uma única espécie ancestral que teria vivido há mais de 3 bilhões de anos. Se a **especiação** fosse um evento raro, o mundo biológico de hoje seria muito diferente. A especiação é um ingrediente essencial da diversificação evolutiva, e as espécies são as unidades fundamentais dos sistemas de classificação biológica. Nessa perspectiva, o que são as espécies? Como essas milhões de espécies se formaram? Como uma espécie se transforma em duas espécies distintas? Que fatores estimulam essa ruptura? Que condições favorecem as radiações evolutivas? Essas questões, entre outras, são o tema desta parte do módulo.

## Espécie

A palavra **espécie** significa, literalmente, “tipo”. Mas o que se quer dizer com tipo? Um especialista em determinado grupo de organismos, em orquídeas ou lagartos, por exemplo, normalmente consegue distinguir as diferentes espécies desse grupo, em uma determinada área, simplesmente examinando-as superficialmente. Os padrões de semelhanças e diferenças que unem os grupos de organismos, separando-os dos outros grupos, são familiares de um modo geral. Os populares guias de campo, usados para distinguir espécies de aves, mamíferos, insetos ou flores, existem porque a maioria das espécies é uma unidade coesa, que muda em aparência apenas gradualmente e em grandes escalas geográficas. Pode-se facilmente perceber que todos os melros de asa vermelha, sejam eles de Nova York ou da Califórnia, pertencem à mesma espécie, mas que nem todos os membros de uma mesma espécie tenham tal semelhança. Por exemplo, machos, fêmeas e indivíduos jovens podem não se parecer uns com os outros. Como decidir se indivíduos semelhantes, mas distinguíveis, devem pertencer a diferentes espécies ou ser considerados membros de uma mesma espécie?

Durante muito tempo, o conceito que guiou essas decisões foi o de **integração genética**. Se indivíduos de uma mesma população podem se intercruzar, mas não podem cruzar com indivíduos de outras populações, eles constituem um grupo distinto no qual os genes se recombinam, isto é, eles são unidades evolutivas independentes. Essas unidades evolutivas independentes são comumente chamadas de **espécies**.

Há mais de 200 anos, o biólogo sueco Carolus Linnaeus descreveu centenas de espécies, desenvolvendo um sistema para nomeá-las que é utilizado até hoje. Como nada sabia sobre os padrões de acasalamento dos organismos que estava nomeando, Linnaeus os classificou com base em suas aparências; em outras palavras, utilizou um **conceito morfológico de espécie**. Em muitos casos, espécies que foram reconhecidas com base em sua morfologia são, na realidade, diversas unidades evolutivas independentes. Elas parecem semelhantes porque compartilham alelos que codificam estruturas corpóreas. Em muitos grupos em que os dados genéticos ainda não são conhecidos, as espécies são reconhecidas por seus traços morfológicos.

Uma definição de espécie que tem sido utilizada por muitos biólogos – o conceito biológico de espécie – foi proposta por Ernst Mayr, em 1940. Ele afirmou que:

Espécies são grupos de populações naturais que se cruzam ou potencialmente se inter cruzam, estando isolados reprodutivamente de outros grupos.

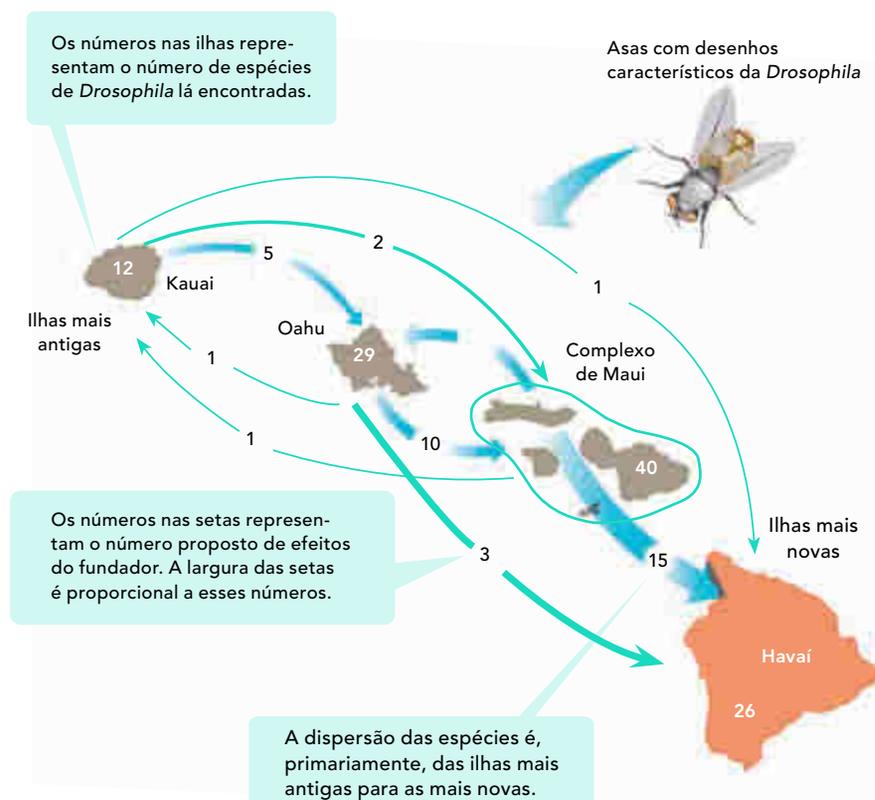
As palavras “que se cruzam ou potencialmente se inter cruzam” significam que mesmo que alguns membros da espécie não estejam no mesmo lugar e, portanto, estejam impossibilitados de se inter cruzarem, eles não devem ser colocados como uma espécie distinta, pois poderiam inter cruzar-se caso estivessem juntos. O termo **natural** é uma parte importante dessa definição, pois apenas na natureza a troca de genes afeta o processo evolutivo; o cruzamento de espécies diferentes em cativeiro não o afeta. A **troca de genes** é a principal razão pela qual uma espécie é uma unidade coesa. Decidir se duas populações constituem ou não uma espécie diferente pode ser difícil porque a especiação é, na maioria das vezes, um processo gradual. Se uma barreira divide uma população em duas, as duas novas populações podem evoluir independentemente muito antes de se tornarem incompatíveis reprodutivamente – ou podem se tornar incompatíveis antes de desenvolverem quaisquer diferenças morfológicas notáveis.

## Especiação alopátrica

A especiação resultante da divisão de uma população por uma barreira geográfica é chamada de **especiação alopátrica** (*allo*, diferente; *patris*, lugar de origem) ou de **especiação geográfica**, pois exige isolamento geográfico completo.

Pensa-se que a especiação alopátrica seja a forma predominante de especiação para a maioria dos grupos de organismos. A área de vida de uma espécie pode ser dividida por uma barreira, como um curso d’água para organismos terrestres, uma faixa de terra seca para indivíduos aquáticos, ou uma cadeia de montanhas. As barreiras podem se formar pela deriva dos continentes, pelas transgressões marinhas ou pelas mudanças no clima. As populações separadas dessa forma costumam ser grandes, inicialmente. As diferenças entre elas evoluem porque os locais onde permanecem são ou se tornam diferentes.

De maneira alternativa, a especiação alopátrica pode ocorrer quando alguns membros de determinada população cruzam uma barreira e formam uma nova população. Nesse caso, as populações recém-formadas diferenciam-se geneticamente das populações parentais porque o pequeno grupo de indivíduos fundadores é uma representação incompleta dos genes encontrados na população-fonte. Muitas dentre as centenas de espécies da mosca-da-fruta *Drosophila* no arquipélago do Haváí estão restritas a uma única ilha. Elas devem ser, certamente, o resultado de novas populações fundadas por indivíduos que se dispersaram entre as ilhas, pois os parentes mais próximos das espécies que habitam uma ilha normalmente são espécies que ocorrem em uma ilha vizinha, e não outra espécie da mesma ilha que ela. Biólogos que estudaram os cromossomos dessas espécies de *Drosophila* acreditam que os eventos de especiação nessas moscas resultaram de pelo menos 45 efeitos do fundador.



O efeito do fundador permite uma especiação alopátrica.

Os tentilhões do arquipélago de Galápagos, a 1000 km da costa do Equador, demonstram a importância do isolamento geográfico na especiação. Os tentilhões-de-Darwin (como são normalmente chamados, pois Darwin foi o primeiro cientista a estudá-los) surgiram em Galápagos pela especiação de uma única espécie sul-americana que colonizou as ilhas. Hoje, existem 14 espécies de tentilhões em Galápagos, e todas diferem de maneira marcante do tiziu (um tentilhão granívoro da América do Sul), seu mais provável ancestral.

As ilhas do arquipélago de Galápagos são isoladas o bastante umas das outras de modo que os tentilhões raramente migram entre elas. Além disso, as condições ambientais também diferem entre as ilhas. Algumas são relativamente planas e

áridas; outras possuem escarpas cobertas por floresta. As populações de tentilhões nas diversas ilhas diferenciaram-se o suficiente umas das outras de tal forma que, quando migrantes ocasionais chegam de outras ilhas, eles não se cruzam com as espécies residentes, ou, se o fazem, a prole resultante não sobrevive tão bem quanto aquela de pares residentes. As diferenças genéticas entre as diferentes populações, bem como sua unidade, são, assim, mantidas.

A efetividade de uma barreira para impedir o fluxo gênico depende do tamanho e da mobilidade da espécie em questão. O que se constitui em uma barreira impenetrável para uma lesma terrestre pode ser totalmente desprezível para uma borboleta ou um pássaro. Populações de plantas polinizadas pelo vento estão isoladas pela distância máxima que seu pólen atinge ao voar com o vento, embora as plantas estejam isoladas, individualmente, por distâncias bem menores. Entre as plantas polinizadas por animais, a amplitude da barreira é a da distância que os animais percorrem transportando pólen ou sementes. Mesmo animais com grande capacidade de dispersão tendem a ser relutantes em cruzar faixas estreitas de habitat inóspito. Para animais que não podem nadar ou voar, até pequenos cursos d'água podem ser barreiras efetivas. Uma evidência indireta de que a maior parte da especiação entre os animais é alopátrica vem dos padrões de distribuição de espécies. Por exemplo: 36% das 20 mil espécies de peixes ósseos da Terra vivem em lagos e rios, embora apenas 1% da superfície do planeta seja de água doce e a produtividade de peixes e o tamanho das populações sejam maiores em alguns ambientes de água salgada. As águas doces por serem mais fragmentadas do que as águas marinhas, forneceram oportunidades abundantes para que os peixes formassem populações geograficamente isoladas, enquanto os ambientes marinhos não forneceram tantas oportunidades assim.

## Especiação simpátrica

A subdivisão de um conjunto gênico, quando os membros da espécie-filha não estão separados geograficamente da espécie-mãe, é chamada de **especiação simpátrica** (*syn-*, com). O modo mais comum de especiação simpátrica é por **poliploidia**, um aumento no número dos cromossomos.

A poliploidia surge de duas formas, sendo uma delas a produção acidental de células, durante a divisão celular, as quais contêm quatro (tetraploide) em vez de dois (diploide) conjuntos de cromossomos. Esse processo produz um indivíduo **autopoliploide**, que possui mais de dois conjuntos de cromossomos derivados de uma única espécie. Tal indivíduo é incapaz de produzir prole fértil caso cruze com diploides, mas pode produzi-la autofertilizando-se ou cruzando com outros indivíduos tetraploides.

Uma espécie poliploide também pode ser produzida quando indivíduos de duas espécies diferentes se inter cruzam. Nesse caso, a prole resultante é normalmente estéril, pois os cromossomos de uma espécie não pareiam corretamente com os cromossomos da outra durante a meiose, mas a espécie pode ser capaz de se reproduzir assexuadamente. Após muitas gerações, alguns desses indivíduos podem se tornar férteis como resultado de uma duplicação cromossômica subsequente. Espécies formadas dessa maneira são chamadas de **alopoliploides**.

A poliploidia pode criar novas espécies muito mais facilmente entre as plantas do que entre os animais, porque plantas de várias espécies podem reproduzir-se por autofecundação.

Se a poliploidia surge em vários indivíduos da prole de um único pai, esses irmãos podem fertilizar-se entre si. A **especiação por poliploidia** tem sido muito importante na evolução das angiospermas e 95% das espécies de pteridófitas são poliploides. A maioria dessas espécies surgiu como resultado da hibridização entre duas espécies seguidas por autofertilização.

A velocidade com que a aloploidia pode produzir novas espécies é ilustrada pelas plantas do gênero *Tragopogon*, da mesma família do girassol. Esse gênero compreende plantas herbáceas que crescem em áreas degradadas ao redor das cidades. Inadvertidamente, as pessoas espalharam essas plantas ao redor do mundo, muito além de sua distribuição ancestral na Eurásia. Três espécies diploides de *Tragopogon* foram introduzidas na América do Norte no início do século XX: *T. porrifolius*, *T. pratensis* e *T. dubius*. Dois híbridos tetraploides – *T. mirus* e *T. miscellus* –, originados a partir das três espécies ancestrais, foram descritos pela primeira vez em 1950. Ambos os híbridos se espalharam desde sua descoberta e atualmente ocupam uma área maior do que seus ancestrais diploides.

Raramente os cientistas sabem as datas e os locais da formação de espécies. O sucesso das novas espécies híbridas de *Tragopogon* mostra por que tantas espécies de angiospermas originaram-se como poliploides.

Entre os animais, a especiação simpátrica é aparentemente rara, mas pode resultar de uma seleção específica sobre lugares de vida e de reprodução pelos indivíduos. Um bom exemplo é a especiação em uma espécie de mosca-da-fruta (*Rhagoletis pomonella*) no estado de Nova York. Até a metade do século XIX, essas moscas faziam a corte, cruzavam e depositavam seus ovos apenas em frutos do pilriteiro. As larvas aprendiam o cheiro do pilriteiro à medida que se alimentavam dos frutos e, quando emergiam da fruta, utilizavam essa memória, baseada no odor, para localizar outros pilriteiros para se reproduzir e depositar os ovos. Cerca de 150 anos atrás, grandes culturas comerciais de maçã foram plantadas no vale do Rio Hudson. As macieiras são bem parecidas com os pilriteiros, e algumas fêmeas de *Rhagoletis*, talvez por engano, depositaram seus ovos nas maçãs. Suas larvas não cresceram tão bem quanto as larvas depositadas em pilriteiros, mas muitas conseguiram sobreviver. Essas larvas aprenderam a reconhecer o cheiro das maçãs, de modo que, quando emergiram como adultos, procuraram macieiras, onde cruzaram com outras moscas que haviam crescido nas maçãs. Atualmente, existem duas espécies simpátricas de *Rhagoletis* no vale do Rio Hudson. Uma se alimenta dos frutos do pilriteiro; e a outra, de maçãs. As duas espécies estão isoladas reprodutivamente porque se cruzam apenas com indivíduos crescidos na mesma fruta e porque emergem da pupa em períodos diferentes. Além disso, nas moscas que se alimentam das maçãs, evoluiu uma característica que as faz crescer mais rápido do que cresciam originalmente.

## Especiação parapátrica

Algumas vezes, o isolamento reprodutivo desenvolve-se em populações adjacentes na ausência de uma barreira geográfica. Esse tipo de especiação, conhecido como

**especiação parapátrica** (*para*, ao lado), é, na verdade, uma especiação alopátrica na qual o limite que separa as populações não é uma barreira física, mas uma diferença de condição, distanciando populações adjacentes.

Para que a especiação parapátrica ocorra, a seleção natural deve ser muito mais forte do que o fluxo gênico; de outra forma, esse fluxo evitaria a diferenciação entre as duas populações. Assim, qualquer fator que reduza o fluxo gênico ou aumente o gradiente de pressões seletivas, entre pequenas distâncias, pode gerar condições favoráveis à especiação parapátrica. Esses tipos de fatores são gerados por mudanças abruptas nas condições do solo, como as criadas pela atividade mineradora que deixa os restos de cascalho com altas concentrações de metais pesados, a exemplo do chumbo e do zinco. Os solos formados com tais refugos contêm concentrações de metais pesados que são danosas ao crescimento da maioria das plantas. Há uma forte seleção favorecendo a tolerância a metais pesados nas plantas que crescem nesses locais.

Nos últimos séculos, as plantas capazes de crescimento nesse tipo de solo evoluíram em várias espécies de gramíneas. Uma delas é a *Anthoxanthum odoratum*. Um isolamento reprodutivo quase completo existe entre populações de *A. odoratum* que crescem em solos originados de refugos e outras populações que crescem em solo normal, pois seu florescimento se dá em épocas diferentes. Além disso, as plantas tolerantes a metais pesados se autopolinizam mais frequentemente do que as plantas de solos normais, reduzindo ainda mais o fluxo gênico. O isolamento reprodutivo entre as plantas tolerantes e intolerantes a metais pesados é quase completo, demonstrando que o fluxo gênico pode diminuir ou cessar mesmo na ausência de uma barreira física distinta.

É difícil determinar a importância da especiação parapátrica para a natureza, porque a área ocupada pelas espécies muda com o passar do tempo. Assim, espécies cujas áreas são adjacentes poderiam ter surgido parapatricamente, pois suas áreas estão atualmente em contato, ou poderiam ter surgido em isolamento geográfico e expandido suas áreas de ocorrência subsequentemente. Por esse motivo, a especiação parapátrica pode ser mais comum do que se acredita geralmente.

## Mecanismos de isolamento reprodutivo

Uma vez que uma barreira ao fluxo gênico já está estabelecida, por quaisquer meios, as populações-filhas resultantes podem divergir geneticamente pela ação das forças evolutivas. Ao longo de muitas gerações, as diferenças que reduzem a probabilidade de que membros das duas populações se cruzem e produzam prole fértil podem se acumular. Nesse sentido, o isolamento reprodutivo pode surgir como um subproduto eventual de outras mudanças genéticas em populações alopátricas. Por exemplo, indivíduos nas duas populações-filhas podem se tornar tão diferentes que não mais se reconhecem como parceiros sexuais adequados.

O isolamento geográfico, entretanto, não leva necessariamente à incompatibilidade reprodutiva. Por exemplo, o plátano americano e o europeu foram separados um do outro há aproximadamente 20 milhões de anos. Apesar disso, são muito semelhantes morfológicamente e podem formar híbridos férteis. Eles não possuem características que evitariam que indivíduos dessas duas populações formassem híbridos viáveis. Os meios pelos quais surgem essas características estão listados a seguir.

## Barreiras pré-zigóticas

Os mecanismos de isolamento reprodutivo que operam antes do acasalamento – barreiras reprodutivas pré-zigóticas – evitam que indivíduos de espécies diferentes se cruzem.

- **Isolamento espacial** – Indivíduos de espécies diferentes podem selecionar diferentes lugares no ambiente para viver. Como resultado, eles nunca mantêm contato durante seus respectivos períodos de corte, isto é, eles estão isolados reprodutivamente pela sua localização.
- **Isolamento temporal** – Muitos organismos têm períodos de acasalamento tão curtos quanto algumas horas ou dias. Se o período de acasalamento de duas espécies não se sobrepuser, elas estarão isoladas reprodutivamente pelo tempo.
- **Isolamento mecânico** – Diferenças no tamanho e na forma dos órgãos reprodutivos podem prevenir a união dos gametas de espécies diferentes.
- **Isolamento gamético** – Os espermatozoides de uma espécie podem não ser atraídos pelos óvulos da outra espécie porque os gametas femininos não liberam os atrativos químicos apropriados. Também há a possibilidade de os espermatozoides serem incapazes de penetrar no óvulo por incompatibilidade química entre ambos.

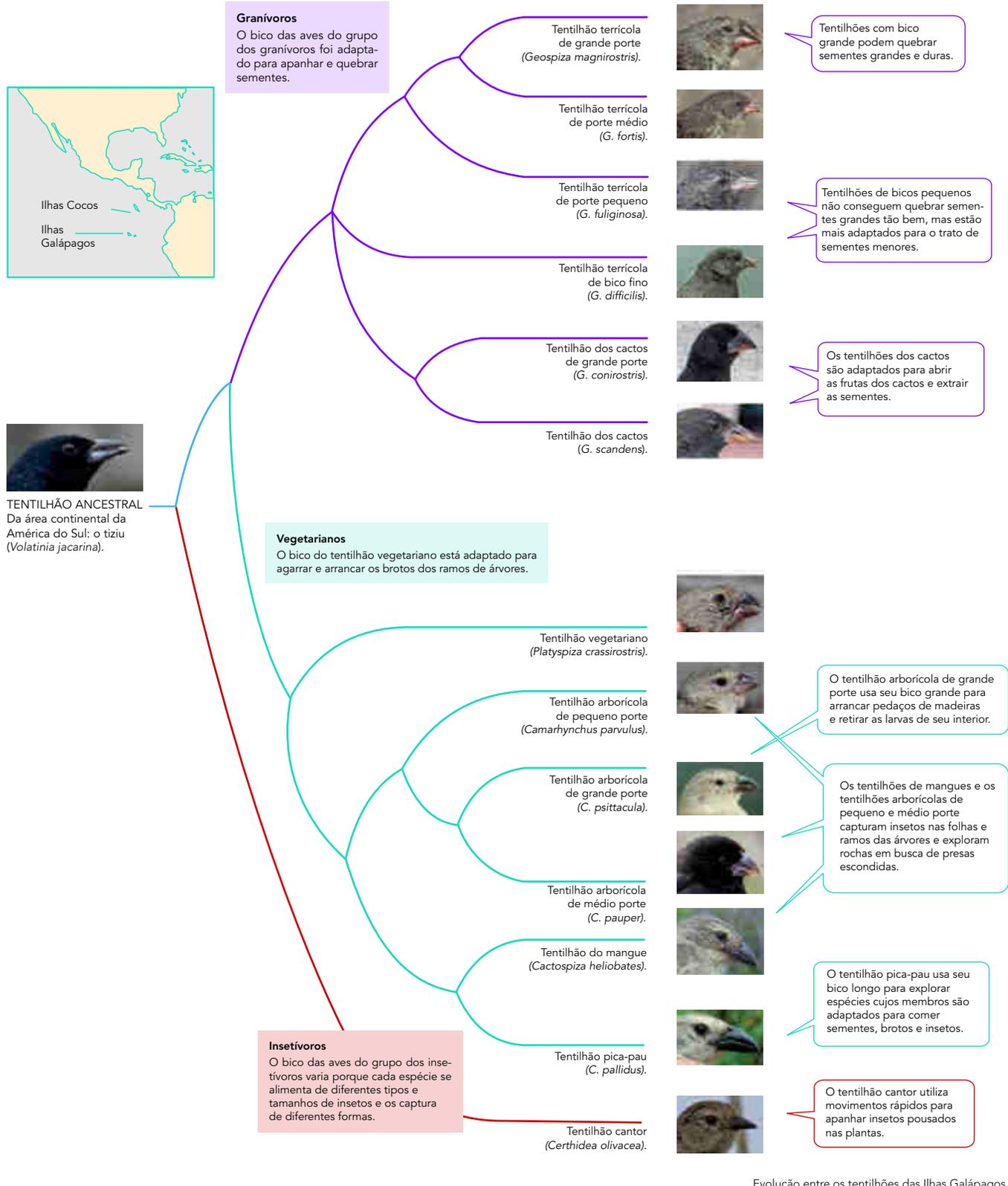
## Barreiras pós-zigóticas

Se indivíduos de duas espécies diferentes ainda se reconhecem e se cruzam, barreiras de isolamento pós-zigóticas podem prevenir a troca genética. As diferenças genéticas acumuladas podem reduzir o valor adaptativo da prole produzida do cruzamento de indivíduos de duas espécies.

- **Anormalidades no zigoto híbrido** – Os zigotos híbridos não conseguem maturar normalmente, seja durante o desenvolvimento, seja desenvolvendo anomalias tão graves que os impossibilitem de acasalar.
- **Infertilidade do híbrido** – Os híbridos maturaram normalmente, mas são inférteis quando tentam se reproduzir. Por exemplo, a prole do cruzamento entre cavalos e burros – a mula – é vigorosa, mas estéril; ela não produz descendentes.
- **Viabilidade reduzida do híbrido** – A prole híbrida sobrevive com mais dificuldade do que a prole resultante de cruzamentos entre cada espécie.
- **Ausência ou esterilidade de um dos sexos** – Em praticamente todos os casos de esterilidade e inviabilidade do híbrido, é o sexo heterozigoto para o cromossomo sexual (XY, XO ou ZW) que é ausente ou estéril. O motivo disso é que qualquer alelo recessivo deletério em um cromossomo sexual será totalmente expresso em híbridos do sexo com apenas uma cópia do cromossomo.

Se a prole híbrida sobreviver ou se reproduzir de forma débil, as barreiras pós-zigóticas podem ser reforçadas pelo surgimento de barreiras pré-zigóticas mais efetivas. Mais dessas barreiras devem evoluir se os indivíduos envolvidos nos cruzamentos híbridos deixarem menos descendentes vivos do que os indivíduos que se cruzam apenas com indivíduos da sua própria espécie. O reforço de barreiras pré-zigóticas foi demonstrado em algumas populações de laboratório, e ainda são poucos os trabalhos que mostram evidências disso na natureza.

Os descendentes do tentilhão granívoro da América do Sul, que colonizaram o arquipélago de Galápagos há vários milhões de anos, evoluíram em 14 espécies, cujos membros são adaptados a sementes, brotos e insetos.



## Seleção artificial e seu impacto sobre ambientes naturais e sobre populações humanas

### Seleção

Como estudado anteriormente, a seleção encontra-se diretamente associada às **diferenças nas taxas reprodutivas**, que dependem essencialmente da capacidade do indivíduo de chegar à fase sexualmente madura e executar uma estratégia para a reprodução mais eficaz.

É importante rever a ideia da seleção como uma definição quase matemática, uma vez que ela permite observar e entender que os organismos são selecionados como um todo, sempre levando em consideração o ambiente natural em que se encontram, o que certamente incluirá não apenas os fatores abióticos como também as formas de vida (fatores bióticos) que ali habitam.

Para Darwin, a **seleção natural** atua exclusivamente preservando e acumulando as variações benéficas, sob as condições às quais cada criatura está exposta. O resultado final é que cada criatura tende a se tornar cada vez mais aperfeiçoada em relação às suas condições de vida. Não entenda “aperfeiçoada” como aumento de complexidade ou melhoria, mas como uma evolução resultante de um processo lento, alcançado, principalmente, pela ação da seleção natural, que utiliza como critério o valor adaptativo (*fitness*) máximo em um ambiente específico, e cujo objetivo é a adaptação ao meio e, assim, a preservação da própria espécie. Essa ação, entretanto, é limitada pela homeostase genética.

Dessa forma, pode-se concluir que o que se passa no ambiente natural é bem complexo para se definir o indivíduo que terá a capacidade de deixar descendentes por executar estratégias eficientes para uma reprodução mais eficaz.

Pode-se citar como exemplo a origem da raça *pit bull*, pois se verifica que os cães com maiores taxas reprodutivas são aqueles que possuem determinado fenótipo arbitrariamente escolhido pelo criador (agressividade, tamanho, cor etc.) e pouca coisa além disso. Portanto, em uma **seleção artificial**, os indivíduos que mais cruzam, e cujos descendentes se tornarão os mais frequentes, serão os escolhidos pela ação seletiva do criador. Apesar de a ideia central ser a mesma da seleção definida por Darwin, o processo será diferente quando se trata de um meio natural.

Com base nessas últimas observações sobre a alteração das frequências gênicas ao longo do tempo, torna-se uma armadilha pensar em evolução como sinônimo de seleção. Nesse caso, evolução define-se como alteração nas frequências de variantes (de organismos ou de genes) ao longo do tempo, e, obviamente, isso pode ocorrer sem que haja seleção.

A seleção, no entanto, foi a maior contribuição do darwinismo para a compreensão do processo que leva as populações naturais a evoluírem.

## Valor adaptativo

O valor adaptativo corresponde ao potencial que um ser vivo possui de sobreviver e reproduzir. Dessa forma, o aumento da taxa reprodutiva de um indivíduo relaciona-se à capacidade de contribuição deste com seus genes para as próximas gerações. Assim, o valor adaptativo resume-se ao conjunto fisiológico do número de descendentes e à qualidade genotípica dessa prole.

A expressão do genótipo em interação com o ambiente determinará o fenótipo sobre o qual atuará o valor adaptativo. Portanto, pode-se ter indivíduos de mesma constituição genotípica, porém de variados valores adaptativos em decorrência da possibilidade de expressividade variada da interação genótipo-ambiente.

Desse modo, a seleção natural configura-se como uma força seletiva de atuação sobre o fenótipo, porém selecionando o genótipo para as próximas gerações.

## Homeostase

O metabolismo de um organismo corresponde ao conjunto de reações químicas estabelecidas em meio biológico. As reações catabólicas promovem a quebra de compostos com liberação de energia, enquanto as anabólicas consomem a energia para a síntese de substâncias. A homeostase é alcançada quando se estabelece um equilíbrio entre as reações anabólicas e catabólicas, mediante vários ajustes dinâmicos controlados e regulados por diversos mecanismos inter-relacionados.

Quando fala-se em homeostase genética, por outro lado, tem-se a possibilidade de preservação de uma variação genética que contribua para o equilíbrio e a perpetuação de um grupo populacional em condições ambientais com mudanças repentinas. Isso seria mensurar até que ponto o conjunto genético de uma população responde satisfatoriamente às pressões seletivas.

## Dicotomia entre seleção natural e artificial

O mecanismo de seleção, como estudado anteriormente, corresponde à capacidade de aumento das taxas reprodutivas de indivíduos favoravelmente adaptados. Com base nesse foco de análise, não deveria haver antagonismo entre a seleção artificial e a natural, uma vez que ambas visam o aumento das taxas reprodutivas dos organismos, como componente de seu valor adaptativo.

No entanto, observam-se mudanças no curso da história evolutiva a partir da intervenção humana em uma condição que a seleção natural levou milhares de anos para estabelecer.

A principal diferença que se poderia estabelecer entre a seleção natural e a artificial é o agente seletivo – quando o ser humano, a partir de interesses econômicos e/ou comerciais, promove o aumento das taxas reprodutivas de indivíduos com características morfológicas de interesse deliberado, fixando-as, quando, em condições de seleção natural, elas poderiam encontrar-se em baixa frequência, pois o processo de seleção artificial é experimental.

Nesse processo, consciente ou inconscientemente, os cientistas que trabalham com melhoramento genético e os criadores em geral encontram-se em um esforço de curto prazo, contrapondo-se à história filogenética e evolutiva, que se estende há milhares de anos.

## Implicações da seleção artificial em ambientes naturais

### Domesticação de animais

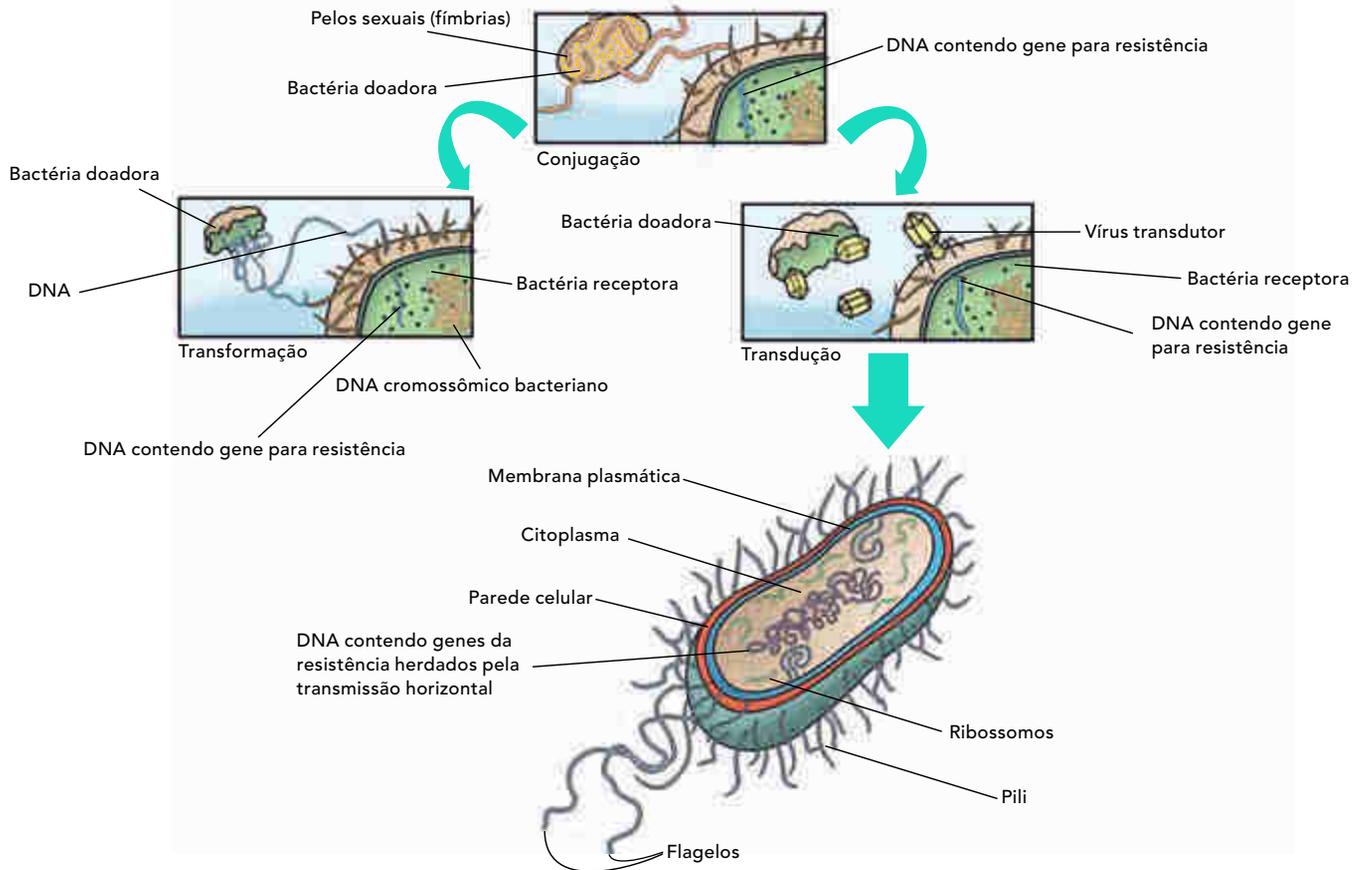
A espécie humana tem afetado todas as outras por meio de alterações causadas ao ambiente. A domesticação de animais permitiu suprimentos de água e alimentos constantes, eliminou predadores naturais e diminuiu o estresse ambiente. Além disso, diminuiu a importância de alguns componentes do *fitness*, como a longevidade. Dessa forma, o relaxamento da pressão ambiental permitiu que muitas mudanças ocorressem em animais domésticos.

A preocupação com o processo de domesticação de animais é o fato de que a escolha de determinadas características de interesse comercial possibilita uma diminuição das características que os favoreceriam em ambiente natural. Dessa forma, a domesticação dos animais (uma forma de seleção artificial) promove um enfraquecimento do genótipo da espécie em um ambiente de elevadas pressões seletivas.

## O antibiótico e a resistência bacteriana

O acesso indiscriminado da população aos antibióticos favorece, ao longo das gerações, o desenvolvimento de bactérias multirresistentes a eles. Atualmente, uma das grandes preocupações da terapia de uso de antibióticos é o surgimento de bactérias multirresistentes, principalmente em ambientes hospitalares onde se encontram os pacientes em estado mais grave. No que diz respeito às cepas bacterianas com significativa variabilidade, há um processo seletivo quando são submetidas ao uso de antibióticos, de modo que as resistentes se tornam mais frequentes no ambiente em que o uso desses antibióticos é intenso (como no CTI – Centro de Terapias Intensivas). O aparecimento dessas bactérias torna-se um ponto nevrálgico, pois a infecção por *Acinetobacter sp.*, *Enterobacter aerogenes* e *Klebsiella pneumoniae* é de maior gravidade em pacientes de imunidade baixa. Considerando que a seleção artificial depende de uma ação seletiva provocada pela interferência humana, o uso indiscriminado dos antibióticos pela população e o descuido com as condições de higiene em hospitais levam a um aumento da reprodução de bactérias recombinantes e resistentes.

A figura a seguir mostra um tipo de mecanismo que pode ser utilizado para explicar o crescimento de cepas bacterianas resistentes aos antibióticos.



Mecanismos de variação genética em organismos procariontes.

As bactérias podem “trocar” material genético entre si (conjugação), podem captar material genético espalhado por outras bactérias após a morte (transformação) e, por fim, podem contrair, tal como uma doença, material genético de outra bactéria, da mesma espécie ou não, por meio de um vírus chamado **fago** (transdução).

Dessa forma, mutações surgidas aleatoriamente encontram na transmissão horizontal ou HGT (*horizontal gene transfer*), para diferenciá-la da vertical – mãe para filha –, maneiras de recombinação para que bactérias que contenham o DNA da resistência possam ser selecionadas positivamente, enquanto as sensíveis serão eliminadas.

## Resistência aos medicamentos antirretrovirais

Sabe-se que o vírus HIV possui uma grande capacidade de se autoduplicar, e, portanto, muitas variações costumam surgir após um indivíduo tornar-se soropositivo. Algumas mutações aleatórias surgem nas regiões de atuação dos medicamentos anti-HIV, podendo caracterizar o surgimento de variações do HIV resistentes ao tratamento.

Dessa forma, após o início do tratamento, a administração das drogas antirretrovirais promove a eliminação dos vírus sensíveis, selecionando e mantendo as variações resistentes, que se autocopiam e aumentam sua carga no organismo do infectado. Com o avanço do tratamento, é provável verificar uma redução de variações sensíveis e o aumento das variações resistentes.

Conhecendo essa técnica seletiva, os tratamentos atuais promovem uma combinação de três ou mais medicamentos anti-HIV, conhecidos como **coquetel**, pois retardam o surgimento da resistência, já que se trata de uma terapia altamente potente, pois os vírus resistentes a um medicamento podem ser controlados pelos outros medicamentos aos quais são sensíveis.

Outro ponto crucial dessa situação é a resistência cruzada. Nesse caso, quando a mutação ou o conjunto delas ocorre em um inibidor não nucleosídeo da enzima transcriptase reversa, é provável que o vírus se torne resistente a todos os medicamentos da mesma classe, ou seja, que atuam da mesma forma terapêutica. Sendo assim, o indivíduo soropositivo pode ser portador de vírus resistentes a medicamentos que ainda não foram administrados.

Entende-se, assim, como a luta contra a infecção avançada do HIV torna-se difícil.

### A tecnologia do DNA recombinante

A descoberta da estrutura molecular da dupla hélice do DNA, na década de 1950 do século XX, impulsionou o desenvolvimento das pesquisas no campo da Biotecnologia. Entre as grandes e espetaculares invenções, a tecnologia do DNA recombinante permitiu a inserção de genes de determinadas espécies no genoma de indivíduos de outras espécies. Nasçam, assim, os transgênicos.

Inicialmente, a proposta dos transgênicos estava voltada para a cura de doenças hereditárias, com aplicações na produção de insulina para diabéticos, de somatotrófico (GH) para indivíduos com déficit de crescimento e até de fator VIII, ausente em indivíduos portadores de hemofilia. No entanto, rapidamente se tornou um fantástico apelo comercial para outras finalidades.

Muito mais que apenas um projeto de manipulação e criação da "vida", esses organismos geneticamente modificados hoje representam propósitos científicos e comerciais bem definidos, por isso, pode-se concluir seus reais impactos nos ambientes naturais.

Um dos possíveis impactos provocados pela introdução de organismos transgênicos no ambiente é a sua possível interação com organismos selvagens e detentores dos caracteres originários, levando à alteração do equilíbrio gênico.

Nesse contexto, o avanço da tecnologia de manipulação do material genético pode levar ao aumento da frequência de genes não vantajosos em ambientes naturais e a uma redução da eficiência das pressões seletivas do ambiente.

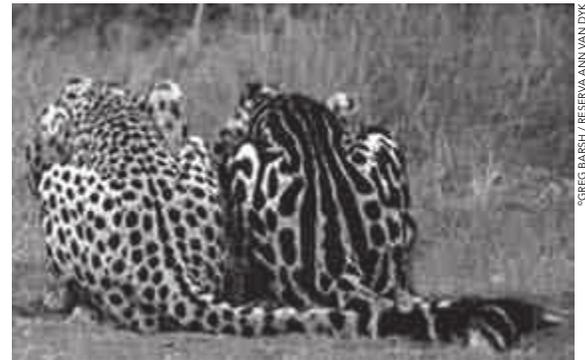


### Atividades para sala

- Em uma determinada população, a capacidade de enrolar a língua é determinada por um gene dominante **A**. Nessa mesma população, foi observado que 64% das pessoas apresentam essa característica. A frequência esperada de indivíduos heterozigotos será de
  - 70%.
  - 48%.
  - 36%.
  - 16%.
  - 10%.
- O gene chamado Taqpep regula os padrões de cor no corpo de felinos e se manifesta – com (guepardo real – **tt**) ou sem mutação (guepardo pintado – **TT**) – quando o animal ainda está no útero. Posteriormente, o gene *Edn3* controla a cor do pelo e induz à produção de pigmento escuro (manchas, pintas e listras) nas áreas preestabelecidas pelo Taqpep, importante para camuflagem no ambiente, podendo favorecer ou desfavorecer a adaptação dessa espécie. Em

uma população de 100 guepardos, os genótipos estão distribuídos da seguinte forma: 36 são **TT**, 16 são **tt** e 48 são heterozigotos **Tt**.

Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br>>. (adaptado)



Mutação determina diferença entre guepardo-pintado (esquerda) e sua versão real.

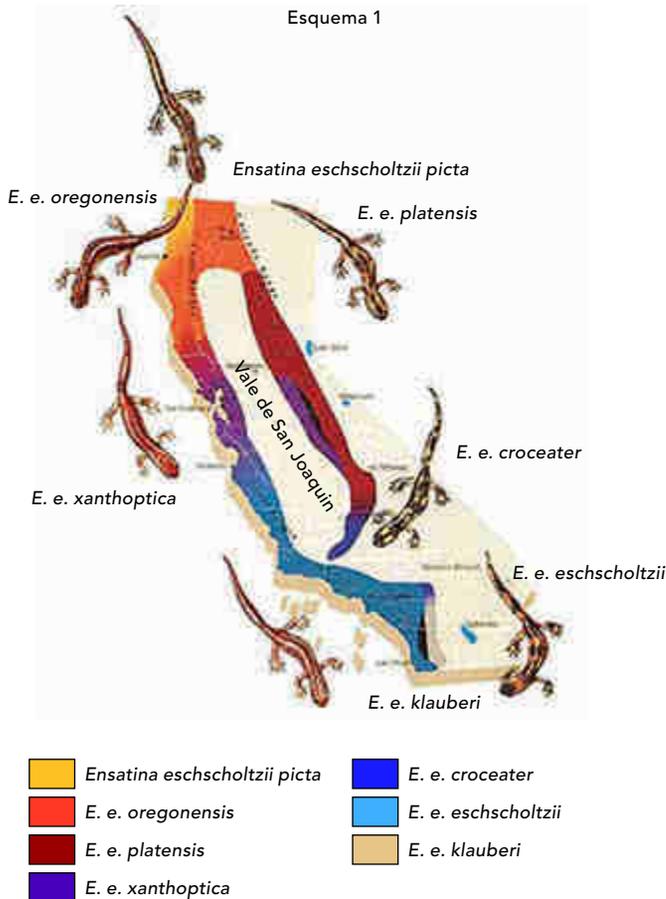
Em relação a essas informações, podemos afirmar que

- as frequências alélicas e genotípicas dessa população felina são, respectivamente,  $p^2 = 0,36$ ,  $2pq = 0,48$  e  $q^2 = 0,16$  e  $p = 0,6$  e  $q = 0,4$ .
  - nessa população de guepardos, as frequências gênicas se manterão de forma constante, indefinidamente, visto não haver nenhum fator evolutivo em ação.
  - nesse exemplo, o fator que impede a manutenção do equilíbrio de Hardy-Weinberg é a deriva em razão do grande tamanho populacional dos guepardos reais.
  - o processo pelo qual um alelo se transforma em outro, a mutação, pode afetar o equilíbrio gênico dessa população de guepardos.
  - os genes citados no texto exemplificam a ação de alelos, localizados nos mesmos *loci* de cromossomos distintos que agem conjuntamente na determinação do equilíbrio de Hardy-Weinberg.
- A sensibilidade (gosto amargo) do ser humano ao PTC (feniltiocarbamida) se deve a um gene autossômico dominante **I**, e a insensibilidade, ao seu alelo recessivo **i**. Sabendo-se que, em uma população de 1 200 pessoas, as frequências dos genes **I** e **i** são, respectivamente, 0,8 e 0,2, os números esperados de pessoas sensíveis e insensíveis nessa população são, respectivamente,
    - 1 152 e 48.
    - 1 008 e 192.
    - 960 e 240.
    - 816 e 384.
    - 768 e 432.
  - (ENEM) Lobos da espécie *Canis lycaon*, do leste dos Estados Unidos, estão inter cruzando com coiotes (*Canis latrans*). Além disso, indivíduos presentes na borda oeste da área de distribuição de *C. lycaon* estão se acasalando também com lobos cinzentos (*Canis lupus*). Todos esses cruzamentos têm gerado descendentes férteis.

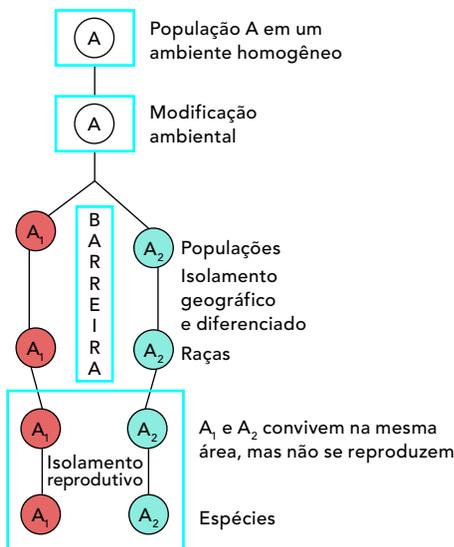
Scientific American Brasil, Rio de Janeiro, ano 2, 2011. (adaptado)

Os animais descritos foram classificados como espécies distintas no século XVIII. No entanto, aplicando-se o conceito biológico de espécie, proposto por Ernst Mayr em 1942, e ainda muito usado hoje em dia, esse fato não se confirma, porque

- a) esses animais são morfologicamente muito semelhantes.  
 b) o fluxo gênico entre as três populações é mantido.  
 c) apresentam nichos ecológicos muito parecidos.  
 d) todos têm o mesmo ancestral comum.  
 e) pertencem ao mesmo gênero.
5. Analise a representação a seguir e, com base em conhecimentos correlatos estudados em Biologia, assinale a alternativa correta.



Esquema 2



- a) Tecnicamente, as espécies  $A_1$  e  $A_2$  (esquema 2), juntas e sem barreiras, ainda inter cruzam, produzindo descendentes férteis e mantendo fluxo gênico.  
 b) Os esquemas 1 e 2 indicam mecanismos de especiação alopátrica. Portanto, ocorrem sem isolamento geográfico.  
 c) Mutações, recombinações genéticas e fatores de seleção natural concorrem para o isolamento reprodutivo e, por consequência, para a especiação.  
 d) O esquema 2 é exemplo de um processo evolutivo, e, como tal, tempo e espaço são grandezas de referência desnecessárias.  
 e) O modelo de evolução observado nos esquemas 1 e 2 pode ser resultado da microevolução por poliploidização, sem isolamento reprodutivo.

6. Uma espécie é um grupo de organismos que podem trocar genes entre si, mas que são geneticamente incapazes de trocar genes na natureza com indivíduos de outros grupos. Uma raça geográfica é uma população local fenotipicamente distinguível dentro de uma espécie e que é capaz de trocar genes com outras raças dentro dessa espécie. Como quase todas as populações geográficas são diferentes de outras nas frequências de alguns genes, raça é um conceito que não faz distinção biológica clara. Mais comumente, novas espécies formam-se como um resultado de isolamento geográfico. Populações que são geograficamente separadas irão divergir umas das outras geneticamente como consequência de mutações únicas, seleção e deriva genética.

Tais populações isoladas espacialmente são chamadas de

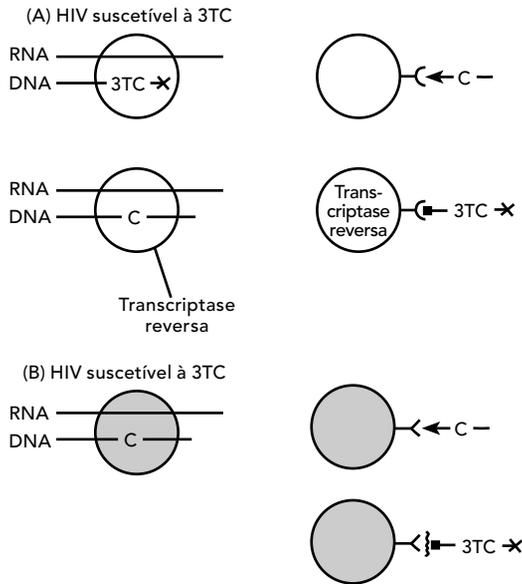
- a) simpátricas.  
 b) parapátricas.  
 c) alopátricas.  
 d) peripátricas.  
 e) híbridas.
7. Eis este pequeno e desprezível vírus que não tem cérebro. Mas, consegue sobrepujar alguns dos melhores cientistas do mundo. E tudo porque ele não consegue se copiar muito bem. Ou seja, é assombroso e aterrorizante.

Jeff Gustavson, soropositivo para HIV.

A dificuldade em estabelecer um tratamento eficaz para combater o vírus HIV encontra-se relacionada a um fator citado por Gustavson anteriormente.

A menção "e tudo porque ele não consegue se copiar muito bem" faz referência ao fator de variabilidade desse vírus, denominado

- a) recombinação gênica.  
 b) mutação.  
 c) *crossing-over*.  
 d) seleção natural.  
 e) translocação.
8. O esquema a seguir ilustra a observação de pacientes HIV positivos resistentes ao tratamento com o fármaco 3TC, que é uma substância similar ao nucleotídeo citosina (C), um constituinte normal do DNA.

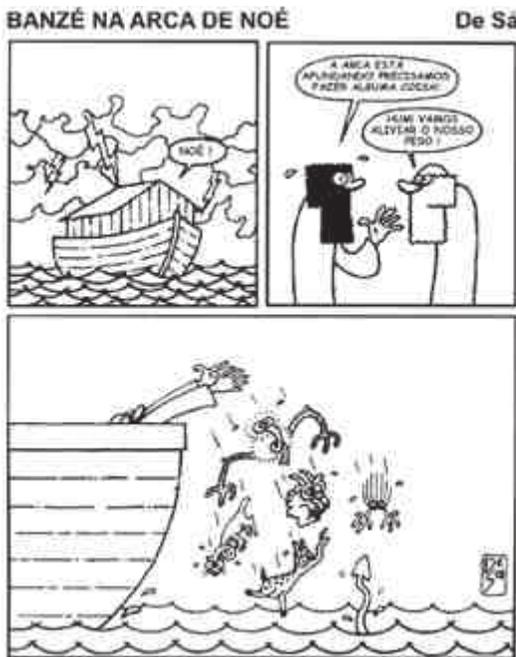


RIDLEY, Mark. *Evolução*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Resistência ao nucleosídeo 3TC. (A) A transcriptase reversa suscetível ao fármaco liga-se tanto a 3TC como a C. Quando 3TC é incorporada a uma cadeia de DNA nascente, ocorre inibição da replicação subsequente do vírus. (B) Resistência ao fármaco para uma forma que se liga somente a C, e não a 3TC.

- O comportamento observado é um exemplo clássico de
- herança dos caracteres adquiridos.
  - fixidez das espécies.
  - transformismo.
  - seleção natural.
  - mendelismo.

9. (ENEM)



Revista Mad, n. 68, 1980.

O ser humano é responsável pela seleção de características, como tipo e cor da pelagem dos animais domésticos, muitas das quais não eram observadas nos indivíduos selvagens das espécies. Cientistas das universidades de Uppsala (Suécia) e Durham (Reino Unido) explicam que o ser humano selecionou de forma ativa e proposital os animais domésticos com pelagens curiosas.

Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br>>. Acesso em: 7 abr. 2010. (adaptado)

Com base em suportes diferentes, os quadrinhos e o texto apresentados abordam o mesmo tema, que se refere à seleção

- natural.
- direcional.
- artificial.
- estabilizadora.
- cromatográfica.



Atividades propostas

- O termo **raquitismo** refere-se à insuficiente mineralização ou ao retardo da mineralização da matriz osteoide recentemente formada durante o processo de ossificação endocondral, na placa de crescimento. A osteomalácia é caracterizada pela insuficiente mineralização da matriz osteoide recentemente formada nos sítios de remodelação óssea ou de aposição periosteal e endosteal. O raquitismo hipofosfatêmico é uma doença dominante ligada ao cromossomo X, causada por mutações no gene PHEX, gene regulador do fosfato com homologia para endopeptidases, localizado no cromossomo X. Em uma população em que 40% dos indivíduos do sexo masculino apresentam hipofosfatemia, qual a frequência de mulheres portadoras da doença heterozigota?
  - 4%
  - 16%
  - 36%
  - 48%
  - 84%
- A Lei de Hardy-Weinberg é a base da genética de populações. Segundo ela, se dois alelos, **A** e **a**, estão presentes na população com frequências respectivas de **p** e **q**, sendo  $p + q = 1$  e considerando que os cruzamentos são feitos ao acaso, as frequências dos genótipos serão dadas por  $(p + q)^2$ , isto é,  $p^2$  de **AA** +  $2pq$  de **Aa** +  $q^2$  de **aa**. Sabendo-se que, em uma população de 10000 indivíduos em equilíbrio genético, o número de indivíduos para cada genótipo é de 6400 **AA**, 3200 **Aa** e 400 **aa**, conclui-se que
  - a frequência do gene **A** é duas vezes maior que a frequência do gene **a**.
  - a frequência do gene **A** é três vezes maior que a frequência do gene **a**.
  - a frequência do gene **A** é quatro vezes maior que a frequência do gene **a**.
  - a frequência do gene **A** é cinco vezes maior que a frequência do gene **a**.
  - as frequências dos genes **A** e **a** são iguais.
- A sensibilidade ao PTC é controlada por um par de genes autossômicos. O gene **I** é responsável pela sensibilidade; e seu alelo recessivo **i**, pela insensibilidade. Determinada população pan-mítica, com cruzamentos ao acaso, foi analisada. Dos 100 indivíduos da amostra, 91 eram sensíveis. Com base nessas informações e considerando que a população se mantém em equilíbrio, pode-se concluir que
  - a ocorrência de homocigotos nessa população é 42%.
  - os heterocigotos representam 49% da população.
  - os indivíduos sensíveis representam 80% da população.
  - a frequência do alelo para a sensibilidade é 70%.
  - a ocorrência do fenótipo recessivo é de 41%.

4. O Princípio de Hardy-Weinberg estipula que “em uma população infinitamente grande, em que os cruzamentos ocorrem ao acaso e sobre a qual não há atuação de fatores evolutivos, as frequências gênicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações”.

O conhecimento da formação genética das populações é importante para o estudo da evolução. Em uma população que obedece ao princípio anteriormente descrito, conhecendo-se as frequências ( $p$ ,  $q$ ...) dos alelos de um certo caráter, pode-se prever as frequências dos vários genótipos possíveis daquela característica, através das expressões:  $p_2$ ,  $q_2$  e  $2pq$ .

Na tabela a seguir, são mostradas as frequências dos tipos sanguíneos AB e O em duas populações hipotéticas (A e B).

	Sangue AB	Sangue O
População A	4%	49%
População B	8%	36%

Sabe-se que as duas populações estão em equilíbrio genético de Hardy-Weinberg. Nos cálculos aritméticos, descobriu-se que o percentual do alelo  $I^A$  é o dobro do  $I^B$  em um dos grupos populacionais, e que, na outra população, as suas frequências são iguais. Considerando esses dados e seus conhecimentos sobre o assunto, foram feitas as seguintes afirmativas.

- I. Na população B, a frequência de indivíduos de sangue A é 28%.
- II. Na população A, a frequência do alelo  $i$  é 0,7.
- III. A frequência do alelo  $I^A$  na população B é maior do que na população A.
- IV. A frequência do alelo  $I^B$  na população A é 0,1.

É verdadeiro o que se afirma

- a) apenas em I.
- b) apenas em II.
- c) apenas em I e II.
- d) apenas em I, II e IV.
- e) apenas em II, III e IV.

5. A síndrome de Spoan, doença degenerativa que atinge os moradores de Serrinha dos Pintos, no sertão do Rio Grande do Norte, foi descrita por pesquisadores do Centro de Estudos do Genoma Humano e do Hospital das Clínicas da USP, em 2005. A síndrome é determinada por um alelo autossômico recessivo que, na população local de 4000 pessoas, 22 delas afetadas, aparece com frequência de 0,075. Supondo que, para a característica em questão, a população se apresenta em equilíbrio de Hardy-Weinberg, espera-se que, entre os 4000 moradores da cidade,

- a) 22 deles sejam heterozigotos.
- b) 3978 deles sejam heterozigotos.
- c) 2000 deles sejam heterozigotos.
- d) 3445 deles sejam heterozigotos.
- e) 555 deles sejam heterozigotos.

6. Leia o texto a seguir sobre a siclemia.

Os indivíduos homozigotos para o alelo da siclemia (anemia falciforme) não atingem a idade de reprodução, e os heterozigotos, apesar de sobreviverem, possuem hemácias deformadas, que são pouco eficientes quanto ao transporte de oxigênio. Apesar disso, em determinadas regiões da África, onde a malária é endêmica, a frequência de heterozigotos para siclemia é alta.

Considerando uma população de africanos em que 9% dos indivíduos possuem anemia falciforme, qual a frequência dos indivíduos portadores da vantagem heterozigótica?

- a) 16%
- b) 30%
- c) 42%
- d) 49%
- e) 51%

7. De forma não tão rara, a imprensa divulga a descoberta de uma nova espécie. Mecanismos de isolamento geográfico e/ou reprodutivo contribuem para o processo de especiação. Associe os exemplos listados na coluna I com os respectivos mecanismos de isolamento reprodutivo apresentados na coluna II.

Coluna I

1. Florescimento em épocas diferentes.
2. Desenvolvimento embrionário irregular.
3. Alterações nos rituais de acasalamento.
4. Meiose anômala.
5. Impedimento da cópula por incompatibilidade dos órgãos reprodutores.

Coluna II

- ( ) Isolamento mecânico.
- ( ) Isolamento estacional.
- ( ) Mortalidade do zigoto.
- ( ) Esterilidade do híbrido.
- ( ) Isolamento comportamental.

Assinale a alternativa que apresenta a associação correta.

- a) 1, 3, 4, 2 e 5.
- b) 4, 3, 2, 5 e 1.
- c) 4, 3, 5, 2 e 1.
- d) 5, 1, 4, 3 e 2.
- e) 5, 1, 2, 4 e 3.

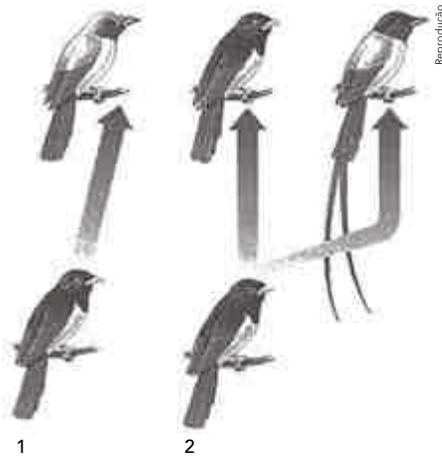
8. Embora os cangurus sejam originários da Austrália, no início dos anos 1980, o biólogo norte-americano James Lazell chamou a atenção para a única espécie de cangurus existente na ilha de Oahu, no Havaí. A espécie é composta por uma população de várias centenas de animais, todos eles descendentes de um único casal australiano que havia sido levado para um zoológico havaiano, e do qual fugiu em 1916. Sessenta gerações depois, os descendentes deste casal compunham uma nova espécie, exclusiva da ilha de Oahu. Os cangurus havaianos diferem dos australianos em cor, tamanho, e são capazes de se alimentar de plantas que seriam tóxicas às espécies australianas.

Sobre a origem dessa nova espécie de cangurus, é mais provável que

- a) após a fuga, um dos filhos do casal apresentou uma mutação que lhe alterou a cor, o tamanho e os hábitos alimentares. Esse animal deu origem à espécie havaiana, que difere das espécies australianas devido a essa mutação adaptativa.
- b) após a fuga, o casal adquiriu adaptações que lhe permitiram explorar o novo ambiente, adaptações essas transmitidas aos seus descendentes.
- c) os animais atuais não difiram geneticamente do casal que fugiu do zoológico. As diferenças em cor, tamanho e alimentação não seriam determinadas geneticamente, mas devidas à ação do ambiente.

- d) o isolamento geográfico e diferentes pressões seletivas permitiram que a população do Havaí divergisse em características anatômicas e fisiológicas de seus ancestrais australianos.
- e) ambientes e pressões seletivas semelhantes na Austrália e no Havaí permitiram que uma população de mamíferos havaianos desenvolvesse características anatômicas e fisiológicas análogas às dos cangurus australianos, processo este conhecido por convergência adaptativa.

9. As espécies de organismos são consideradas como unidades reprodutivas as quais podem realizar cruzamentos com membros da mesma espécie. As espécies também representam unidades ecológicas e genéticas com características próprias. Sobre esse assunto, identifique os processos de especiação por anagênese e cladogênese, mostrados na figura a seguir.

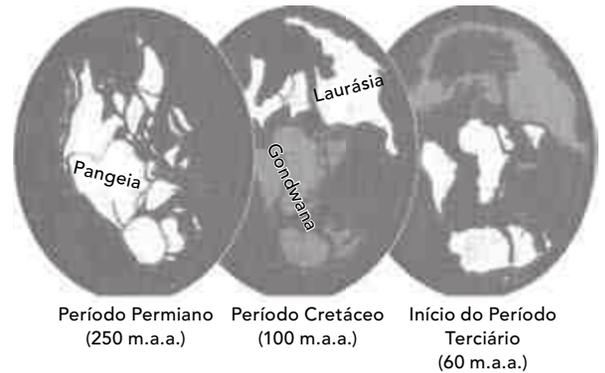


É correto afirmar que,

- a) em 1, as espécies formam-se a partir de indivíduos que sofrem isolamento geográfico e se diversificam geneticamente.
- b) em 2, as espécies formam-se a partir de indivíduos que sofrem mutações genéticas induzidas por alterações ambientais.
- c) em 1, as espécies formam-se a partir de indivíduos que sofrem isolamento reprodutivo induzido por alterações ambientais.
- d) em 2, as espécies formam-se a partir de indivíduos que sofrem isolamento geográfico e reprodutivo, diversificando-se geneticamente.
- e) em 1, as espécies formam-se a partir de indivíduos que sofrem isolamento geográfico e reprodutivo, diversificando-se geneticamente.

10. (ENEM) No Período Permiano, cerca de 250 milhões de anos atrás (250 m.a.a.), os continentes formavam uma única massa de terra conhecida como Pangeia. O lento e contínuo movimento das placas tectônicas resultou na separação das placas, de maneira que, já no início do Período Terciário (cerca de 60 m.a.a.), diversos continentes se encontravam separados uns dos outros. Uma das consequências dessa separação foi a formação de diferentes regiões biogeográficas, chamadas biomas. Devido ao isolamento reprodutivo, as espécies em cada bioma se diferenciaram por processos evolutivos distintos, novas espécies surgiram, outras se extinguíram, resultando na atual diversidade biológica do

nosso planeta. A figura ilustra a deriva dos continentes e as suas posições durante um período de 250 milhões de anos.

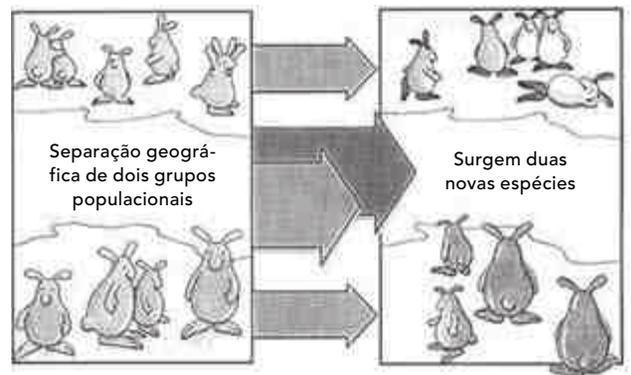


RICKLEFS, Robert E. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. (adaptado)

De acordo com o texto, a atual diversidade biológica do planeta é resultado

- a) da similaridade biológica dos biomas de diferentes continentes.
- b) do cruzamento entre espécies de continentes que foram separados.
- c) do isolamento reprodutivo das espécies resultante da separação dos continentes.
- d) da interação entre indivíduos de uma mesma espécie antes da separação dos continentes.
- e) da taxa de extinções ter sido maior que a de especiações nos últimos 250 milhões de anos.

11. A figura a seguir ilustra, resumidamente, um processo que se configura com a formação de duas novas espécies.



Em relação à dinâmica do processo ilustrado, pode-se afirmar:

- a) Uma barreira geográfica divide uma população em dois grupos, que passam a viver em ambientes com as mesmas pressões evolutivas.
- b) Mutações selecionadas em ambientes distintos estabelecem uma variabilidade gênica que dificulta o isolamento reprodutivo.
- c) O isolamento geográfico das populações submetidas a uma seleção diferenciada favoreceu o surgimento de duas novas espécies.
- d) Mutações espontâneas e isolamento reprodutivo constituíram-se eventos preliminares no processo.
- e) As duas novas populações devem estar mais bem adaptadas ao ambiente do que a população original no seu hábitat anterior.

12. Sempre que se consulta qualquer arquivo histórico sobre a origem do nazismo, o principal argumento é que Adolf Hitler buscava incessantemente o sucesso de seus três erros: *reich* (império), *raum* (espaço) e *rasse* (raça). Baseando-se na frase: "Devemos suportar o efeito, indubitavelmente mau, do fato de que os fracos sobrevivem e propagam o próprio gênero, mas pelo menos se deveria deter a sua ação constante, impedindo os membros mais débeis e inferiores de se casarem livremente com os sadios", o líder nazista ordenou que milhões de judeus fossem dizimados em nome da chamada "raça pura" idealizada por ele; e que pessoas com deficiências físicas e mentais servissem de cobaias para experimentos genéticos realizados por Josef Mengele, "médico" de confiança do *führer*. As atrocidades cometidas pelo nazismo em nome da construção de uma Alemanha exclusivamente para a "raça ariana" foram tão grandes e tão chocantes que tiveram como efeito misturar o nazismo e a eugenia considerando-os a mesma coisa.

Ao defender os alemães como "raça pura", Hitler cometeu um erro histórico e biológico, uma vez que

- os seres humanos pertencem a uma única espécie cuja diversificação em raças ocorreu pela seleção artificial.
- há três raças diferentes, que englobam, respectivamente, os alemães, os judeus e os árabes.
- os seres humanos pertencem todos a uma mesma subespécie, originada pela variabilidade de espécies ancestrais.
- há categorias taxonômicas que ainda não estão definidas.
- para que ocorra a formação de uma nova raça, é necessário o isolamento reprodutivo, evento não ocorrido entre os alemães e os judeus.

13. **Brasileiros alertam para cepas resistentes de HIV**

Uma pesquisa realizada em seis cidades brasileiras (São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Belém, Salvador e Porto Alegre) por um grupo de cientistas de várias instituições traz um alerta: nas quatro primeiras cidades, existe risco de transmissão de variedades de HIV resistentes a drogas antirretrovirais. Por outro lado, afirma o grupo, a quantidade de vírus resistentes no Brasil, em média, é aceitável e parecida com a encontrada em outros países. Em números, de 210 indivíduos recém-infectados com HIV no Brasil, 17 (8,1%) carregavam variedades de HIV já resistentes a, pelo menos, uma droga antirretroviral, classe de medicamento utilizado no tratamento da aids. Mais de 200 mil pessoas tomam antirretrovirais no país.

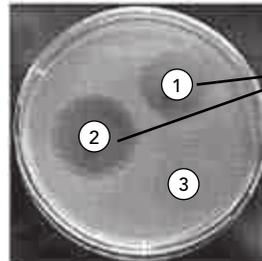
Folha de S.Paulo, 12 fev. 2010. Ciência. (adaptado)

Conhecer o ciclo de vida dos parasitos é fundamental para se estabelecer medidas profiláticas e desenvolver medicamentos que possam combater a parasitose. No entanto, um ponto nevrálgico do tratamento da aids refere-se ao aparecimento de cepas resistentes aos antirretrovirais disponíveis no mercado. Esse ponto pode ser entendido devido

- à capacidade do vírus HIV, por ser um vírus de RNA, de sofrer adaptações relacionadas à sua necessidade de sobrevivência replicativa.
- às constantes mutações sofridas pelo HIV e à seleção estabelecida pelo uso terapêutico dos antirretrovirais disponíveis para mais de 200 mil pessoas.
- ao fato de os antirretrovirais provocarem mutações no HIV e permitirem que o mesmo passe a se adaptar melhor e sobreviver à sua ação terapêutica.

- à falta de investimento das políticas de saúde pública, pois novas drogas não são descobertas, e o vírus vai se acostumando às disponíveis no mercado.
- ao fato de o vírus HIV ser um vírus de RNA duplex, favorecendo um maior poder adaptativo e a conquista de uma resistência às drogas antirretrovirais.

14. A seguir, é ilustrado um simples teste para detectar a resistência de bactérias aos antibióticos de uso humano, indicados para terapia contra infecções. Admita que, nesse teste hipotético, concentrações iguais dos antibióticos 1, 2 e 3 foram inoculadas em discos de papel de filtro que, posteriormente, foram transferidos para placas com nutrientes contendo a bactéria *Escherichia coli*. Após 24 horas de exposição,



- a bactéria foi igualmente sensível aos antibióticos 1 e 2.
- o antibiótico 1, somente, exerceu uma ação inibitória, mas não foi bactericida.
- o uso indiscriminado de antibióticos poderia explicar o resultado apresentado com o antibiótico 3.
- genes de resistência a antibióticos transferidos por "conjugação" são a causa do resultado com o antibiótico 3.
- o antibiótico 2 possui ação contra *Escherichia coli* e outras bactérias de diferentes espécies.

15. **Darwin ajuda luta contra aids**

Charles Darwin aprovaria. O novo tratamento contra a aids, em desenvolvimento na Universidade de Harvard, promete um raro avanço no combate à doença. Mas, melhor ainda, pela primeira vez uma terapia está levando a sério a Teoria da Evolução darwiniana, baseada no princípio da seleção natural [...]. A equipe da Universidade resolveu testar o que aconteceria se uma população de vírus fosse submetida a várias drogas, AZT, DDI e piridinona, que atacassem o mesmo alvo. O alvo é a enzima transcriptase reversa, que o HIV usa [...] para integrar seu genoma ao da célula infectada [...]. O resultado foi revolucionário [...], o vírus acabou perdendo a capacidade de se multiplicar [...]. O tratamento só é eficaz quando as drogas são ministradas conjuntamente [...].

Folha de S.Paulo, 28 fev. 1993.

Lembre-se de que cada droga reconhece e atua sobre uma região específica da enzima transcriptase reversa e que as enzimas dependem de sua composição de aminoácidos e estrutura espacial para exercer sua função. Do ponto de vista evolutivo, e considerando seus conhecimentos sobre o assunto, julgue as alternativas a seguir, assinalando a proposição verdadeira.

- Os progressos da medicina condicionaram a sobrevivência de um número cada vez maior de indivíduos com constituições genéticas que só permitem o bem-estar quando seus efeitos são devidamente controlados por meio de drogas ou procedimentos terapêuticos.

- b) Do ponto de vista evolutivo, o uso de uma única droga diminuiria a probabilidade de serem selecionadas linhagens virais resistentes a esse medicamento, anulando o seu efeito.
- c) O uso conjunto das três drogas pode ocasionar mutações direcionadas no centro ativo do gene que traduz a enzima transcriptase reversa, inativando-a e melhorando a eficácia do tratamento.
- d) O uso de drogas anti-HIV e o coquetel ou HAART (terapia antirretroviral altamente potente) funcionam como agentes modificadores do genoma humano, promovendo avanços na medicina e maximizando os efeitos da seleção natural sobre as populações.
- e) As intervenções realizadas pela medicina interrompem a evolução biológica do ser humano.

16. Em Edimburgo, na Escócia, cientistas tentam criar ovelhas transgênicas que produzam remédios no leite. O objetivo dos escoceses é conseguir grandes quantidades dos fatores sanguíneos VIII e IX, fundamentais para a coagulação do sangue, que os hemofílicos não possuem. Atualmente, esses fatores são obtidos de sangue humano, um método dispendioso e perigoso devido ao risco de contaminação pela aids. Bastaria, portanto, tomar o leite dessas ovelhas em lugar das injeções de fatores sanguíneos para que o hemofílico controlasse a doença. Essas proteínas coagulantes são produzidas normalmente no fígado. A equipe escocesa quer que as ovelhas as produzam nas glândulas mamárias, e para isso juntou o gene que comanda a fabricação do fator IX à sequência do DNA de um gene que controla a produção de leite na ovelha.

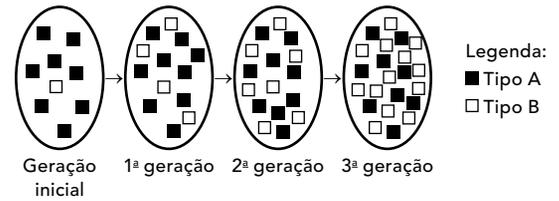
Dentro de alguns anos, os animais transgênicos passarão dos laboratórios à mesa dos cidadãos que comem carne. Já existe um suíno que, tendo recebido o gene do hormônio de crescimento humano, se desenvolveu com maior porcentagem de carne e menos gordura. A perspectiva que se abre para os criadores de animais, cujo destino é o abatedouro, é enorme. A melhoria das raças pode chegar a peixes gigantes e frangos imunes a determinadas doenças.

*Superinteressante*, ed. 19, abr. 1989.

A utilização de tecnologia de DNA recombinante para a terapia de doenças como a hemofilia promove alterações nas condições evolutivas da espécie. Com base no texto e em seus conhecimentos correlatos, assinale a assertiva verdadeira.

- a) As diferenças nas taxas reprodutivas entre os indivíduos normais e os indivíduos hemofílicos após a terapia permanecem inalteradas quando comparadas com as condições em um ambiente natural inalterado.
- b) A terapia de diagnóstico e o tratamento da hemofilia promovem um aumento na frequência do alelo recessivo na população, levando a uma alteração no padrão genotípico e fenotípico da população.
- c) Com o procedimento terapêutico descrito, a frequência dos alelos que conferem resistência inata às doenças seria aumentada.
- d) Em longo prazo, mais pessoas se tornariam independentes de procedimentos médicos.
- e) Observa-se, após a utilização da tecnologia de DNA recombinante na terapia, que haveria adaptação genética e resistência a muitas doenças.

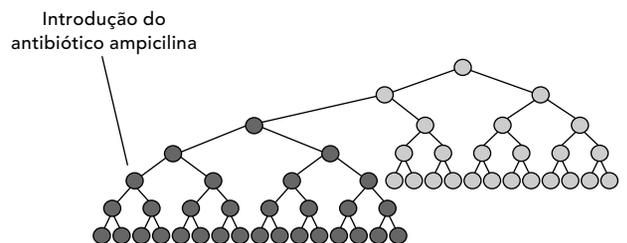
17. O esquema a seguir mostra dois tipos de indivíduos (A e B) de uma mesma espécie, reproduzindo-se ao longo de quatro gerações.



A análise dessa sequência permite afirmar que os indivíduos do tipo B

- a) desenvolveram resistência às variações ambientais.
- b) possuíam variações favoráveis em relação ao ambiente onde estavam.
- c) transmitiram características adquiridas no meio ambiente para seus descendentes.
- d) não sofreram ação da seleção natural, pois eram mais aptos.
- e) criaram mutações vantajosas para esse ambiente em particular.

18. Há algum tempo, a resistência a antibióticos vem se tornando um problema mundial de saúde pública, porque dificulta o tratamento de infecções bacterianas. Analise a figura a seguir, na qual está representada uma população de bactérias.



Legenda:

- Resistente ao antibiótico ampicilina
- Sensível ao antibiótico ampicilina

Com base nessa análise, e considerando outros conhecimentos sobre o assunto, pode-se afirmar que

- a) o antibiótico provocou mutações nas bactérias, tornando-as resistentes e favorecendo sua sobrevivência a partir da introdução do medicamento.
- b) as mutações espontâneo-aleatórias são causadoras do surgimento de novos alelos na população de bactérias, sendo responsáveis pelo fenótipo resistente, o qual é selecionado pelo uso do antibiótico.
- c) o fenótipo resistente ao antibiótico surge como uma necessidade de adaptação das bactérias, resultando de esforços repetidos para sobreviver.
- d) a aplicação do antibiótico demonstra uma medida ineficiente no combate às bactérias, uma vez que elas irão se tornar resistentes e manter o quadro infeccioso.
- e) os antibióticos possuem ação bacteriostática ao conferir o poder de resistência bacteriana, causando alterações na sequência de DNA do micro-organismo.

## Tecido epitelial

Os tecidos que constituem os diversos órgãos do corpo são formados por células juntamente com a matriz extracelular, produzida pelas células. A matriz é quase inexistente em alguns tecidos, porém, em outros, é abundante e contém macromoléculas importantes do ponto de vista estrutural e funcional. Apesar da complexidade do organismo dos mamíferos, há apenas quatro tipos básicos de tecidos: o epitelial, o conjuntivo, o muscular e o nervoso.

### Características gerais do tecido epitelial

Existem diversos tipos de epitélios, cada um com estrutura e funções próprias; no entanto, todos têm aspectos em comum. As características gerais do tecido epitelial incluem as seguintes:

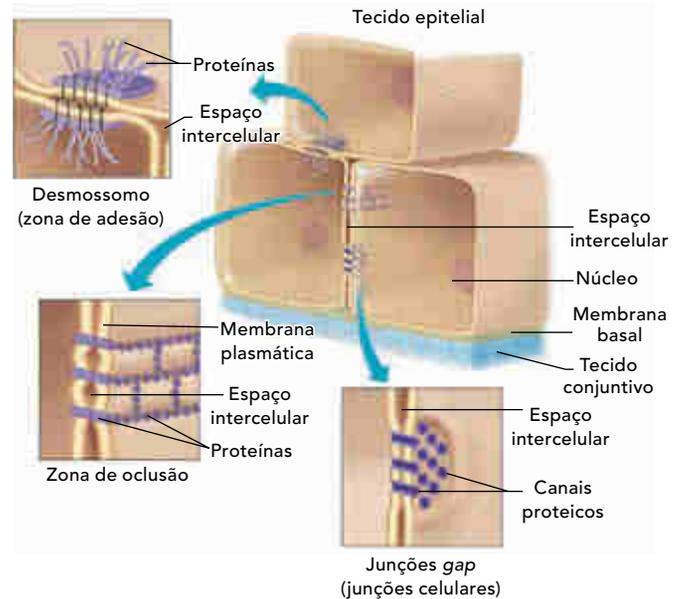
- os epitélios possuem suprimento **nervoso**;
- o epitélio consiste, em grande parte ou totalmente, em células **justapostas**, com pouco material extracelular entre elas. Essas células dispõem-se em folhetos contínuos, seja em camadas únicas ou múltiplas;
- as células epiteliais têm uma superfície apical (livre), que está exposta em uma cavidade corporal, no revestimento de um órgão interno ou no exterior do corpo; em superfícies laterais, que confrontam as células adjacentes de cada lado; e em uma superfície basal, ligada à membrana basal. Em discussões subsequentes, o termo **camada apical** corresponderá à camada celular mais superficial, ao passo que o termo **camada basal** corresponderá à camada celular mais profunda. A membrana basal é uma estrutura extracelular composta, principalmente, de fibras, que está localizada entre o epitélio e a camada do tecido conjuntivo subjacente, auxiliando a união e a sustentação do epitélio;
- os epitélios são **avasculares**, isto é, não contêm vasos sanguíneos. Os vasos que fornecem nutrientes para os epitélios, e destes removem os resíduos, localizam-se nos tecidos conjuntivos adjacentes. A troca de materiais entre o epitélio e o tecido conjuntivo ocorre por meio de difusão;
- como o epitélio está sujeito a certa quantidade de desgaste e dano, apresenta uma alta capacidade de **regeneração** pela divisão celular.

### Adesão nos epitélios

As células epiteliais apresentam uma intensa adesão mútua e, para separá-las, são necessárias forças mecânicas relativamente grandes. Essa coesão varia com o tipo epitelial, mas é especialmente desenvolvida nos epitélios, sujeitos a fortes trações e pressões, como no caso da pele. A junção intercelular é realizada, principalmente, pela presença de **desmossomos**. Cada desmossomo tem a forma de uma placa arredondada e é constituído pelas membranas de duas células vizinhas. Devido à função de adesão e à sua distribuição descontínua, o desmossomo é também chamado de **macula adherens** (mancha aderente, em latim). A capacidade dos desmossomos de prender células vizinhas depende da presença de **caderinas**, proteínas transmembranares que exibem adesividade

na presença de íons  $Ca^{2+}$ . Por isso, o desmossomo só tem poder de fixar as células quando a concentração de  $Ca^{2+}$  no espaço extracelular é normal. Baixas concentrações desse íon causam a separação das células.

Os desmossomos são mais encontrados nas células submetidas a trações, como as da epiderme, do revestimento da língua, do esôfago e do músculo cardíaco. Formam-se com muita facilidade nas células mantidas em cultura e desaparecem nas que sofrem transformação maligna (células cancerosas), tanto *in vivo* como nas culturas.

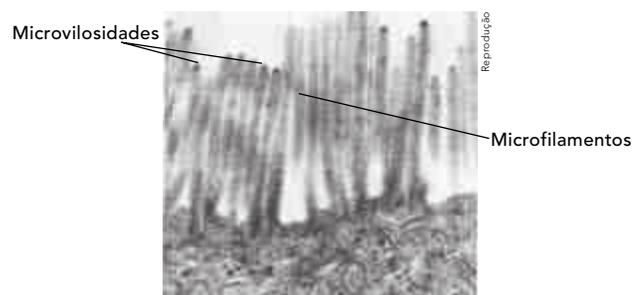


Especializações da membrana plasmática.

Os desmossomos são formados por **desmoplaquinas I e II**, glicoproteínas presentes na placa do desmossomo, e filamentos intermediários que se ligam a essas desmoplaquinas: desmocalmina, queratocalmina, desmogleína e desmocolina.

As células dos epitélios apoiam-se em uma membrana não celular, chamada de **lâmina basal**, que separa o epitélio do tecido conjuntivo. A face das células epiteliais em contato com a lâmina basal apresenta estruturas parecidas com os desmossomos, porém denominadas **hemidesmossomos**, por não possuírem a metade correspondente à outra célula epitelial.

### Epitélios e absorção



Especializações do intestino delgado, sob a forma de microvilosidades.

No epitélio de revestimento do intestino delgado (área de absorção), encontram-se importantes especializações na membrana plasmática das células, denominadas **microvilosidades** ou **microvilos**. Trata-se de evaginações em forma de digitificações, responsáveis por aumentar de modo significativo a superfície de contato com os nutrientes.

Admite-se que existam, em cada célula intestinal desse tipo, aproximadamente três mil dessas especializações, ampliando consideravelmente o potencial de absorção do intestino delgado.

## Classificação e funções

É comum classificar os epitélios, de acordo com sua estrutura e função, em dois grandes grupos: epitélios de **revestimento** e epitélios **glandulares**. Esse critério é considerado arbitrário, pois existem epitélios de revestimento em que todas as células são secretoras (como ocorre no epitélio de revestimento do estômago) e outros em que apenas algumas células são secretoras, como os epitélios da traqueia e do intestino, que contêm células caliciformes, secretoras de muco.

As funções básicas dos epitélios são revestimento, proteção, absorção, secreção e percepção sensorial.

## Epitélios de revestimento

Os epitélios de revestimento, responsáveis pela proteção e pelo revestimento de várias partes do corpo, contêm células com quatro formas básicas.

- **Células escamosas** – Do latim *squamosus*, achatado ou pavimentoso. São achatadas e unem-se umas às outras como ladrilhos. Sua pouca espessura permite o trânsito rápido de substâncias através delas.
- **Células cúbicas** – São tão altas quanto largas e podem ter microvilos em sua superfície apical. As células cúbicas funcionam na secreção (produção e liberação de substâncias, como muco, suor e enzimas) e na absorção (entrada de fluidos e outras substâncias, tais como os nutrientes nos intestinos).
- **Células cilíndricas** – São mais altas do que largas e protegem os tecidos subjacentes. Sua superfície apical pode ter microvilosidades. Muitas vezes são especializadas para secreção e absorção. Algumas também podem ter cílios.
- **Células de transição** – Variam em forma, desde cúbicas até achatadas, e vice-versa, quando os órgãos se alongam (distendem) para um tamanho maior e depois se retraem ao tamanho menor (como ocorre na bexiga).

De acordo com o número de camadas celulares, os tecidos epiteliais de revestimento dividem-se em: epitélio simples, epitélio estratificado e epitélio pseudoestratificado.

## Epitélio simples

O epitélio simples apresenta uma camada única de células encontrada em áreas de ocorrência de difusão, osmose, filtração, secreção e absorção.

- **Epitélio simples escamoso ou pavimentoso** – Esse tecido consiste em uma única camada de células achatadas, que se assemelha a um pavimento de ladrilho quando observada de sua superfície apical. O núcleo de cada célula é uma estrutura oval ou esférica achatada, de localização central. O epitélio simples pavimentoso é encontrado nas partes do corpo cujos processos prioritários são a filtração (rins) ou a difusão (pulmões), não estando presente nas áreas corporais sujeitas a desgaste. O epitélio simples pavimen-

toso que reveste o coração, os vasos sanguíneos e os vasos linfáticos é conhecido como **endotélio**.

- **Epitélio simples cúbico** – A forma cúbica das células desse tecido é óbvia somente quando o tecido é seccionado e observado lateralmente. Os núcleos celulares geralmente são redondos, de localização central. O epitélio simples cúbico desempenha as funções de secreção e absorção e fica situado no ovário.
- **Epitélio simples cilíndrico** – Quando observado lateralmente, as células parecem retangulares, com núcleos ovais próximos à base das células. O epitélio simples cilíndrico não ciliado contém células absorptivas e células caliciformes. As células absorptivas são células epiteliais cilíndricas com microvilos, projeções digitiformes microscópicas que aumentam a superfície da membrana plasmática. Sua presença aumenta a velocidade de absorção.

## Epitélio estratificado

O epitélio estratificado (do latim *stratum*, camada) contém duas ou mais camadas de células utilizadas para proteção dos tecidos subjacentes, em áreas em que há desgaste considerável.

Algumas células dos epitélios estratificados também produzem secreções. A denominação do tipo específico de epitélio estratificado depende da forma das células contidas na camada apical.

- **Epitélio estratificado pavimentoso** – As células da camada apical desse tipo de epitélio são achatadas, enquanto nas camadas profundas sua forma varia de cúbica a cilíndrica. As células basais (as mais profundas) estão continuamente em divisão celular. À medida que as células novas crescem, as células da camada basal são empurradas em direção à superfície. O epitélio estratificado pavimentoso é encontrado tanto na forma queratinizada como na não queratinizada. O queratinizado possui uma camada rígida de queratina, uma proteína endurecida que protege a pele e os tecidos subjacentes contra os micróbios, o calor e as substâncias químicas. O epitélio não queratinizado não contém queratina e está sempre úmido.

### Saiba mais

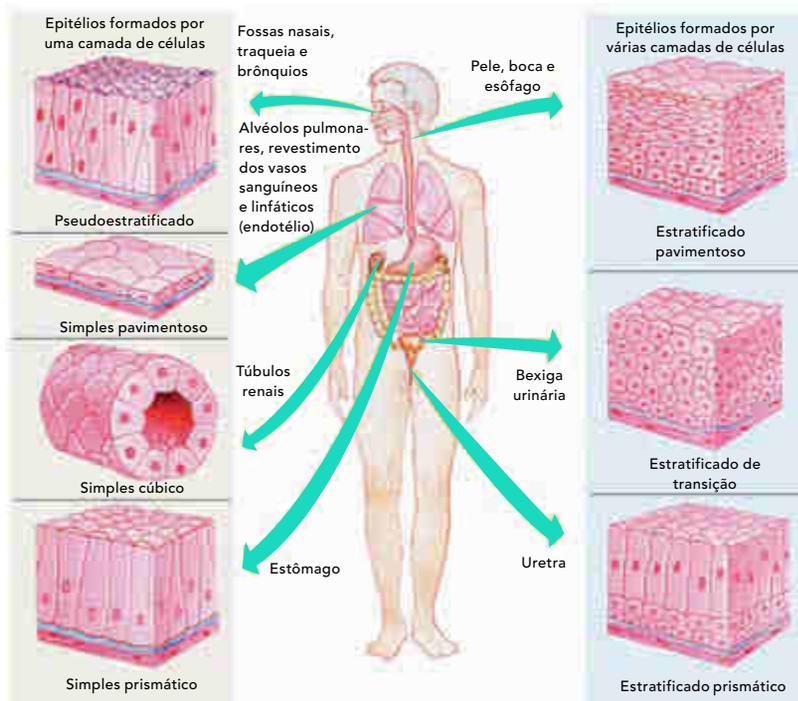
O **exame de Papanicolau**, exame de Pap ou esfregaço de Pap, envolve coleta e exame microscópico de células epiteliais descamadas da camada apical de um tecido. Um tipo muito comum do exame de Pap consiste no recolhimento e análise de células do epitélio estratificado pavimentoso não queratinizado do colo do útero e da vagina. Esse tipo de exame é realizado, principalmente, para detectar alterações precoces nas células do sistema genital feminino, possivelmente indicativas de câncer ou de uma condição pré-cancerosa. Um exame de Pap anual é recomendado para todas as mulheres, como parte de um exame pélvico de rotina.

- **Epitélio estratificado cúbico** – Esse tipo relativamente raro de epitélio consiste, às vezes, em mais de duas camadas de células. Na camada apical, as células são cúbicas, e sua função principal é de proteção.
- **Epitélio estratificado cilíndrico** – Esse tipo de tecido também é raro. Geralmente, as camadas basais constituem-se de células pequenas, com forma irregular. Apenas a camada apical apresenta células de forma cilíndrica.

➤ **Epitélio estratificado de transição** – Esse tipo de epitélio apresenta-se com aparência variável, dependendo do estado de relaxamento (não alongado) ou distensão (alongado) do órgão que ele reveste. Em seu estado relaxado, é semelhante ao epitélio estratificado cúbico, excetuando as células da camada apical, que tendem a ser grandes e arredondadas. Quando as células são alongadas, tornam-se mais achatadas, dando a aparência de um epitélio estratificado pavimentoso. Por causa de sua elasticidade, o epitélio de transição reveste estruturas ocas que ficam sujeitas à expansão de dentro para fora, como a bexiga urinária. Esse epitélio permite que os órgãos se alonguem, mantendo uma quantidade variável de fluido, sem ruptura.

### Epitélio pseudoestratificado cilíndrico

Essa terceira categoria de epitélio de revestimento é chamada de epitélio pseudoestratificado cilíndrico. O tecido parece ter várias camadas porque os núcleos das células estão em diferentes profundidades. Mesmo que todas as células estejam fixadas à membrana basal em uma camada única, algumas células não alcançam a superfície. Quando observadas lateralmente, essas características dão a falsa impressão de um tecido multiestratificado, razão do nome **pseudoestratificado** (do grego *pseudo*, falso). Esse tipo de tecido é encontrado, principalmente, no revestimento das vias aéreas respiratórias (fossas nasais, traqueia e brônquios).



Distribuição dos epitélios de revestimento no organismo humano.

### Epitélios glandulares

Os epitélios glandulares são constituídos por células que apresentam como atividade característica a produção de secreções. Quase sempre, os produtos elaborados pelas células glandulares são acumulados temporariamente no citoplasma, sob a forma de pequenas partículas envolvidas por membrana, **as vesículas** ou **grânulos de secreção**. Há células que secretam proteínas (pâncreas), lipídios (adrenal e glândulas sebáceas) ou complexos de carboidratos e proteínas (glândulas salivares). As glândulas mamárias secretam o leite, que contém os três tipos de moléculas mencionadas: lipídios, proteínas e carboidratos.

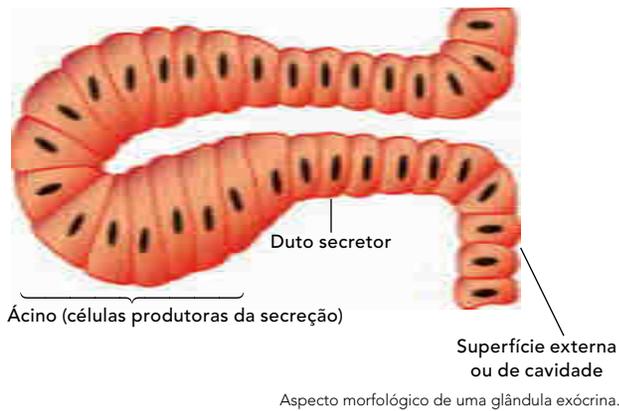
Os epitélios glandulares formam órgãos denominados **glândulas**. Quando cada célula secretora aparece isolada, a glândula é unicelular, como acontece com as células mucosas da traqueia e dos brônquios; porém, a maioria das glândulas é pluri-celular. Esses órgãos originam-se pela proliferação das células de epitélios de revestimento, com invasão do tecido conjuntivo subjacente e diferenciação posterior.

### Classificação dos epitélios glandulares

➤ **Quanto à presença ou à ausência de duto**

- **Glândulas exócrinas:** porção secretora associada a dutos que se abrem para fora do corpo ou para o interior de cavidades corporais.

Exemplos: glândulas sebáceas, sudoríparas, mamárias e salivares.



- **Glândulas endócrinas:** porção secretora sem dutos. Sua secreção – os **hormônios** – é lançada na corrente sanguínea e atua em órgãos ou células-alvo específicos. Exemplos: hipófise, tireoide, ovários.
- **Glândulas mistas ou anfícrinas:** apresentam regiões endócrinas e exócrinas. Exemplo: pâncreas.

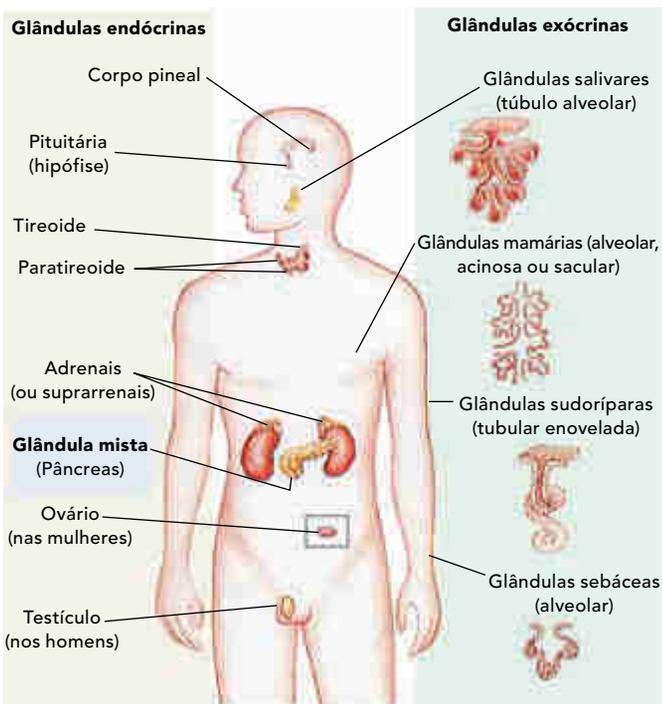
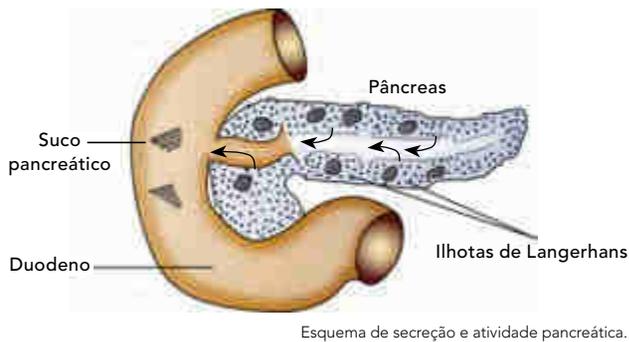
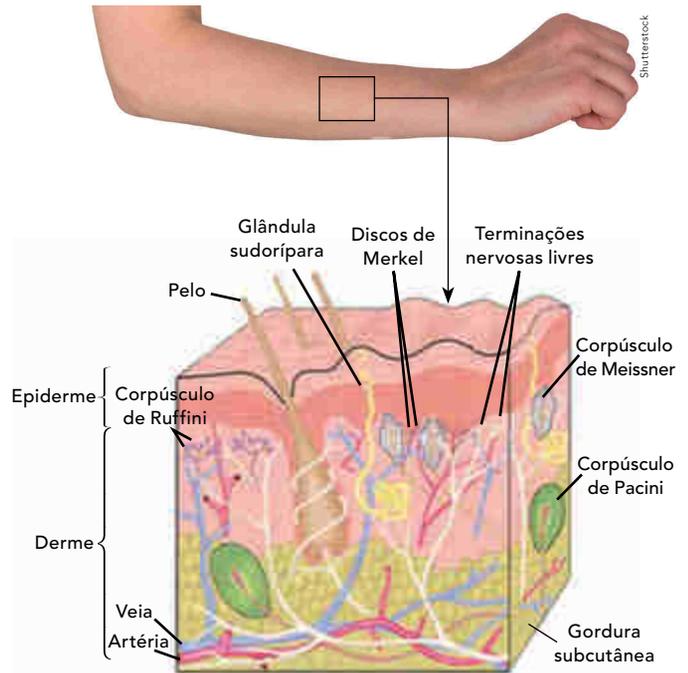


Imagem evidenciando as principais glândulas do organismo humano.

## Pele humana

A pele humana é formada por duas camadas distintas, firmemente unidas entre si: a **epiderme** e a **derme**.



Estrutura morfológica em um corte histológico de pele humana.

## Epiderme

A pele é um órgão constituído por um tegumento cutâneo em que a camada mais externa, a epiderme, é multiestratificada de células achatadas (pavimentosas) e aderidas umas às outras por meio de placas desmossômicas.

Na parte mais interna da epiderme, encontra-se o extrato germinativo, constituído por células com alto poder de multiplicação e responsáveis pelo potencial regenerativo dessa camada da pele. À medida que se observa a senescência (envelhecimento) das células epidérmicas, estas tornam-se achatadas e passam a promover a síntese de uma proteína fibrosa e impermeável, a queratina. Essas células, preenchidas de queratina, morrem e constituem uma camada superficial impermeável e resistente ao atrito, denominada **camada córnea**. Portanto, a epiderme apresenta um epitélio de revestimento estratificado e queratinizado.

Como se apresenta avascularizada, a epiderme recebe os nutrientes e o gás oxigênio a partir do mecanismo de difusão dos vasos sanguíneos da derme adjacente.

Na região basal da epiderme, localizam-se os **melanócitos**, células dendríticas envolvidas no processo de síntese de uma proteína pigmentosa denominada **melanina**. O padrão de variação fenotípica encontrado na cor da pele é uma interação genótipo-ambiente com a atividade metabólica dos melanócitos.

As glândulas anexas – sudoríparas e sebáceas – originam-se no epitélio e avançam para a derme, mantendo-se conectadas à epiderme pelos dutos de secreção. A atividade de transpiração (sudorese) permite uma dissipação de calor fundamental para a termorregulação.

Pode-se observar, em toda a superfície cutânea, a presença de terminações nervosas capazes de identificar estímulos térmicos, mecânicos e sensitivos. Cada receptor nervoso é responsável pela identificação de uma sensação específica, como observado na tabela a seguir.

Nome do receptor	Estímulo	Sensação
Corpúsculo de Meissner	Vibração (20-40 Hz)	Toque rápido, tato
Terminações do folículo piloso	Deslocamento do pelo	Movimento, direção
Terminações de Ruffini	Térmico	Calor
Corpúsculo de Krause	Térmico	Frio
Corpúsculo de Pacini	Vibração (150-300 Hz)	Vibração
Terminações livres	Estímulos mecânicos, térmicos e químicos intensos	Dor
Corpúsculo de Merkel	Endentação estável	Toque, pressão

Tipos de receptores nervosos da epiderme e a relação estímulo-sensação observada.

## Derme

A derme encontra-se localizada subjacente à epiderme, caracterizada pela natureza conjuntiva, com abundante matriz extracelular, fibras proteicas, vascularização e presença de terminações nervosas. A matriz extracelular da derme é repleta de uma substância amorfa constituída por fibras proteicas sintetizadas nos fibroblastos. Os **fibroblastos** representam as mais importantes células da derme e são responsáveis pela síntese das proteínas colágenas e da elastina, além de glicosaminas e glicoproteínas que exercem papel multiadesivo na constituição da matriz conjuntiva. O colágeno promove resistência, enquanto a elastina favorece a elasticidade verificada na pele de pessoas jovens.

## Tecido subcutâneo ou hipoderme

Abaixo da pele, sob a derme, encontra-se o tecido subcutâneo ou hipoderme, uma variedade de tecido conjuntivo caracterizado pela capacidade de armazenamento de glicéridos (gorduras) em células denominadas **adipócitos** ou células adiposas. Essa camada apresenta propriedade funcional de reserva energética, proteção contra choques mecânicos e termorregulação.

Existe um tipo especial de gordura, chamada **gordura marrom**, que se encontra mais associada à atividade termorreguladora, pois apresenta riqueza de termogeninas, proteínas com atividade desacopladora em processos oxidativos. Esse tipo de gordura é abundante em animais que hibernam e em recém-nascidos. Já a **gordura branca** é mais envolvida em processos de reserva energética.

## Tecido conjuntivo

O tecido conjuntivo é um dos tecidos mais abundantes e de maior distribuição no corpo. Em suas formas variadas, o tecido conjuntivo tem muitas funções: ele une, sustenta e reforça outros tecidos corporais; protege e isola órgãos internos; compartimenta estruturas, como os músculos estriados esqueléticos; é o principal sistema de transporte dentro do corpo (sangue, um tecido conjuntivo fluido); é o principal local de armazenamento das reservas energéticas (tecido adiposo) e de respostas imunes.

O tecido conjuntivo, de origem mesodérmica, é constituído de dois elementos básicos: as células e a matriz. A matriz de um tecido conjuntivo é o material existente entre suas células, que geralmente estão separadas umas das outras, composto de fibras de proteínas e substância fundamental, existente entre as células e as fibras. Essa matriz geralmente é secretada pelas células do tecido conjuntivo, determinando, também, as qualidades teciduais. Por exemplo, na cartilagem, a matriz é firme, mas flexível; no osso, ao contrário, a matriz é dura e inflexível.

As células do tecido conjuntivo raramente são encontradas em superfícies livres, como os revestimentos de órgãos internos ou da superfície externa do corpo. Com exceção das cartilagens, o tecido conjuntivo, assim como o epitélio, encontra-se inervado, ou seja, possui fibras nervosas. Além disso, o tecido conjuntivo geralmente é muito vascularizado (possui rica irrigação sanguínea), com exceção das cartilagens, que são avasculares, e dos tendões, que apresentam uma escassa irrigação sanguínea.

## Células do tecido conjuntivo

Os tipos de células presentes nos diversos tecidos conjuntivos dependem dos tipos de tecido e são os seguintes.

➤ **Fibroblastos** – Células grandes e achatadas, com muitas projeções e ramificações. Estão presentes em vários tecidos conjuntivos, nos quais, geralmente, são as células mais numerosas. Os fibroblastos migram ao longo do tecido conjuntivo, secretando as fibras proteicas e a substância fundamental da matriz. A célula do tecido conjuntivo pode apresentar morfologias diferentes, de acordo com sua atividade. Quando realiza síntese, é alongada e recebe o nome de **fibroblasto**, localizando-se entre as fibras por ele produzidas; quando está em inatividade, torna-se fusiforme e é conhecida como **fibrócito**.

Os fibroblastos sintetizam as fibras colágenas, as reticulares e as elásticas, além das glicoproteínas e proteoglicanas da matriz extracelular. No tecido conjuntivo do adulto, os fibroblastos não se dividem com frequência, entrando em mitose apenas quando ocorre uma solicitação, como nas lesões do tecido conjuntivo.



Fibrócito.

➤ **Macrófagos** – Desenvolvem-se a partir dos monócitos, um tipo de glóbulo branco. Sua forma é irregular, com pequenas projeções ramificadas. Podem englobar bactérias e resíduos celulares por fagocitose. Alguns são macrófagos fixos, significando que residem em determinado tecido, como os macrófagos alveolares dos pulmões ou os macrófagos do baço. Outros são macrófagos migratórios, que percorrem os tecidos e se reúnem em locais de infecção ou inflamação. A capacidade fagocitária dos macrófagos facilita sua identificação. Quando um animal é injetado com azul tripan ou tinta nanquim, os macrófagos englobam e

acumulam no citoplasma o material injetado, sob a forma de grânulos visíveis ao microscópio óptico.



Macrófago.

- **Mastócitos** – São abundantes ao longo dos vasos sanguíneos que irrigam o tecido conjuntivo. Produzem **histamina**, uma substância química que dilata os pequenos vasos sanguíneos como parte da resposta inflamatória, isto é, como reação do corpo às lesões ou infecções, e **heparina**, um anticoagulante fisiológico produzido por essas células.

Os mastócitos são relativamente numerosos em diversas variedades de tecido conjuntivo, mas de difícil observação nas lâminas coradas pela hematoxilina-eosina. A liberação dos mediadores químicos armazenados nos mastócitos promove as reações alérgicas, denominadas **reações de sensibilidade imediata**, visto que se manifestam poucos minutos após a invasão do antígeno em indivíduo sensibilizado previamente ou a antígeno muito semelhante. Há muitos exemplos desse tipo de reação, porém o **choque anafilático** é um dos mais dramáticos e pode ser fatal. Por exemplo, pode ocorrer choque anafilático na pessoa que recebe injeção de um medicamento antigênico certo tempo depois de ter tomado uma ou várias injeções do mesmo medicamento.

Admite-se que na anafilaxia ocorra o seguinte: na primeira injeção, forma-se a imunoglobulina E (IgE), um anticorpo que se prende à membrana dos mastócitos. Em uma injeção subsequente, isto é, na que provoca o choque, o medicamento reage com as moléculas de IgE presas aos mastócitos, provocando a extrusão maciça dos grânulos e a liberação de histamina, leucotrienos etc. A histamina causa contração do músculo liso (principalmente dos brônquios), dilata os capilares sanguíneos e aumenta muito sua permeabilidade. Ocorre saída de líquido do sangue, com redução acentuada do volume sanguíneo e queda da pressão intravascular, o que prejudica a distribuição de gás oxigênio aos tecidos. A heparina é um anticoagulante, mas a coagulação do sangue, em humanos, permanece normal durante o choque anafilático, porque a heparina liberada é imediatamente inativada.

- **Plasmócitos** – São pouco numerosos no conjuntivo normal, exceto nos locais sujeitos à penetração de bactérias e proteínas estranhas, como a mucosa intestinal, mas aparecem em grande quantidade nas inflamações crônicas (em que predominam plasmócitos, linfócitos e macrófagos). Os plasmócitos sintetizam e secretam anticorpos, proteínas específicas também denominadas **imunoglobulinas**, que respondem à entrada de moléculas estranhas, denominadas **antígenos**. Os efeitos da reação antígeno-anticorpo

são variados, podendo neutralizar as ações prejudiciais que o antígeno teria sobre o organismo. Quando o antígeno é uma toxina (tetânica, diftérica), pode perder sua capacidade de causar dano ao organismo ao se combinar com o respectivo anticorpo.

## Matriz do tecido conjuntivo

A matriz extracelular é composta por fibras do tecido conjuntivo e pela substância fundamental. Responsável pela sustentação das células, unindo-as, proporciona um meio para a troca de substâncias entre elas e o sangue. Desempenha um papel ativo no desenvolvimento, na migração, na proliferação e na mudança de forma dos tecidos, bem como na maneira como realizam suas funções metabólicas.

A substância fundamental contém água e um sortimento de moléculas orgânicas, das quais muitas são combinações complexas de polissacarídeos e proteínas. Por exemplo, o **ácido hialurônico** é uma substância viscosa e escorregadia que une as células, lubrifica as articulações e ajuda a manter o formato dos olhos. Glóbulos brancos, espermatozoides e algumas bactérias produzem **hialuronidase**, uma enzima que degrada o ácido hialurônico e faz com que a substância fundamental do tecido conjuntivo se torne aquosa. A capacidade de produzir hialuronidase possibilita que os glóbulos brancos se movimentem por entre os tecidos conjuntivos, para alcançar os locais de infecção, e que os espermatozoides penetrem no ovócito II durante a fertilização. Ela também explica a propagação das bactérias entre os tecidos conjuntivos.

## Presença de fibras

Na matriz, as fibras dão força e sustentação aos tecidos conjuntivos. Três tipos de fibras são encontrados na matriz: as colágenas, as elásticas e as reticulares.

- **Fibras colágenas** – Fibras muito fortes e resistentes à tração, mas que não são rígidas, proporcionando flexibilidade ao tecido. Essas fibras normalmente ocorrem em feixes paralelos, em um arranjo que lhes fornece grande força. Quimicamente, as fibras colágenas são formadas pela proteína colágeno, a mais abundante no corpo, representando em torno de 25% do total das proteínas. São encontradas na maioria dos tecidos conjuntivos, especialmente em ossos, cartilagens, tendões e ligamentos.
- **Fibras elásticas** – Fibras com diâmetro menor do que as colágenas, formando, por meio de sua ramificação e união, uma rede dentro de um tecido. Uma fibra elástica constitui-se das moléculas de uma proteína chamada **elastina**, circundadas por uma glicoproteína chamada **fibrilina**, que é essencial para a estabilidade de uma fibra elástica. As fibras elásticas são fortes, podendo ser esticadas até uma vez e meia o tamanho de seu comprimento relaxado sem se romperem. Elas têm a capacidade de retornar à sua forma original após serem esticadas, uma propriedade denominada elasticidade. As fibras elásticas são abundantes na pele, nas paredes dos vasos sanguíneos e no tecido pulmonar.
- **Fibras reticulares** – Compostas de colágeno revestido de glicoproteína, dão sustentação às paredes dos vasos sanguíneos e formam redes ramificadas ao redor de células adiposas, fibras nervosas e células musculares esqueléticas e lisas. Produzidas pelos fibroblastos, são muito mais finas do que as fibras colágenas, mas, como estas, fornecem sustentação e força, além de formarem o **estroma** (do grego

stroma, tapete ou cobertura), estrutura de sustentação de muitos órgãos moles, como o baço e os linfonodos. Essas fibras também ajudam a formar a membrana basal.

As fibras do tecido conjuntivo são constituídas por proteínas que se polimerizam, formando estruturas alongadas.

## Variedades de tecido conjuntivo

Há diversas variedades de tecido conjuntivo, formadas pelos constituintes básicos (fibras, células e matriz extracelular) já descritos. Os nomes dados aos diferentes tipos refletem o componente predominante ou a organização estrutural do tecido.

Os tecidos conjuntivos podem ser classificados em conjuntivos propriamente ditos e conjuntivos de propriedades especiais.

O tecido conjuntivo propriamente dito (TCPD) se divide em conjuntivo frouxo e conjuntivo denso.

Os tecidos conjuntivos de propriedades especiais são: tecido adiposo, cartilaginoso, ósseo e sanguíneo.

## Tecidos conjuntivos propriamente ditos

### Tecido conjuntivo frouxo

Apresentando consistência delicada, flexível e pouco resistente, o tecido conjuntivo frouxo constitui uma variedade de tecido conjuntivo propriamente dito presente em regiões adjacentes aos epitélios, exercendo a função de mantê-los nutridos por difusão.

Tendo todos os típicos elementos de um tecido conjuntivo, possui fibroblastos e macrófagos como as células mais comuns, porém apresenta outros elementos, sendo o grande responsável pelo preenchimento das lacunas existentes entre fibras e feixes musculares, além de servir de apoio para os epitélios.

### Tecido conjuntivo denso

Essa variedade de tecido conjuntivo é formada pelos mesmos elementos estruturais encontrados no tecido frouxo, havendo predominância acentuada das fibras colágenas. Trata-se de um tecido menos flexível do que o frouxo e muito mais resistente às trações.

Há dois tipos de tecido conjuntivo denso: o não modelado e o modelado. Quando as fibras colágenas se dispõem em feixes arranjados sem orientação fixa, o tecido chama-se **conjuntivo denso não modelado** (fibroso). Nesse tecido, os feixes colágenos formam uma trama tridimensional, que confere certa resistência às trações exercidas em qualquer direção. O conjuntivo denso não modelado é encontrado, por exemplo, na derme profunda da pele.

O tecido **conjuntivo denso modelado** (tendinoso) apresenta os feixes colágenos paralelos uns aos outros, formados em resposta a trações exercidas em um determinado sentido. As células orientam as fibras de modo a oferecer o máximo de resistência às forças que normalmente atuam sobre o tecido. Os tendões são um exemplo típico de tecido denso modelado.

## Tecido conjuntivo e a regeneração

As áreas do tecido conjuntivo destruídas por inflamação ou por lesão traumática são preenchidas novamente pela proliferação do conjuntivo adjacente, pois esse tipo de tecido é dotado de grande capacidade de regeneração.

O poder de regeneração do tecido conjuntivo é importante, também, quando ocorre destruição de outros tecidos. O músculo cardíaco, por exemplo, não se regenera, e os espaços deixados pela destruição de suas fibras são preenchidos por tecido conjuntivo. O tecido conjuntivo formado para repor áreas de destruição tecidual constitui as cicatrizes.

## Tecido conjuntivo e os hormônios

Diversos hormônios influem sobre o metabolismo do tecido conjuntivo. É o caso do cortisol ou hidrocortisona, produzido pela camada cortical da glândula adrenal, que inibe a síntese das fibras do conjuntivo. O hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), produzido pela adeno-hipófise, tem o mesmo efeito, porque estimula a secreção de cortisol. Injeções de cortisol ou de ACTH dificultam a cicatrização das feridas. Esses hormônios também atenuam a resposta inflamatória.

A deficiência em hormônio da tireoide causa o acúmulo excessivo de proteoglicanas no tecido conjuntivo. Por isso, o **hipotireoidismo** do adulto é chamado de **mixedema**, ou edema de muco.

## Renovação do colágeno

O colágeno (figura ao lado) é uma proteína estável organizada em fibras, cuja renovação é lenta, variando de um órgão para outro. Por exemplo, o colágeno dos tendões quase não é renovado, enquanto o do conjuntivo frouxo renova-se em ritmo relativamente rápido.

A deficiência de vitamina C impede a síntese de colágeno pelos fibroblastos, prejudicando a substituição das fibras removidas. A consequência é uma degeneração generalizada do tecido conjuntivo (escorbuto), mais acentuada nos locais em que a renovação do colágeno é mais acelerada. Essa degeneração afeta o ligamento que prende os dentes aos alvéolos; ao apresentar um **turnover** alto de colágeno, ocorre o amolecimento e até perda dos dentes.

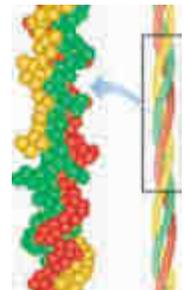
A destruição fisiológica do colágeno para sua renovação é iniciada pela ação de uma enzima específica denominada **colagenase**, produzida por células do tecido conjuntivo. Essa enzima digere exclusivamente o colágeno, não atacando outras proteínas, e é ativa no pH normal dos tecidos (em torno de 7). A degradação iniciada pela colagenase pode ser continuada por proteases não específicas.

As bactérias do gênero *Clostridium*, causadoras da gangrena gasosa, produzem colagenases, o que aumenta muito o poder invasivo dessas bactérias.

## Tecidos conjuntivos de propriedades especiais

### Tecido adiposo

O tecido adiposo é uma variedade de tecido conjuntivo, que, além das estruturas mencionadas no TCPD, tem predominância de células adiposas, ricas em gotículas de gordura, cujo protoplasma e núcleo estão deslocados para a periferia. Trata-se de um reservatório de lipídios, com finalidade energética, além de atuar como isolante térmico, amortecedor de impactos e modelador. Existem dois tipos de tecidos adiposos: o **unilocular** (gordura amarela ou branca) e o **multilocular** (gordura parda ou marrom). O primeiro tipo é o mais



Visão da estrutura conformacional da molécula de colágeno.

comum entre os animais, sendo o segundo tipo uma peculiaridade dos mamíferos hibernantes, uma vez que esse tipo de tecido é especializado na produção de calor. Na espécie humana, a quantidade desse tecido é significativa somente nos recém-nascidos, com função auxiliar na termorregulação.

Quando a necessidade de ação termorreguladora do tecido adiposo multilocular é ativada, a noradrenalina liberada pelas terminações nervosas promove uma aceleração da lipólise e a oxidação dos ácidos graxos. Esse mecanismo de aceleração metabólica promove a produção de calor, e não de ATP, como ocorre na maioria dos tecidos, uma vez que as mitocôndrias da gordura marrom (tecido adiposo multilocular) possuem em sua membrana interna uma proteína desacopladora de energia denominada **termogenina**. Nessa proteína transmembranar, o retorno dos prótons para a matriz mitocondrial estabelece a geração de energia cinética que logo é convertida em energia para ser dissipada sob a forma de calor. Esse calor promove o aquecimento do sangue presente em toda a extensão capilar do tecido e é, assim, distribuído para todo o organismo, contribuindo para a termorregulação do animal.

Vale lembrar que esse importante mecanismo de adaptação dos animais endotérmicos (aves e mamíferos) consome grande parte da matéria orgânica por eles consumida, além de exigir condições fisiológicas de alta taxa metabólica. Admite-se que, aproximadamente, 55% da energia de um mol de glicose oxidada seja dissipada sob a forma de calor pelos animais, e, portanto, parte dessa energia seja usada pelas termogeninas.

Nas espécies que hibernam, o despertar da hibernação ocorre devido à ação dos estímulos nervosos sobre o tecido adiposo, que funciona como um “acendedor” dos outros tecidos, por distribuir para estes o sangue aquecido.

Nos humanos, a função desse tecido está restrita aos primeiros meses de vida pós-natal. Durante esse tempo, o tecido adiposo multilocular produz calor, protegendo o recém-nascido contra o frio excessivo.

### Tecido conjuntivo cartilaginoso

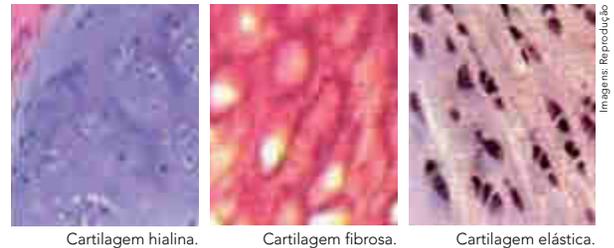
O tecido cartilaginoso consiste em uma forma especializada de tecido conjuntivo de origem embrionária mesodérmica. Ele apresenta características morfológicas que se assemelham aos tecidos de natureza conjuntiva, pois possui consistência rígida para exercer papel de suporte, revestimento de superfícies articulares, sustentação e modelagem. Esse tecido é constituído por três tipos de cartilagens, nas quais predomina a presença de células denominadas **condrócitos** e de uma matriz extracelular bastante especializada.

O condrócito apresenta morfologia ovoide e globosa, contendo um núcleo com formato correspondente e um citoplasma vacuolizado. Quando jovens, essas células são denominadas **condroblastos**, apresentando elevada atividade metabólica, com retículo endoplasmático granuloso e complexo golgiense bastante desenvolvidos.

Esse tecido constitui a única variedade de tecido conjuntivo **avascular**, ou seja, desprovido de vasos sanguíneos. Nesse caso, a nutrição acontece por meio dos capilares do conjuntivo adjacente (**pericôndrio**) ou a partir de um líquido presente nas cavidades articulares, denominado **sinovial**. O tecido também se apresenta ausente de vasos linfáticos e nervos, fazendo com que a difusão de substâncias entre os vasos sanguíneos do tecido conjuntivo circundante e os condrócitos aconteça por meio da matriz extracelular.

Sua matriz é sólida e firme, possuindo macromoléculas de proteoglicanas (proteína + glicosaminoglicanas), fibras colágenas (hialina), fibras elásticas e feixes colágenos (fibrosa). As cavidades dessa matriz apresentam-se ocupadas pelos condrócitos e são chamadas de lacunas, podendo ser constituídas por um ou mais condrócitos.

As cartilagens dividem-se em três tipos distintos.



- ▶ **Cartilagem hialina** – Pode ser encontrada na formação inicial do esqueleto do feto e é precursora da ossificação endocondral. Nesse processo de desenvolvimento e formação óssea, a cartilagem hialina funciona como uma espécie de placa de crescimento que continua funcional enquanto o osso estiver crescendo no comprimento. Na estrutura do osso longo de um adulto, ela fica localizada na porção superficial da articulação. Também pode ser encontrada em unidades esqueléticas, como traqueia, brônquios, laringe, nariz e nas extremidades cartilaginosas costais (costelas).
- ▶ **Fibrocartilagem ou cartilagem fibrosa** – Tecido de caráter morfológico intermediário, entre o conjuntivo denso e a cartilagem hialina, compõe-se de feixes evidentes e de espessas fibras de colágeno. Está presente nos discos intervertebrais, nos discos articulares dos joelhos, na sínfise púbica e em certas regiões de conexão onde os tendões se ligam aos ossos, regiões essas que precisam de um tecido capaz de resistir à compressão e ao desgaste.
- ▶ **Cartilagem elástica** – A estrutura da cartilagem elástica se configura pela presença de fibras elásticas e lâminas de material flexível com fibrilas e substância fundamental, morfologia que confere a elasticidade necessária para compor regiões como o pavilhão auditivo. O predomínio da cor amarelada deve-se à presença de elastina. Esse tipo de cartilagem pode ser encontrado, também, no canal auditivo externo, na laringe e na tuba auditiva.

### Tecido conjuntivo cartilaginoso e anaerobiose

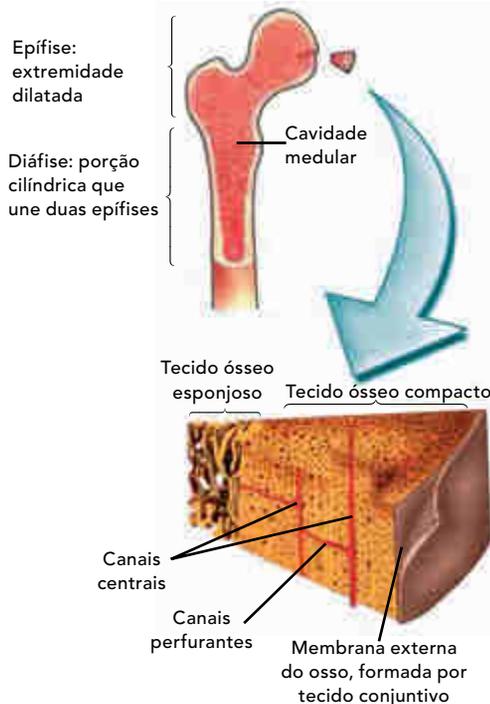
Uma vez que as cartilagens são desprovidas de capilares sanguíneos, ou seja, são avasculares, a oxigenação dos condrócitos é deficiente, e essas células sobrevivem sob baixas tensões de gás oxigênio. A cartilagem hialina degrada a glicose, principalmente, por mecanismo anaeróbico, com formação de ácido láctico como produto final. Como já foi observado, os nutrientes chegarão aos condrócitos mais profundos, atravessando o pericôndrio e penetrando na matriz da cartilagem. Visto que o mecanismo de transporte dessas moléculas é a difusão e o bombeamento ativo, este último promovido por uma força de compressão e descompressão, essa falta de capilares acaba limitando a espessura máxima das cartilagens.

## Tecido conjuntivo cartilaginoso e regeneração

Os tecidos cartilagosos possuem dificuldade de regeneração e, quando lesionados, dificilmente conseguem recuperar-se de modo completo, salvo em crianças de pouca idade. Quando há regeneração, ela ocorre a partir de células derivadas do pericôndrio, que invadem a região de fratura e passam a promover a síntese de um novo tecido cartilaginoso, reparando a lesão. Se a área de lesão for extensa ou se houver lesões pequenas em grandes quantidades, a incapacidade de reconstituição completa leva o pericôndrio a formar uma cicatriz de tecido conjuntivo denso.

## Tecido conjuntivo ósseo

O tecido ósseo corresponde a uma especializada constituição de células conjuntivas preenchidas por uma matriz intersticial abundante, com capacidade única de sofrer mineralização. Aliás, essa mineralização confere ao tecido ósseo propriedade de extrema dureza, capacitando-o para as funções de sustentação e proteção. Por outro lado, a presença ampla de fibras colágenas lhe confere certa maleabilidade, com poder de extensão e flexão.



A matriz extracelular do tecido ósseo representa um grande reservatório de minerais no organismo, essencialmente íons cálcio e fósforo, contribuindo para a garantia do equilíbrio (homeostase) de cálcio no sangue (calcemia) e, conseqüentemente, em todos os fluidos tissulares, condição fundamental para a sobrevivência dos organismos.

No tecido ósseo, observa-se um suporte estrutural em equilíbrio. No entanto, se houver alguma alteração dessa homeostase, o papel estrutural irá prevalecer em favor do metabólico. O osso possui, então, estrutura altamente dinâmica, apesar de apresentar aspecto aparentemente inerte, pois possui capacidade constante de crescimento e remodelação, mantendo-o em atividade por toda a vida. Essa capacidade permanente de metabolismo se deve à presença de diversas células ósseas, que assumem várias morfologia e fisiologia e, no seu conjunto, constituem a **série osteoclástica** e a **série osteoblástica**, caracterizando

uma constante reabsorção, formação, reparação e manutenção da arquitetura do osso.

A manutenção da constante capacidade de remodelação óssea depende da diversidade de células ósseas, bem como da maneira que os osteoblastos e osteoclastos estão, diante do ponto de vista fisiológico, intimamente integrados, em completa coordenação. Assim, torna-se pertinente ao estudo estabelecer conceitos sobre o padrão biológico e dinâmico do tecido ósseo.

## Células do tecido ósseo

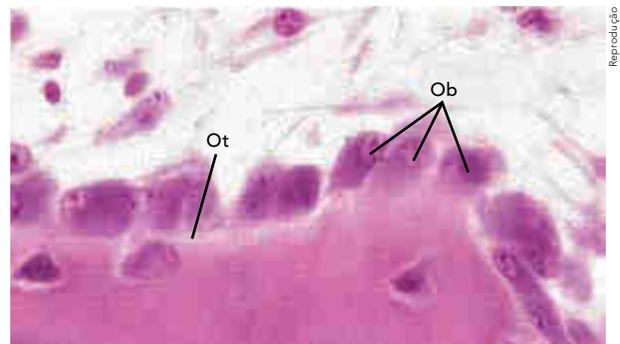
O tecido ósseo é, sob ponto de vista celular, constituído apenas por duas linhas celulares. Esses conjuntos de células assumem diversas formas e designações, com base em suas diferentes morfologias, atividades e localizações em relação à matriz calcificada. Essas células podem ser agrupadas em duas séries diferentes: células da linha osteoblástica, responsáveis pelo processo de formação da matriz óssea, e células da linha osteoclástica, relacionadas à sua reabsorção.

### ➤ Osteoblastos

Os osteoblastos são células altamente polarizadas que possuem aspecto morfológico cúbico, e, quando atingem a forma madura, localizam-se na superfície óssea, formando junções comunicantes (*gap junctions*, em inglês), que são de grande importância para a comunicação entre células adjacentes.

Os osteoblastos maduros são células sem capacidade de divisão, mas metabolicamente muito ativas. Seu potencial de síntese proteica é evidenciado pela grande quantidade de colágeno tipo I e de proteínas colagênicas como osteocalcina, sialoproteína óssea e demais proteínas fibrosas que constituem a matriz fundamental. As proteínas não colagênicas também são fundamentais no processo de mineralização, pois promovem a ligação entre o colágeno e os cristais minerais de hidroxiapatita.

Os osteoblastos são, ainda, importantes no processo de síntese de fatores de crescimento, presentes na matriz óssea, e de importância crucial tanto na formação morfológica do tecido como na diferenciação e na atividade dos osteoclastos.



Osteoblastos (Ob) na periferia de uma trabécula óssea em formação. É visível, também, a presença de osteoide (Ot) e de matriz mineralizada.

Dessa forma, pode-se concluir que os osteoblastos são células metabolicamente dinâmicas e responsáveis pela constituição da matriz óssea, além de estabelecerem a mineralização desta. De fato, o osso é composto por uma porção mineral, caracterizada essencialmente por cristais de fosfato de cálcio, formando a hidroxiapatita, que se sustenta e assenta em uma matriz colagênica (constituente orgânico). Essa complexa organização, combinada entre

as fases mineral e orgânica, providencia ao tecido ósseo propriedades biomecânicas únicas.

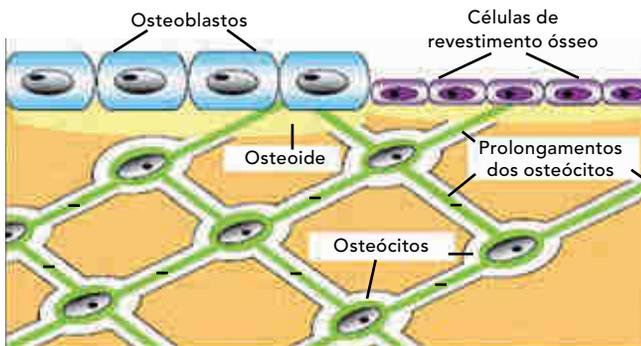
Terminado o período de secreção ativa, os osteoblastos achatam-se e transformam-se em células de revestimento ósseo ou em **osteócitos**, podendo desaparecer do local de formação óssea, provavelmente por apoptose (morte celular programada).

### ▶ Osteócitos

As células ósseas denominadas osteócitos se caracterizam por apresentar morfologia típica e organização com estrutura intrincada de forma tridimensional, estando regularmente distribuídas em espaços estratégicos na matriz mineralizada.

Por serem altamente ramificados, os osteócitos se localizam nas lacunas ósseas, comunicando-se entre si e com algumas células da superfície óssea por meio de canaliculos, nos quais se encontram os numerosos prolongamentos citoplasmáticos, que permitem a difusão dos nutrientes e várias outras substâncias. O tempo de sobrevivência de um osteócito está relacionado ao potencial de difusão dos nutrientes.

Observa-se também, na estrutura dos prolongamentos celulares dos osteócitos, a existência de junções comunicantes (*gap junctions*), fazendo uma analogia à rede neuronal que se encontra no tecido nervoso.



Esquemática das células do tecido ósseo e sua organização na matriz óssea.

### ▶ Osteoclastos

Os osteoclastos (macrófagos do tecido ósseo) possuem função fundamental no mecanismo de remodelação e renovação do tecido ósseo. São células multinucleadas e altamente especializadas em reabsorver a matriz óssea, desenvolvendo, para tal finalidade, uma eficiente e complexa maquinaria, que acaba por lhes conferir características e potenciais únicos.

Tais células podem ser encontradas na superfície dos ossos, principalmente na região do **endóstio**, e, ocasionalmente, na porção denominada **perióstio**. Durante o processo de reabsorção da matriz, a região forma uma espécie de cripta ou lacuna, que recebe a designação de **lacuna de Howship**.

### Mineralização

A constituição inorgânica do tecido ósseo representa cerca de 50% da massa da matriz óssea. Nesta, os íons encontrados em maior abundância são o fosfato e o cálcio. Além desses, pode-se encontrar também bicarbonato, magnésio, potássio, sódio e pequenas quantidades de citrato. A composição orgânica da matriz óssea é constituída, principalmente, por fibras colágenas (95%), formadas por colágeno do

tipo I e por pequena quantidade de glicoproteínas adesivas e proteoglicanas.

Esta natureza adesiva da constituição orgânica e inorgânica (hidroxiapatita) constitui a dureza e resistência do tecido ósseo. Caso ocorra a desmineralização do tecido, ele mantém sua forma intacta, mas torna-se tão flexível quanto o tecido conjuntivo denso modelado (tendões).



Perônio em condições normais



Perônio desmineralizado



Perônio sem colágeno

Algumas características físicas apresentadas por um osso que passou por processo de desmineralização e outro por calcificação. O perônio desmineralizado permite o dobramento sem se fraturar. Se a matriz orgânica for removida (sem colágeno, calcificação do osso), ele perde a elasticidade, tornando-se frágil perante deformações e traumatismos diretos.

### Ossos e crescimento

O crescimento dos ossos consiste na formação de tecido ósseo novo, associada à reabsorção parcial de tecido já formado. Desse modo, os ossos conseguem manter sua forma enquanto crescem. Apesar de sua dureza e resistência às pressões, o tecido ósseo é muito plástico, sendo capaz de remodelar sua estrutura interna em resposta às modificações das forças a que está submetido. Um exemplo disso é a possibilidade de se modificar, por meio de pressões laterais exercidas por aparelhos ortodônticos, a posição dos dentes na arcada dentária.

### Distúrbios metabólicos e nutricionais

O tecido ósseo é sensível a diversos fatores nutricionais, principalmente durante a fase de crescimento.

A falta de proteínas na dieta acarreta escassez dos aminoácidos necessários à síntese de colágeno pelos osteoblastos, enquanto a carência de cálcio leva à calcificação incompleta da matriz orgânica produzida. A deficiência de cálcio pode ser ocasionada pela carência desse mineral nos alimentos ou pela falta de vitamina D, que promove a sua absorção intestinal.

Na criança, a baixa ingestão de cálcio causa o **raquitismo**. Nessa doença, a matriz óssea não se calcifica normalmente, de modo que as espículas ósseas formadas pelo disco epifisário se deformam, por não suportarem as pressões normais exercidas sobre elas pelo peso corporal e pela ação muscular. Em consequência, os ossos não crescem normalmente e as extremidades dos ossos longos tornam-se desfiguradas.

No adulto, a falta de cálcio leva à **osteomalacia**, que se caracteriza pela calcificação irregular da matriz óssea neoformada e descalcificação parcial da matriz já calcificada, com a consequente fragilidade óssea. Porém, como o adulto já não tem as cartilagens de conjugação, não ocorrem as deformações dos ossos longos nem o atraso do crescimento, características do raquitismo.



Osso normal.



Osso com osteoporose.

Imagens: Reprodução

Na **osteoporose**, os ossos também se tornam menos resistentes, mas a causa não é a deficiência nutricional de cálcio nem a hipovitaminose D. Nessa doença, a concentração de cálcio na matriz orgânica é normal, mas a quantidade de tecido ósseo é menor, o que origina amplos canais de reabsorção no osso. Essa condição, que pode aparecer em pacientes imobilizados, pessoas idosas e, principalmente, em mulheres após a menopausa, pode decorrer tanto da diminuição na formação do tecido ósseo quanto do aumento na reabsorção do osso formado, ou ainda da combinação dos dois fatores.

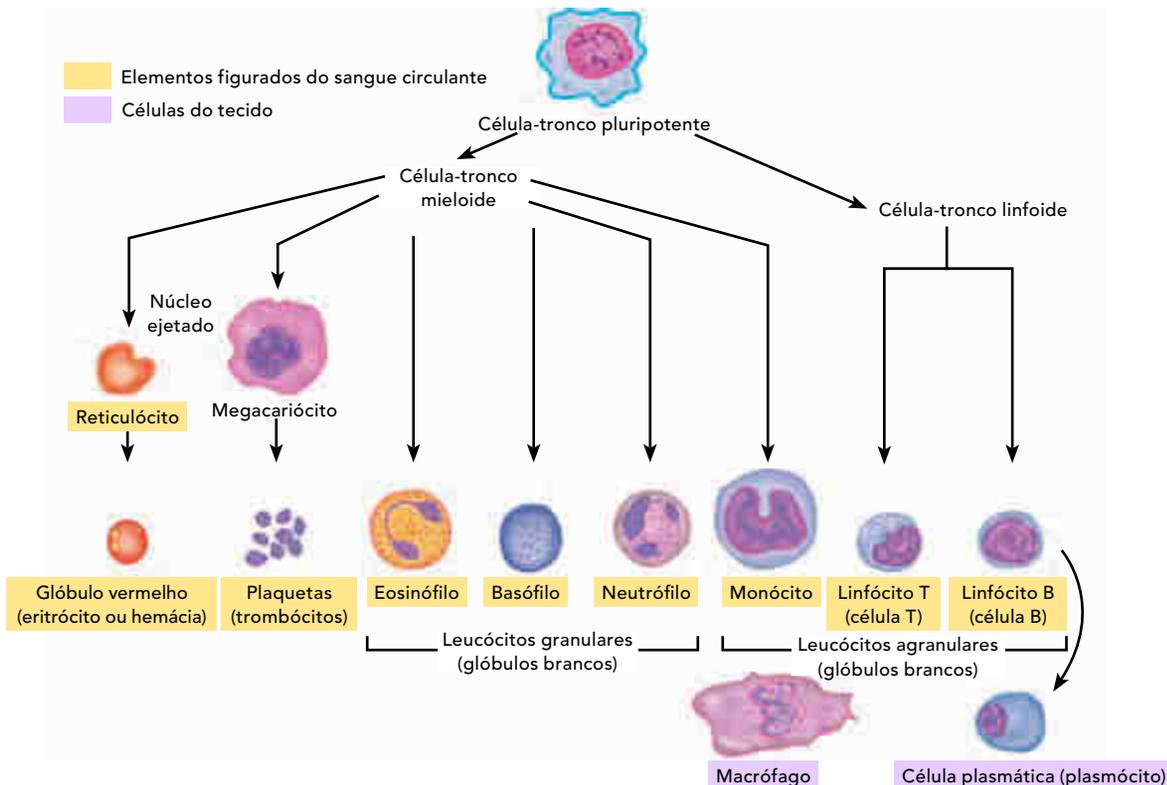
### Tecido sanguíneo

O sangue humano é constituído por um líquido amarelado, o **plasma**, além de células e pedaços de células, genericamente denominados **elementos figurados**.

#### ▶ Plasma

O plasma é uma solução aquosa que contém componentes de pequeno e grande peso molecular, equivalentes a 10% do volume total. As proteínas plasmáticas correspondem a 7%, e os sais inorgânicos, a 0,9%, sendo o restante formado por compostos orgânicos diversos, tais como aminoácidos, vitaminas, hormônios, lipoproteínas e glicose. As principais proteínas do plasma são as albuminas, gamaglobulinas e o fibrinogênio. Sendo as proteínas mais abundantes, as albuminas desempenham papel fundamental na manutenção da pressão osmótica do sangue. As gamaglobulinas, por sua vez, são anticorpos e, por isso, chamam-se imunoglobulinas. Já o fibrinogênio é necessário à formação de fibrina, na etapa final da coagulação do sangue.

#### ▶ Elementos figurados



TORTORA, Gerard; GRABOWSKI, Sandra. *Corpo humano*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. (adaptado)

### ▶ Eritrócitos – Glóbulos vermelhos ou hemácias.

As hemácias dos mamíferos são anucleadas e têm, nos humanos, forma bicôncava, o que proporciona o aumento da superfície em relação ao volume, facilitando a troca de gases. Elas são flexíveis, passando facilmente pelas bifurcações dos capilares mais finos, sem se romperem, além de transportarem o gás oxigênio dos pulmões para os tecidos por meio da hemoglobina.

Os eritrócitos são produzidos no interior dos ossos, a partir de células da medula óssea vermelha. Sua concentração normal no sangue é de, aproximadamente, 4,5 a 5,5 milhões por  $\text{mm}^3$ , na mulher e no homem, respectivamente.

A molécula de hemoglobina (proteína conjugada) é formada por quatro subunidades, cada uma contendo um grupo heme, um derivado porfirínico contendo  $\text{Fe}^{2+}$ , ligado a um polipeptídeo.

A **hemoglobina fetal** tem alta afinidade com o gás oxigênio, característica essencial para a sobrevivência do embrião, pois ele não tem acesso ao ar e obtém oxigênio dos eritrócitos do sangue materno por meio da placenta.

Nos pulmões, onde a pressão de gás oxigênio é alta, cada molécula de hemoglobina combina-se com quatro moléculas de  $\text{O}_2$  (uma molécula de  $\text{O}_2$  para cada  $\text{Fe}^{2+}$  da hemoglobina), formando a **oxiemoglobina**. Essa combinação é reversível, e o oxigênio transportado pela hemoglobina é transferido para os tecidos, onde a pressão de  $\text{O}_2$  é baixa.

A combinação da hemoglobina com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), normalmente produzido nos tecidos, também é reversível e constitui a **carbamino-hemoglobina** (carboemoglobina), mas a maior parte do  $\text{CO}_2$  é transportada dos tecidos para os pulmões e dissolvida no plasma.

O aumento de glóbulos vermelhos no sangue (eritrocitose) geralmente se dá por uma adaptação fisiológica do organismo a locais de altitude elevada, onde o ar é rarefeito. Isso ocorre porque a saturação de gás oxigênio é menor ao nível do mar, e a saturação de hemoglobina permanece normal, determinando, assim, a diminuição da oferta de gás oxigênio nos tecidos. No processo de adaptação, ocorre secreção de eritropoetina pelos rins, estimulando a medula óssea a produzir mais hemoglobina e mais glóbulos vermelhos, resultando na elevação da capacidade de captação de oxigênio.

### ▶ Leucócitos – Glóbulos brancos.

Os leucócitos são incolores, de forma esférica quando em suspensão no sangue, e estão implicados nas defesas celulares e imunocelulares do organismo. Constantemente, os leucócitos deixam os capilares por diapedese, passando entre as células endoteliais para adentrar no tecido conjuntivo.

Todavia, quando os tecidos são invadidos por micro-organismos, os leucócitos são atraídos por quimiotaxia (substâncias originadas dos tecidos) do plasma sanguíneo e dos micro-organismos, provocando, nos leucócitos, uma resposta migratória que faz com que eles se dirijam aos locais onde existe maior concentração dos agentes quimiotáticos.

O número de leucócitos por milímetro cúbico de sangue no adulto normal é de 6000 a 10000. Denomina-se **leucocitose** o fenômeno em que o número de leucócitos está acima de 10000/ $\text{mm}^3$  de sangue e **leucopenia** quando está abaixo de 2000/ $\text{mm}^3$  de sangue. A leucocitose geralmente

ocorre devido a uma infecção, enquanto a leucopenia predispõe o organismo a infecções. Na leucemia (câncer de leucócitos), encontram-se mais de 100 mil leucócitos/ $\text{mm}^3$  de sangue.

Os leucócitos são classificados em granulares e agranulares, dependendo de conterem ou não vesículas citoplasmáticas cheias de substâncias químicas (originalmente chamadas grânulos), evidenciadas mediante uso de corantes.

#### ■ Leucócitos granulares

- **Neutrófilos:** apresentam núcleos formados por dois a cinco lóbulos ligados entre si por finas pontes de cromatina. Os neutrófilos constituem importante defesa celular contra a invasão de micro-organismos. No sangue circulante, são esféricos e não fagocitam, mas se tornam amebóides e fagocitários tão logo toquem um substrato sólido sobre o qual possam emitir seus pseudópodes, movimentando-se em uma velocidade de 19 a 36  $\mu\text{m}$  por minuto.
- **Eosinófilos:** são muito menos numerosos do que os neutrófilos, constituindo apenas de 2 a 3% do total de leucócitos. Seu núcleo, geralmente, é bilobulado. Seus grânulos específicos são os lisossomos, que contêm enzimas como a fosfatase ácida, peroxidase, arilsulfatase, ribonuclease e desoxirribonuclease. Os eosinófilos não são células especializadas para a fagocitose de micro-organismos; sua atividade defensiva é realizada pela liberação do conteúdo de seus grânulos para o meio extracelular e pela fagocitose de complexo antígeno-anticorpo.
- **Basófilos:** apresentam núcleo volumoso, com forma retorcida e irregular, geralmente com o aspecto da letra S. O citoplasma é carregado de grânulos maiores do que os dos outros granulócitos, os quais, muitas vezes, obscurecem o núcleo. Em seus grânulos, possuem histaminas, fatores quimiotáticos para eosinófilos e neutrófilos, e heparina, responsável pela metacromasia.

#### ■ Leucócitos agranulares

- **Linfócitos:** os linfócitos constituem uma família de células esféricas, com diâmetro variável entre 6 e 8  $\mu\text{m}$ . O citoplasma do linfócito é muito escasso, aparecendo nos esfregaços como um anel delgado em volta do núcleo. Embora os linfócitos tenham morfologia semelhante, dependendo das moléculas localizadas em sua superfície, podem ser separados em dois tipos principais, **linfócitos B** e **T**, com diversos subtipos. Os primeiros apresentam receptores em sua superfície e, quando ativados por antígeno específico, proliferam por mitoses e se diferenciam em plasmócitos que secretam grande quantidade de anticorpos; algumas das células ativadas originam os linfócitos B da memória imunológica. Já os linfócitos T contêm receptores T, que não são imunoglobulinas, sendo especializados em reconhecer antígenos ligados à superfície de outras células. Existem quatro variedades: T citotóxico, T auxiliar, T supressor e T da memória imunológica.

- **Monócitos:** apresentam núcleo ovoide e forma de rim ou de ferradura, geralmente excêntrico. O núcleo do monócito contém dois ou três nucléolos que, algumas vezes, podem ser vistos em esfregaços comuns. Os monócitos do sangue representam uma fase na maturação fagocitária originada na medula óssea. Essas células passam para o sangue, no qual permanecem por apenas alguns dias e, atravessando a parede dos capilares e vênulas, penetram em alguns órgãos, transformando-se em macrófagos, que constituem uma fase mais avançada na vida da célula mononuclear fagocitária.

➤ **Plaquetas ou trombócitos**

As plaquetas são corpúsculos anucleados, derivados de células gigantes e poliploides da medula óssea, os megacariócitos. Eles apresentam forma de disco e cerca de 2 mm de diâmetro.

Os megacariócitos desintegram-se, formando plaquetas, enquanto ainda estão na medula óssea, liberando, depois, as plaquetas no sangue para que promovam a coagulação sanguínea, auxiliando na reparação da parede dos vasos sanguíneos e evitando a hemorragia. A concentração normal de plaquetas situa-se em torno de 200000 a 400000 por milímetro cúbico de sangue.

Na **trombocitopenia**, ocorre redução do número de plaquetas circulantes, o que provoca, no paciente, a aparição de um grande número de minúsculos pontos hemorrágicos na pele e nos tecidos profundos, uma vez que o método de tamponamento plaquetário para interromper pequenas hemorragias vasculares se torna deficiente. A trombocitopenia pode ser determinada geneticamente, porém a maioria dos casos resulta de intoxicação por medicamentos ou toxinas.

Na **trombocitose**, ocorre aumento do número de plaquetas circulantes, podendo levar à formação de trombos (coágulos), o que ocasiona a trombose, isto é, a solidificação do sangue dentro do coração ou dos vasos. Geralmente é determinada geneticamente.

 **Atividades para sala**

- Os epitélios são camadas de células coesas que cobrem ou revestem as superfícies corporais e, ainda, formam as unidades funcionais das glândulas de secreção exócrina e endócrina. Sobre as características desse tecido, analise as assertivas e marque as corretas.
  - Suas funções básicas incluem: proteção (pele); absorção (intestinos); transporte de substâncias sobre as superfícies (ação de cílios); secreção (glândulas); excreção (túbulos renais) e trocas gasosas (alvéolos pulmonares).
  - Apresenta uma capacidade de renovação contínua. O ciclo celular, definido como o intervalo entre duas divisões mitóticas sucessivas que resultam na produção de duas células-filhas, é constante. Dessa forma, as células são classificadas como lábeis.

- A coesão de um epitélio é mantida por moléculas de adesão celular e complexos juncionais, sendo estes representados pelas junções de oclusão, zônula de adesão ou desmossoma, junções comunicantes e hemidesmossomas.
- Apresenta especializações que se projetam na superfície e podem ser móveis (cílios) – presentes no epitélio de revestimento das vias aéreas – ou não móveis (microvilos e estereocílios) – presentes no revestimento intestinal e no epidídimo.
- A nutrição do epitélio de revestimento está na dependência de pequenos vasos sanguíneos que chegam até à superfície e terminam entre as células epiteliais, fornecendo gases (como o O<sub>2</sub>) e nutrientes (como a glicose).

As afirmativas corretas são

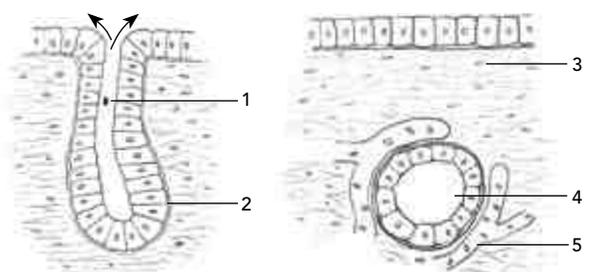
- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| a) II, III e V.     | d) I, II e IV.      |
| b) I, III, IV e V.  | e) I, II, III e IV. |
| c) II, III, IV e V. |                     |

- O sedentarismo é mais alto entre os brasileiros com mais de 45 anos. E é ainda maior no grupo de pessoas com alta escolaridade, em que 40% dos homens e 36,7% das mulheres são completamente inativos. É a partir dessa idade que os benefícios da prática regular de atividade física são maiores, pois, nessa fase da vida, o ritmo metabólico já está mais lento, favorecendo a perda de massa óssea e muscular. A manutenção de uma rotina de exercícios tende a retardar esse processo.

Pesquisa realizada pelo Ministério da Saúde. Veja, 5 mar. 2008.

Com base nas informações contidas no texto, pode-se concluir que

- como consequência do sedentarismo, a musculatura estriada esquelética perde a capacidade de realizar contrações fortes, rápidas e involuntárias.
  - a atividade física é importante na contração do músculo estriado cardíaco e, conseqüentemente, na distribuição do sangue venoso a todos os tecidos do corpo.
  - a inatividade pode provocar lesões na musculatura estriada esquelética, que, no entanto, tem grande capacidade de regeneração, a partir das células do tecido conjuntivo fibroso.
  - as glândulas sudoríparas são importantes durante a atividade física, pois eliminam resíduos metabólicos do organismo e ajudam a manter constante a temperatura corpórea.
  - a prática regular de atividade física proporciona redução da capacidade cardiorrespiratória, do estresse e do risco de doenças como hipertensão e diabetes.
- O esquema a seguir representa os cortes transversais de uma glândula exócrina e outra endócrina.



Assinale a alternativa cuja numeração indica, respectivamente, o duto e o capilar sanguíneo.

- a) 2 e 3.
- b) 1 e 4.
- c) 1 e 5.
- d) 3 e 4.
- e) 2 e 5.

4. Os animais são seres vivos, ou seja: nascem, crescem, morrem e possuem capacidade de reprodução. Cada espécie possui suas características próprias, como cor, tamanho, tipo de alimentação, ambiente em que vive, entre outros aspectos.

Os animais também apresentam diversas formas de locomoção, podendo andar, nadar, saltar, voar, rastejar ou, simplesmente, não se locomover. Um determinado tecido animal tem como características principais:

- apresentar fibras elásticas, colágenas e reticulares;
- conter macrófagos;
- ser o tecido de maior distribuição no corpo humano.

Essas características referem-se ao tecido

- a) adiposo.
- b) conjuntivo cartilaginoso.
- c) conjuntivo sanguíneo.
- d) conjuntivo denso.
- e) conjuntivo frouxo.

5. Um jovem apresenta cicatriz na coxa provocada por uma mordida de cão feroz. A cicatriz no local da lesão deve-se

- a) à regeneração do tecido epitelial pseudoestratificado por meio de suas células totipotentes indiferenciadas.
- b) ao acúmulo de plaquetas que têm substâncias ativas no processo de conversão de fibrinogênio em fibrina.
- c) à substituição do tecido lesionado por tecido conjuntivo por meio de fibroblastos e substâncias intercelulares.
- d) à organização de fibras reticulares que atuam como uma trama de sustentação das células.
- e) à interação entre filamentos de actina e miosina nos sarcômeros.

6. Em um organismo unicelular, a célula que o compõe desempenha todos os papéis que garantem sua sobrevivência. Qualquer falha implicará morte da célula e, consequentemente, do organismo. Nos organismos multicelulares, a morte de uma célula não significa, necessariamente, a morte do organismo. Muito frequentemente, o que acontece é a morte de algumas células e a subsequente substituição delas por outras células recém-formadas. Na maioria dos organismos multicelulares, as células apresentam diferenciações e se arrumam de tal forma que constituem os tecidos.

Sobre tecidos, é correto afirmar que

- a) o tecido conjuntivo é aquele que tem por função preencher os espaços vazios e juntar estruturas antes separadas. Para isso, apresenta abundância de substância intersticial.
- b) o tecido nervoso é formado por células especializadas chamadas de condrócitos, que são capazes de apenas responder a estímulos internos do organismo.

c) o tecido epitelial é formado, principalmente, por células dispersas.

d) o tecido ósseo é um tipo de tecido de revestimento que apresenta células compactadas.

e) o tecido hematopoiético é formado por células que apresentam prolongamentos para recepção de estímulos.

7. (ENEM) Um paciente deu entrada em um pronto-socorro apresentando os seguintes sintomas: cansaço, dificuldade em respirar e sangramento nasal. O médico solicitou um hemograma ao paciente para definir um diagnóstico. Os resultados estão dispostos na tabela.

Constituinte	Número normal	Paciente
Glóbulos vermelhos	4,8 milhões/mm <sup>3</sup>	4 milhões/mm <sup>3</sup>
Glóbulos brancos	(5000-10000)/mm <sup>3</sup>	9000/mm <sup>3</sup>
Plaquetas	(250 000-400 000)/mm <sup>3</sup>	200 000/mm <sup>3</sup>

TORTORA, Gerard. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. Porto Alegre: Artmed, 2000. (adaptado)

Relacionando os sintomas apresentados pelo paciente com os resultados de seu hemograma, constata-se que

- a) o sangramento nasal é devido à baixa quantidade de plaquetas, que são responsáveis pela coagulação sanguínea.
- b) o cansaço ocorreu em função da quantidade de glóbulos brancos, que são responsáveis pela coagulação sanguínea.
- c) a dificuldade respiratória decorreu da baixa quantidade de glóbulos vermelhos, que são responsáveis pela defesa imunológica.
- d) o sangramento nasal é decorrente da baixa quantidade de glóbulos brancos, que são responsáveis pelo transporte de gases no sangue.
- e) a dificuldade respiratória ocorreu pela quantidade de plaquetas, que são responsáveis pelo transporte de oxigênio no sangue.

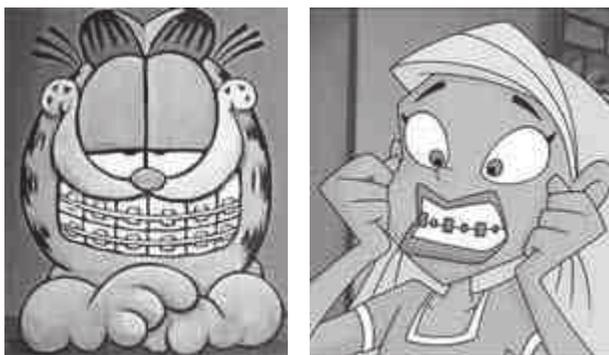
8. A tabela a seguir mostra os resultados dos exames de sangue de três indivíduos.

Conteúdo sanguíneo	Valores de referência	Carlos	Sérgio	Camila
Glóbulos vermelhos	3,9-5,6 milhões/mm <sup>3</sup>	4,2	3,5	5,0
Leucócitos	3,8-11,0 mil/mm <sup>3</sup>	12,0	5,8	6,7
Plaquetas	150-450 mil/mm <sup>3</sup>	230	350	50

Os pacientes retornaram ao médico para mostrar os resultados. Com base nos hemogramas, posteriormente comprovados por exames complementares, deduz-se que o diagnóstico do médico e o provável tratamento prescrito foram, respectivamente:

- Sérgio foi diagnosticado com anemia e o tratamento deve ocorrer à base de antibióticos.
- Camila possivelmente encontra-se com dengue e o tratamento prevê ingestão de líquidos, boa alimentação e transfusão de plaquetas.
- Carlos sofre um quadro inicial de infecção e deve administrar vitaminas do complexo B e sulfato ferroso.
- os três pacientes encontram-se gozando de plena saúde, não necessitando, portanto, de qualquer tratamento.
- Carlos e Camila estão saudáveis, enquanto Sérgio está com hemorragia, devendo suplementar sua dieta de vitamina K.

9. Nossos dentes, mesmo duros e resistentes, são modelados pelos aparelhos ortodônticos. As alternativas a seguir se referem ao tecido ósseo e ao seu mecanismo de reparação.



Imagens: Reprodução

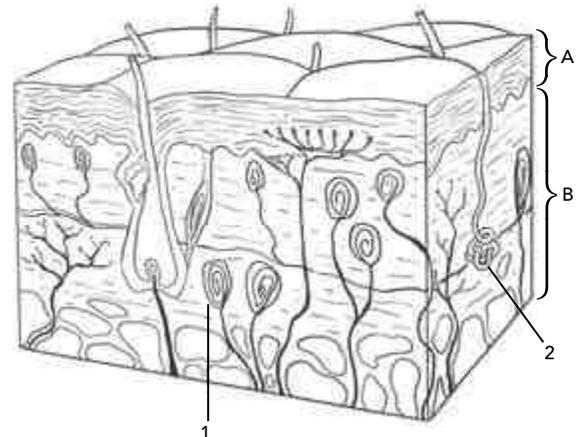
Analisando as imagens e baseando-se pelos conhecimentos correlatos, pode-se afirmar que

- os osteoclastos são células gigantes e uninucleadas, provenientes dos fibroblastos, relacionados à regeneração e remodelação do tecido ósseo, pois liberam enzimas que digerem a parte orgânica da matriz, contribuindo nesses processos.
- durante a formação dos ossos, à medida que ocorre a mineralização da matriz, os osteoblastos ficam presos em lacunas, diminuem a atividade de síntese proteica e transformam-se em osteócitos.
- a remodelagem óssea é um processo lento e difícil nos adultos e nas crianças, dependendo da atividade conjunta de destruição e reconstrução desempenhadas pelos osteócitos e condrócitos, respectivamente.
- os ossos são envolvidos externa e internamente por membranas cartilaginosas vascularizadas, denominadas, respectivamente, de endóstio e perióstio.
- a modelagem do tecido ósseo dentário ocorre a partir da síntese de matriz orgânica pelos osteócitos e pela remoção da matriz desgastada pelos osteoblastos.



## Atividades propostas

1. Analise as afirmações relacionadas à ilustração de uma seção de uma estrutura do corpo humano.

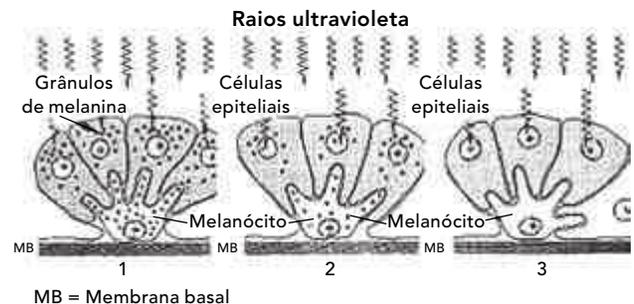


- As camadas A e B se originam exclusivamente da ectoderme.
- A camada A é constituída de epitélio estratificado.
- As estruturas 1 e 2 são glândulas exócrinas.

Está(ão) correta(s)

- I, II e III.
- apenas I e II.
- apenas II e III.
- apenas I e III.
- apenas II.

2. Analise a figura a seguir.



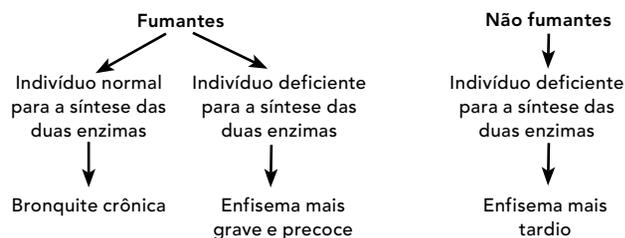
JUNQUEIRA, Luiz Carlos; CARNEIRO, José. *Biologia celular e molecular*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. p. 295.

Com base na figura e nos conhecimentos sobre o tema, assinale a alternativa correta.

- A pele negra, representada pela figura de número 3, não tem necessidade de produzir melanócitos quando em contato com os raios ultravioleta.
- Os indivíduos de pele albina estão representados pela figura 2, pois, em contato com os raios ultravioleta, produzem uma quantidade intermediária de melanócitos como consequência de problemas enzimáticos.
- Os indivíduos de pele clara estão representados pela figura 1, o que justifica o fato de a pele dessas pessoas, quando em contato com os raios ultravioleta, ficar vermelha.
- As células epiteliais da epiderme contêm quantidade variável do pigmento melanina, colocado como um capuz sobre o lado do núcleo celular que está voltado para o exterior, de onde vêm os raios ultravioleta.
- Tumores malignos, originados de células epiteliais de revestimento, podem ser causados pela falta de exposição ao Sol.

3. O tabagismo é um importante fator de alterações patológicas no pulmão, como o câncer e o enfisema pulmonar. Substâncias presentes no cigarro podem lesar esse órgão, comprometendo seu funcionamento. Duas enzimas – elastase e alfa-1-antitripsina – são essenciais para manter a integridade do pulmão.

Analise estes esquemas:



Além destas alterações de ordem fisiológica, no organismo de fumantes, ocorrem processos proliferativos de reparo em que o tecido formado difere do original, como a substituição do epitélio pseudoestratificado ciliado por epitélio escamoso estratificado nos brônquios; esse processo também é reversível quando cessam os estímulos que o provocam.

Com base no exposto, qual o nome do processo de ordem morfológica que ocorre no epitélio de revestimento do fumante?

- Neoplasia maligna
  - Neoplasia benigna
  - Hiperplasia
  - Displasia
  - Metaplasia
4. (ENEM) Para explicar a absorção de nutrientes, bem como a função das microvilosidades das membranas das células que revestem as paredes internas do intestino delgado, um estudante realizou o seguinte experimento: colocou 200 mL de água em dois recipientes. No primeiro recipiente, mergulhou, por 5 segundos, um pedaço de papel liso, como na figura 1; no segundo recipiente, fez o mesmo com um pedaço de papel com dobras simulando as microvilosidades, conforme a figura 2. Os dados obtidos foram: a quantidade de água absorvida pelo papel liso foi de 8 mL, enquanto pelo papel dobrado foi de 12 mL.

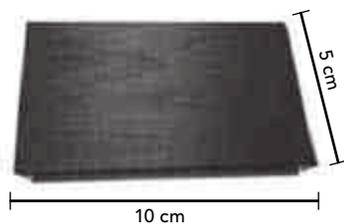


Figura 1

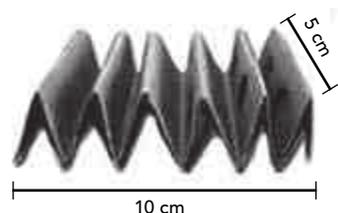


Figura 2

Com base nos dados obtidos, infere-se que a função das microvilosidades intestinais com relação à absorção de nutrientes pelas células das paredes internas do intestino é a de

- manter o volume de absorção.
  - aumentar a superfície de absorção.
  - diminuir a velocidade de absorção.
  - aumentar o tempo de absorção.
  - manter a seletividade na absorção.
5. O suor é o companheiro inseparável de qualquer atleta. No entanto, se isso acontecer em excesso, pode ser um sinal de que as coisas não estão funcionando direito no organismo. A hiperidrose atinge já 1% da população mundial, seja por causa de alguma doença ou causa genética.

Disponível em: <<http://www.globoesporte.globo.com>>. Acesso em: 23 jul. 2015. (adaptado)

No ser humano, a função principal da sudorese é

- nutrir as células epidérmicas desprovidas de irrigação sanguínea.
  - dissolver e remover o produto das glândulas sebáceas que se acumula sobre a pele.
  - acelerar a perda de calor, provocando, pela evaporação, um abaixamento da temperatura na superfície da pele.
  - eliminar o excesso de água do tecido celular subcutâneo, sem a perda de substâncias que normalmente seriam eliminadas pelos rins.
  - evitar a morte das células superficiais da epiderme por dessecação.
6. O *Demodex folliculorum* é um ácaro que habita os folículos pilosos dos seres humanos, alimentando-se de pele e sebo. Algumas pessoas podem ter reações alérgicas a esse animal e desenvolver a acne. A bactéria *Propionibacterium acnes*, por sua vez, é um ser vivo oportunista que prolifera na pele, causando inflamação.

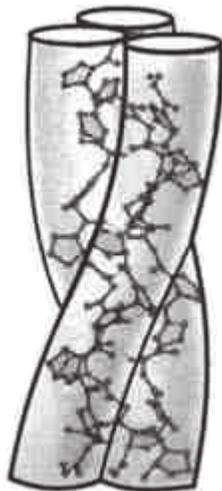
As glândulas envolvidas nesse processo infeccioso são chamadas

- sebáceas e exócrinas.
  - sudoríparas e endócrinas.
  - sebáceas e endócrinas.
  - sudoríparas e exócrinas.
  - mistas e exócrinas.
7. Leia o trecho de canção a seguir.

A coisa mais moderna que existe nessa vida é envelhecer  
A barba vai descendo e os cabelos vão caindo pra cabeça  
[aparecer  
Os filhos vão crescendo e o tempo vai dizendo que agora  
[é pra valer  
Os outros vão morrendo e a gente aprendendo a esquecer

"Envelhecer", de Arnaldo Antunes, Marcelo Jeneci e Ortinho.

Uma consequência do envelhecimento, tema da canção citada, encontra-se relacionada ao papel de uma proteína constituída por três cadeias peptídicas em forma de espiral, como representado na figura a seguir.



Qual é essa importante proteína e em que grupo diferenciado de células do tecido conjuntivo ela é sintetizada?

- a) Queratina; fibroblastos
- b) Colágeno; fibroblastos
- c) Actina; fibrócitos
- d) Miosina; mastócitos
- e) Tubulina; fibroblastos

8. O tecido conjuntivo possui três fibras: colágenas, reticulares e elásticas. Sobre elas, analise as afirmativas e assinale a alternativa correta.

- a) As fibras colágenas são constituídas da proteína colágeno, polimerizada fora das células, a partir do tropocolágeno sintetizado pelos macrófagos.
- b) Quanto maior a quantidade de colágeno nos tecidos, maior a elasticidade, por exemplo, nos tendões, nos quais o colágeno se distribui em uma só direção, enquanto, no cordão umbilical, forma uma malha difusa entre as células do tecido.
- c) Os pulmões são órgãos facilmente sujeitos a expansões de volume, pois são ricos em fibras elásticas, constituídas por elastina, proteína cuja principal função é dar elasticidade aos locais onde se encontram.
- d) As células de certos órgãos como o baço e os rins são envolvidas por uma trama de sustentação constituída de fibras reticulares, cujo principal componente é a elastina, uma escleroproteína.
- e) As fibras colágenas, assim como as elásticas, são constituídas de microfibrilas de colágeno que se unem formando as fibrilas de colágeno, e estas se unem formando as fibras de colágeno.

9. Cientistas descobriram um mecanismo biológico que transforma gordura branca em gordura marrom. A primeira acumula energia no corpo e está associada à obesidade; a segunda está ligada à regulação da temperatura. Essa descoberta representa uma estratégia para combater a obesidade.

*Revista Planeta, São Paulo: Três, ano 39, ed. 470, nov. 2011. (adaptado)*

O mecanismo de regulação da temperatura realizado pela gordura marrom está associado à

- a) utilização de ATP (trifosfato de adenosina) para produção de calor.
- b) presença de termogenina, uma proteína desacopladora.
- c) inibição da cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria, dissipando calor.
- d) ativação da fosforilação oxidativa na matriz mitocondrial.
- e) hidrólise de ATP (trifosfato de adenosina) em ADP (difosfato de adenosina) liberando calor.

10. Até recentemente acreditava-se que o tecido adiposo tinha apenas função de armazenar lipídios, servindo como uma reserva energética. Novas pesquisas, no entanto, vêm mudando essa ideia, ao revelar que os adipócitos têm importante participação nos mecanismos que regulam a concentração de glicose no sangue. Essa atuação recém-descoberta do tecido adiposo também está relacionada ao diabetes *mellitus* tipo 2. Os novos estudos revelaram que os adipócitos produzem e liberam no sangue dezenas de diferentes fragmentos de proteínas que agem como hormônios ou agentes inflamatórios (citocinas) e regulam a ação da insulina nos outros tecidos. Quando a captação de glicose pelo adipócito é impedida, por exemplo, ocorre resistência à insulina no tecido muscular. Já o maior uso de glicose no tecido adiposo leva a um aumento significativo da sensibilidade à insulina e da tolerância à glicose no tecido muscular. Os tecidos comprovam, portanto, a associação entre obesidade e diabetes.

*Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 40, jun. 2007. (adaptado)*

O texto revela funções realizadas pela camada hipotérmica (tecido subcutâneo/adiposo). Dentre as alternativas a seguir, assinale a que mostra uma função do tecido adiposo que não está mencionada no texto anterior.

- a) Reserva energética.
- b) Termorregulação (isolante térmico).
- c) Participação de mecanismos de sensibilidade/resistência à insulina.
- d) Armazenamento de lipídios.
- e) Local de solubilidade das vitaminas do complexo B.

11. A deficiência de ácido ascórbico (vitamina C) causa o escorbuto, doença que representa uma degeneração generalizada no tecido conjuntivo. Na falta de vitamina C, os fibroblastos param de sintetizar colágeno, de modo que as fibras destruídas não são substituídas. O ácido ascórbico é um cofator das enzimas prolina-hidroxilase e lisina-hidroxilase, essenciais para a síntese do colágeno.

*JUNQUEIRA, Luiz Carlos; CARNEIRO, José. Histologia básica. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995. p. 92. (adaptado)*

De acordo com o texto, é correto dizer que

- a) os fibroblastos são responsáveis pela síntese da vitamina C no tecido conjuntivo.
- b) o escorbuto nada tem a ver com as fibras do tecido conjuntivo.
- c) a síntese do colágeno depende da ação da enzima colagenase.
- d) no escorbuto, ocorre aumento do número de fibroblastos.
- e) a deficiência de vitamina C impede a síntese de colágeno pelos fibroblastos.

12. Analise as afirmações a seguir.

- I. As principais características dos tecidos conjuntivos são a grande variedade de células e a presença de grande quantidade de material intercelular secretado pelas células.
- II. A defesa do organismo contra agentes estranhos depende fundamentalmente de dois tipos de células conjuntivas: os macrófagos e os plasmócitos.
- III. No tecido conjuntivo, a substância intersticial compreende uma parte amorfa, gelatinosa, e uma fibrosa, podendo-se distinguir três tipos de fibras: elásticas, colágenas e reticulares.

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas I e III.
- d) apenas II e III.
- e) I, II e III.

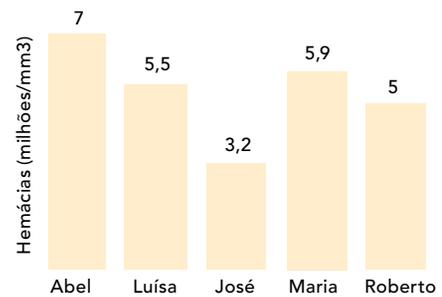
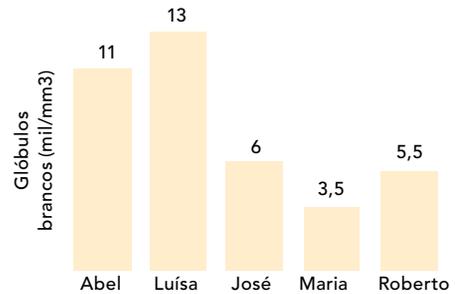
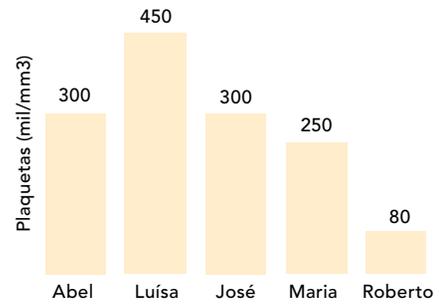
13. O osso, apesar da aparente dureza, é considerado um tecido plástico, em vista da constante renovação de sua matriz. Utilizando-se dessa propriedade, ortodontistas corrigem as posições dos dentes, ortopedistas orientam as consolidações de fraturas e fisioterapeutas corrigem defeitos ósseos decorrentes de posturas inadequadas. A matriz dos ossos tem uma parte orgânica proteica constituída principalmente por colágeno, e uma parte inorgânica constituída por cristais de fosfato de cálcio, na forma de hidroxiapatita.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre tecido ósseo, é correto afirmar que

- a) a matriz óssea tem um caráter de plasticidade em razão da presença de grande quantidade de água associada aos cristais de hidroxiapatita.
- b) a plasticidade do tecido ósseo é resultante da capacidade de reabsorção e de síntese de nova matriz orgânica pelas células ósseas.
- c) o tecido ósseo é considerado plástico em decorrência da consistência gelatinosa da proteína colágeno que lhe confere alta compressibilidade.
- d) a plasticidade do tecido ósseo, por decorrer da substituição do colágeno, aumenta progressivamente ao longo da vida de um indivíduo.
- e) a matriz óssea é denominada plástica porque os ossos são os vestígios mais duradouros que permanecem após a morte do indivíduo.

14. (ENEM) O hemograma é um exame laboratorial que informa o número de hemácias, de glóbulos brancos e de plaquetas presentes no sangue. A tabela a seguir apresenta os valores considerados normais para adultos. Os gráficos mostram os resultados do hemograma de 5 estudantes adultos. Todos os resultados são expressos em número de elementos/mm<sup>3</sup> de sangue.

	Valores normais para adultos
Hemácias	4,5 a 5,9 milhões/mm <sup>3</sup>
Glóbulos brancos	5 a 10 mil/mm <sup>3</sup>
Plaquetas	200 a 400 mil/mm <sup>3</sup>



Podem estar ocorrendo deficiências no sistema de defesa do organismo, prejuízos no transporte de gases respiratórios e alterações no processo de coagulação sanguínea, respectivamente, com os estudantes

- a) Maria, José e Roberto.
- b) Roberto, José e Abel.
- c) Maria, Luísa e Roberto.
- d) Roberto, Maria e Luísa.
- e) Luísa, Roberto e Abel.

15. O tecido cartilaginoso pode ser encontrado na orelha, no nariz, na traqueia e nas articulações e possui algumas características que são comuns aos demais tecidos conjuntivos. Analise as proposições a seguir quanto ao tecido cartilaginoso.

- I. As células jovens do tecido cartilaginoso são chamadas de condroblastos, e as células adultas, de condrocitos.
- II. As fibras colágenas e as fibras elásticas, em associação com proteínas e carboidratos, conferem consistência e flexibilidade ao tecido.
- III. O tecido cartilaginoso adulto é calcificado e apresenta os canais de Havers, responsáveis pela nutrição das células.
- IV. A abundância de glândulas mucosas, nervos e vasos sanguíneos permite a fácil regeneração deste tecido.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- Todas as afirmativas são verdadeiras.

16. Um adulto do sexo masculino dá entrada no ambulatório do Hospital Universitário apresentando quadro clínico de hipertermia inicialmente abrupta, seguida de cefaleia, mialgia, prostração, artralgia, anorexia, astenia, dor retro-orbital, náuseas, vômitos, exantema e prurido cutâneo. Manifestações de petéquias, epistaxe, gengivorragia, sangramento gastrointestinal, hematúria e metrorragia também foram observadas. O exame hematológico solicitado apresentou o seguinte resultado.

Hemograma	Valores do paciente	Valores de referência
Hemácias	3,8 milhões/mm <sup>3</sup>	4,7-6,1 milhões/mm <sup>3</sup>
Hemoglobina	12,9 g/dl	14-18 g/dl
Hematócrito	60%	42-52%
Leucócitos	3 199/mm <sup>3</sup>	4 000-10 000/mm <sup>3</sup>
Plaquetas	70 000/mm <sup>3</sup>	150 000-450 000/mm <sup>3</sup>

Ao paciente, foram feitas as seguintes recomendações.

- Para atenuar as dores e a febre, evitar medicamentos à base de ácido acetilsalicílico (AAS, aspirina).
- Os anti-inflamatórios (diclofenaco, ibuprofeno, nimesulida) não devem ser utilizados como antitérmicos pelo risco de efeitos colaterais, como hemorragias digestivas.
- O paciente deve ser internado imediatamente para correção rápida de volume de líquidos perdidos e da acidose por via oral e endovenosa.

Na avaliação geral desse quadro clínico, o paciente apresenta um quadro viral confirmado para

- sarampo.
- febre amarela.
- dengue hemorrágica.
- HIV.
- dengue tipo 1.

17. (ENEM) Do veneno de serpentes como a jararaca e a cascavel, pesquisadores brasileiros obtiveram um adesivo cirúrgico testado com sucesso em aplicações como colagem de pele, nervos, gengivas e na cicatrização de úlceras venosas, entre outras. A cola é baseada no mesmo princípio natural da coagulação do sangue. Os produtos já disponíveis no mercado utilizam fibrinogênio humano e trombina bovina.

Nessa nova formulação são utilizados fibrinogênios de búfalos e trombina de serpentes. A substituição da trombina

bovina pela de cascavel mostrou, em testes, ser uma escolha altamente eficaz na cicatrização de tecidos.

ERENO, Dinorah. Veneno que cola: enzima substitui sutura tradicional sem deixar cicatrizes. *Pesquisa FAPESP*, n. 158, abr. 2009. (adaptado)

A principal vantagem deste novo produto biotecnológico é

- estar isento de contaminações por vírus humanos e permitir uma coagulação segura, ou seja, a transformação do fibrinogênio em fibrina.
- estimular o sistema imunológico a produzir anticorpos que irão transformar as moléculas de protrombina em trombina com a participação de íons cálcio.
- evitar rejeições pelos pacientes que utilizam essa técnica e, desta forma, transformar eficientemente a trombina em protrombina, responsáveis pela coagulação.
- aumentar a formação do tampão plaquetário, uma vez que a trombina é uma enzima que transforma a fibrina em fibrinogênio que estimula a produção de plaquetas.
- esterilizar os locais em que é aplicado graças à ação antibiótica da trombina e o aumento da síntese dos fatores de coagulação no fígado com a participação dos íons potássio.

18. O quadro a seguir refere-se ao número de células sanguíneas, expresso em células/mm<sup>3</sup>, encontradas nos exames de sangue de um indivíduo normal e de um indivíduo doente.

Células sanguíneas	Indivíduo normal	Indivíduo doente	
<b>Hemácias</b>	4 500 000	4 800 000	
<b>Plaquetas</b>	250 000	100 000	
<b>Leucócitos</b>	<b>Totais</b>	8 000	15 000
	<b>Neutrófilos (%)</b>	4 800 (60%)	12 000 (80%)
	<b>Basófilos (%)</b>	80 (1%)	150 (1%)
	<b>Eosinófilos (%)</b>	240 (3%)	1 050 (7%)
	<b>Linfócitos (%)</b>	2 400 (29%)	1 500 (10%)
	<b>Monócitos (%)</b>	560 (7%)	300 (2%)

Entre as possíveis alterações apresentadas pelo indivíduo doente, pode-se incluir

- alergia, resultante do aumento do número de hemácias.
- anemia, pois o hemograma apresentou alterações dos leucócitos.
- distúrbio da coagulação, já que o indivíduo doente possui queda de plaquetas.
- leucemia, pois o quadro clínico apresentado revelou queda de glóbulos brancos.
- dengue, relatada pelo aumento dos trombócitos.

## Neste livro:

<b>Módulo 1:</b> O método científico; A origem da vida.....	105
<b>Módulo 2:</b> Classificação dos seres vivos; Reino Plantae e grandes grupos vegetais.....	117
<b>Módulo 3:</b> Reprodução vegetal – Briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.....	134

Origem e evolução da vida

Módulo

1

## O método científico; A origem da vida

C

4

H

15,16

## O método científico

A Biologia (do grego *bios*, vida; *logos*, tratado sobre) é uma ciência de exploração ampla, que trabalha para conhecer, desvendar e descrever todos os seres vivos, bem como os processos naturais que regem a vida. Nesse campo, ela procura reconhecer e investigar a origem dos seres vivos na Terra e todas as transformações ocorridas até hoje, com uma análise evolutiva do presente, além de estabelecer atitudes para manter o equilíbrio do ambiente no futuro.

Durante muitos anos, vários fenômenos eram considerados grandes mistérios, como o metabolismo de uma célula, a bioluminescência de um vaga-lume, o aspecto multicolorido das flores, as interações estabelecidas entre as espécies, os genes que garantem a hereditariedade etc. Após a realização de estudos sobre esses fenômenos, a Biologia continua a descobrir soluções para os mais complexos desafios que envolvem os seres vivos.

## O conceito de vida

Várias explanações foram feitas para se conceituar a vida. Para o físico Erwin Schrödinger, o estudo da parte mais importante de uma célula viva, o cromossomo, descreveria, de um modo geral, os diversos aspectos da vida. Para Richard Dawkins, a vida corresponde a um conjunto de fatores complexos que dão a impressão de ter um *design* intencional, enquanto os fenômenos físicos seriam algo simples que não nos incitam a invocar um *design* deliberado.

A verdade é que não será encontrada uma definição única para a vida. Ela pode significar o período entre o nascimento e a morte de um organismo, assim como as manifestações de processos que animam a existência de qualquer ser vivente.

Pode-se compreender a vida como a enumeração de suas diferentes manifestações em organismos, tais como a absorção de substâncias ou de energia do meio ambiente, metabolismo, multiplicação e crescimento, mobilidade ou excitabilidade, tornando-a objeto de estudo da Biologia.

Dessa forma, é possível observar a manifestação de determinada vida quando se observa a exuberância da natureza e de seus aspectos comportamentais. Considere, por exemplo, o comportamento dos coiotes silvestres da Nova Inglaterra (região nordeste dos Estados Unidos), uivando de forma macabra nas noites de inverno. Esses predadores têm medo dos seres humanos, por isso, raramente são vistos. Na neve, como seria

possível diferenciar as pegadas de coiotes das de seus primos, os cães domésticos? Mesmo analisando de perto, seria difícil. Mas as garras dos cães tendem a ser mais longas, já que eles passam pouco tempo cavando. De longe, verifica-se que as pegadas de um coioote seguem uma extraordinária linha reta e em fila única, com as patas traseiras em alinhamento quase perfeito com as dianteiras; enquanto a trilha de um cachorro é desordenada, visto que o cachorro satisfaz qualquer desejo curioso ao longo do caminho. O cachorro é bem tratado e sabe que receberá alimento do dono, enquanto o coioote tem seus métodos de locomoção otimizados para obter eficiência, conservando cada caloria para a tarefa mais fundamental: a sobrevivência.

O estudo de coiotes e de cachorros revela algumas características que os divergem em comportamentos, mas, certamente, as semelhanças são mais visíveis que as diferenças entre essas espécies. E quanto à origem do Universo e do Sistema Solar? Quais são as hipóteses? Algumas ideias serão vistas adiante.

## Metodologia científica

[...] O objeto de minha admiração estava em pé sob uma árvore e se voltava para todos os pontos cardeais, como damas que querem ser admiradas costumam fazer. De repente, meu olhar pousou em um sextante e veio-me uma ideia brilhante. Pus-me a realizar uma série de observações de sua figura, em cada direção, para cima e para baixo, na transversal, diagonalmente, e fui registrando tudo com cuidado em um esboço a fim de não cometer nenhum erro. Em seguida, atrevi-me a pegar uma trena e medir a distância que nos separava. Assim, de posse tanto do vértice como dos ângulos, calculei os resultados por trigonometria e logaritmos [...].

Francis Galton

Todo esse cálculo de Francis Galton, em 1851, para desvendar as medidas exuberantes de uma mulher que ele avistara, revela a falta de limites estabelecida por um homem da ciência para obter dados para suas pesquisas. Galton, que era amigo e primo de Charles Darwin (1809-1882), cruzou o sudoeste da África em uma expedição que, entre outros objetivos, visava obter números da anatomia das mulheres namas, nativas da região. Como se sentia intimidado a pedir para medi-las, optou por desenvolver outra metodologia, descrita anteriormente na citação. Galton buscava evidências de que as características eram resultado de heranças genéticas específicas.

Assim, verifica-se que o mesmo sentimento que envolveu Galton nesse trabalho foi, também, o de Isaac Newton (1642-1727) no episódio da maçã que se desprendeu da macieira e caiu em sua cabeça, ou seja, o sentimento de curiosidade em entender um fenômeno.

O desenvolvimento da ciência sempre partiu da curiosidade dos cientistas em encontrar respostas e explicações que ligassem fatos aparentemente não relacionados, levando-os a desenvolver métodos científicos que resultariam em confirmações ou negações de suas ideias pré-formuladas.

No dia a dia, por muitas vezes, as pessoas colocam a metodologia científica em prática e não se dão conta de que são verdadeiros pesquisadores de um mundo cotidiano. Ao formular uma pergunta, estão se colocando diante de um problema a ser solucionado. Todo o seu conhecimento acerca da situação os ajuda a lançar mão de um palpite. Na ciência, esse palpite denomina-se **hipótese**.

No entanto, uma hipótese científica não corresponde a um palpite sem fundamento, mas a uma série de observações e de conhecimentos já existentes sobre o problema. A única condição para que uma hipótese seja considerada plausível é a de que ela possa ser testada. Com isso, o cientista elabora uma série de deduções e segue para os experimentos.

Ao realizar experimentos controlados, observações ou mesmo simulações matemáticas, o pesquisador reunirá dados que confirmarão ou não sua hipótese. Se não houver confirmação, ele abandonará a hipótese, refutando-a ou modificando-a para novos testes. Em caso de confirmação, a hipótese ganhará credibilidade e passará a ser aceita, até que surjam novos motivos para contestá-la.

## Etapas

- Observar fatos que levem ao despertar da curiosidade, estabelecendo uma problematização.
- Formular uma hipótese com base nas informações já existentes sobre o assunto.
- Desenvolver experimentos controlados, observações ou simulações matemáticas (testar hipóteses).
- Coletar dados e avaliar o resultado dos experimentos.
- Conclusão sobre a validade ou não da hipótese.



## Hipóteses, teorias e leis

O método científico estabelece que toda problematização tem início com a observação. A partir daí, cria-se, apoiando-se no pensamento indutivo, uma **hipótese** para passar por experimentos que vão reforçá-la ou refutá-la.

Quando uma hipótese reúne um número considerável de evidências, obtidas por um grande número de pesquisadores independentes, ela pode ser promovida à **lei** ou ajudar a compor uma **teoria**.

Uma lei, para a ciência, é um estatuto que explica de forma simples e concisa (por isso, geralmente, é enunciada de maneira matemática) um fato bem estabelecido pela ciência, com hipóteses amplamente testadas e validadas. É o estabelecimento descritivo de um fenômeno que se repete com regularidade.

A teoria científica corresponde a um conjunto de ideias apoiadas pelo conhecimento científico, estabelecendo explicações de fenômenos naturais relacionados, o que permite fazer previsões sobre eles. É curioso porque os termos **teoria** e **lei** têm significados diferentes no cotidiano, e as pessoas leigas tendem a considerar erroneamente que as teorias são menos formais ou menos válidas do que as leis. Uma teoria é tão consistente quanto uma lei. Aquilo que as diferencia é apenas o escopo e a abrangência de cada uma, não sua validade.

Uma lei científica nada mais é que um estado de repouso do conhecimento, uma vez que todas as verdades científicas passam por revisões e críticas, com introduções de novos desafios e possibilidades de descobertas.

Como pode ser observado, o conceito de lei refere-se a um fenômeno natural de ocorrência constante em dadas condições (como a Lei da Gravitação Universal, que afirma que dois corpos se atraem por meio de uma força que depende de suas massas e da distância entre eles), enquanto a teoria explica, cientificamente, a validação dessa lei. Como a lei é um fenômeno, possui caráter imutável. No entanto, a teoria é passível de mudanças a partir de novas descobertas.

## A Teoria do Big Bang

Os astrônomos Melvin Slipher e Edwin P. Hubble realizaram observações do céu, por meio de potentes telescópios, as quais mostraram que as galáxias estão se afastando umas das outras, o que reforça a ideia de que o Universo se encontra em expansão. Conforme essa teoria, pode-se concluir que, no passado, as galáxias estavam mais próximas umas das outras do que atualmente.

Cientistas afirmam que teria existido um momento em que todos os componentes do Universo estariam em um só ponto.

Georges Lemaître e George Gamow acreditavam que o Universo teria surgido a partir de um grão primordial de significativa densidade que, por razões ainda desconhecidas, teria começado a se expandir, originando, assim, o espaço, o tempo e toda a matéria e energia existente. Esse evento, conhecido como Big Bang (“grande explosão”, em inglês), teria ocorrido há cerca de 13,7 bilhões de anos.

Como já mencionada, a principal evidência que fortalece essa hipótese são as observações de galáxias em expansão realizadas por equipamentos de elevada sofisticação, como os potentes telescópios.

Os cientistas acreditam que as fronteiras do Universo também se expandiram como consequência da grande explosão inicial, e que esse processo continua até hoje.

Stephen Hawking, físico renomado, diz que o fato mais óbvio sobre o espaço é que ele continua se expandindo progressivamente.

### A Lei de Hubble

Ao analisar a luz de outras galáxias, Edwin Hubble descobriu, na década de 1920, que quase todas as galáxias estão se afastando a uma velocidade  $v$  proporcional à sua distância  $R$  da Terra, de modo que:

$$v = H \cdot R$$

Essa importante observação, conhecida como Lei de Hubble, estabeleceu que o Universo está se expandindo, em uma constante  $H$ , de Hubble, fixando a taxa de expansão.

Dessa forma, pode-se concluir que, quanto mais distante a galáxia se encontra da Terra, maior é sua velocidade de expansão.

Essa foi uma das mais extraordinárias descobertas do século XX, pois, com base na informação de expansão das galáxias, atualmente, é possível estimar que elas estiveram muito próximas umas das outras, há cerca de 10 a 15 bilhões de anos.

## A origem da vida

As coisas boas não acontecem por acaso. Em seu livro *Quebrando o encanto*, Daniel C. Dennett afirma:

[...] Há golpes de sorte, mas manter uma coisa boa não é apenas sorte. Pode ser que Deus se assegure de que as coisas boas aconteçam e se mantenham quando, sem a intervenção de Deus, aconteceria o contrário. Mas qualquer dessas visões terá de esperar sua hora, pelo mesmo motivo pelo qual os pesquisadores de câncer não estão dispostos a tratar remissões inesperadas apenas como “milagres” que não precisam ser mais explorados. Que conjunto natural de processos, não milagroso, poderia produzir e manter esse fenômeno que é tão valorizado? A única maneira de considerar seriamente a hipótese dos milagres seria excluir as alternativas não milagrosas [...]

Assim, a busca pela origem por meio de fenômenos naturais seria uma alternativa racionalista proposta pela ciência. No entanto, entender o surgimento dos seres vivos como uma criação divina é outra opção permitida pelo livre pensar do ser humano. Espera-se que as controvérsias sirvam para abrigar mentes em processo de crescimento e intelectualidade. Pois, como disse Einstein, “uma mente que se abre a novas ideias jamais volta ao seu tamanho original”.

## Abiogênese × biogênese

Nos mais antigos registros da história da humanidade, encontram-se documentos que relatam as inquietações do ser humano ao refletir sobre a origem da vida. Nessa data, a ideia que sempre será referenciada é a de que a vida surgiu da matéria inanimada, proposta conhecida como **abiogênese** ou **geração espontânea**.

A geração espontânea foi aceita, entre outros, pelo filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.). Tendo observado que, muitas vezes, o material úmido era rapidamente povoado por organismos, concluiu que a explicação para o evento seria o surgimento desses organismos a partir da matéria inanimada.

Anterior às ideias de Aristóteles, Anaximandro de Mileto (610-547 a.C.) e Empédocles de Agrigento (492-430 a.C.), já se admitia a possibilidade do surgimento da vida por meio de uma explicação espontânea de geração. Assim, verifica-se que o potencial de observação e de abstração dos primeiros filósofos influenciou o pensamento a respeito das ideias iniciais sobre como a vida poderia ter surgido.

A influência de Aristóteles sobre a cultura e o pensamento ocidental permitiu que cientistas do período renascentista, como o francês René Descartes (1596-1650) e o inglês Isaac Newton (1642-1727), admitissem concordar com as ideias da abiogênese.

A concepção de Aristóteles também influenciou personalidades como o médico Jan Baptista van Helmont (1580-1644), fisiologista, que chegou a propor receitas de como produzir vida de forma espontânea. Ele afirmou: “[...] colocam-se, em um canto sossegado e pouco iluminado, camisas sujas. Sobre elas, espalham-se grãos de trigo, e o resultado será que, em vinte e um dias, surgirão ratos [...]”. Verifique que a confiança de Helmont na geração espontânea se confirma na precisão dos dias para o aparecimento de vida. Essa mesma convicção levou-o a desconsiderar a possibilidade de que os ratos pudessem ser atraídos pelo alimento disponível e pelo abrigo tranquilo criado pelo experimento.

As ideias aristotélicas atravessaram todo o período da Idade Média e, por aproximadamente 2 mil anos, não sofreram contestações significativas.

Em meados do século XVII, o médico italiano Francesco Redi (1626-1697) realizou experimentos científicos que apontaram as primeiras contrariedades a respeito da abiogênese. Essas pesquisas mostraram evidências de que seres vivos surgiriam somente por meio da reprodução de sua própria espécie. Esse novo movimento foi intitulado **biogênese**.

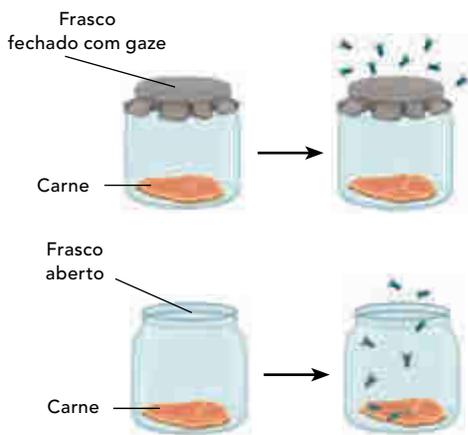


Francesco Redi

## Experimento de Redi

Durante o século XVII, era comum a ideia de que o aparecimento de vermes em cadáveres de animais resultava de transformações espontâneas da carne em decomposição. Redi apresentava-se contrário a essa crença e afirmava que tais estruturas vermiformes correspondiam à fase larval do ciclo vital de moscas, que depositavam seus ovos sobre a carne putrefata. Essa concepção de Redi foi desenvolvida a partir da leitura do poema *Ilíada* – escrito pelo autor grego Homero, que viveu entre os séculos VIII e IX a.C. –, que faz referência a uma conclusão antiga dos gregos de que as larvas eram resultado de ovos depositados nos cadáveres. Essa afirmação encontra-se argumentada no canto XIX da obra de Homero, no qual Aquiles teme que o corpo de Pátroclo se torne presa das moscas. Aquiles pede, ainda, que Tétis proteja o corpo de seu amigo fiel dos insetos que poderiam dar origem a vermes e corromper a carne do morto.

Coube a Redi testar suas crenças por meio de um experimento publicado em seu livro *Experimentos sobre a geração de insetos* (*Experimenta circa generationem insectorum*, em latim). O método empírico consistiu em colocar carne de animais mortos dentro de vários frascos. Alguns desses recipientes mantinham-se hermeticamente fechados com gaze muito fina, enquanto outros permaneceram abertos.



Esquema do experimento de Redi.

Nos recipientes fechados, em que a gaze impedia o contato com o ambiente, não se verificou o aparecimento de vermes; contudo, eles surgiram nos frascos abertos como resultado do livre acesso que as moscas tinham à carne. Assim, a hipótese levantada por Redi se confirmava, e selava-se o primeiro golpe à geração espontânea.

## A descoberta do microscópio

Ainda no século XVII, alheio às discussões sobre a origem da vida, o holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723) criou um aparelho que permite um aumento na resolução de imagens, o microscópio. Utilizando-se de sua própria criação, Leeuwenhoek fez observações daqueles que viriam a se tornar os primeiros micro-organismos visualizados, o que lhe conferiu o título de pai da microbiologia.

Esse marco para as ciências naturais também se tornou um trunfo para revitalizar a teoria da geração espontânea, uma vez que se considerava que organismos tão pequenos, simples e variados não poderiam surgir por meio de reprodução. Assim, até o século XVIII, a maioria das pessoas acreditava que os micro-organismos surgiam por abiogênese.

## Needham × Spallanzani

Em 1745, John Needham (1713-1781) colocou, em diversos frascos, caldos nutritivos que, submetidos à fervura por cerca de 30 minutos, eram depois fechados com uma espécie de rolha. Observava-se que, após alguns dias, o caldo encontrava-se contaminado por uma variedade de micro-organismos. Justificando que a elevada temperatura e o tempo no fogo a que foi submetido o caldo eliminariam todos os micro-organismos anteriormente presentes, Needham defendia que a explicação única para a presença dos micróbios após o experimento seria o surgimento por geração espontânea.

Na tentativa de refutar as conclusões de Needham, o padre italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799), um ferrenho defensor da biogênese, refez os experimentos com oito frascos contendo um caldo nutritivo similar ao utilizado por seu opositor. Quatro recipientes foram vedados também com rolha, uma espécie de trabalho de controle, enquanto os outros tiveram seus gargalos derretidos e vedados com firmeza. Em seguida, ferveu tudo por um período bastante prolongado.

A aparição de micro-organismos nos frascos vedados com rolha e a ausência nos vedados firmemente permitiu a Spallanzani concluir que o tempo de fervura e a vedação utilizada por Needham teriam tornado suas conclusões equivocadas.

Needham ainda contestou o experimento de Spallanzani, alegando que o tempo de aquecimento a que foi exposto o caldo eliminou o "princípio vital" necessário ao processo de geração espontânea.

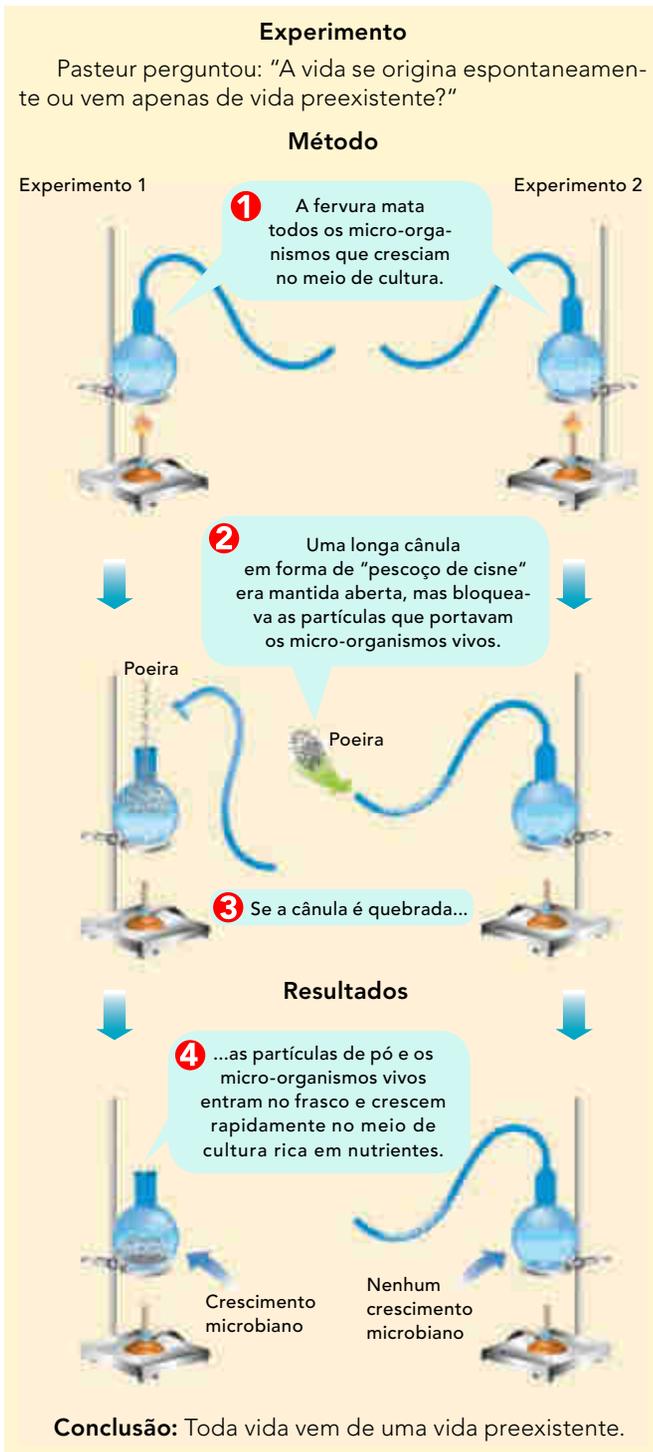
Com isso, a hipótese de abiogênese não foi completamente descartada, entretanto, as ideias de Spallanzani seriam retomadas posteriormente pelo francês Louis Pasteur.

## Louis Pasteur e a biogênese

No seu trabalho publicado em 1862, Louis Pasteur preparou frascos de vidro com um formato peculiar. Para isso, ele os amoleceu aplicando calor, esticou-os e logo em seguida os curvou na forma de "pescoço de cisne". Nesses frascos, foi colocado o caldo nutritivo, que foi aquecido e, em seguida, lentamente esfriado. Pasteur, com isso, verificou que micro-organismos presentes em partículas da atmosfera ficavam retidos nas curvas do gargalo, evitando, assim, a contaminação do caldo nutritivo.

Em nenhum dos experimentos realizados por Pasteur, ocorreu contaminação. O caldo era contaminado por micro-organismos somente quando se quebrava o gargalo dos recipientes.

A hipótese de Pasteur, testada empiricamente, sepultou definitivamente a teoria da geração espontânea. Assim, o cientista francês mostrou que os seres vivos surgem somente de seres vivos: *omne vivum ex vivo*.



## Teorias modernas sobre a origem da vida

### Criação especial ou hipótese do design inteligente

Todas as culturas e sociedades possuem crenças a respeito do surgimento da vida. Egípcios, gregos e hebreus, por exemplo, tinham suas maneiras particulares de explicar a origem da vida. Uma dessas ideias demonstrava a crença de que uma força sobrenatural, onisciente, onipresente e onipotente teria dado origem à vida.



MICHELANGELO. A criação de Adão, 1510. Afresco. Capela Sistina.

Os maiores defensores das ideias de **criação especial** argumentam que os organismos vivos são de tal modo complexos que não poderiam ser frutos de fenômenos naturais. Eles se baseiam na premissa de que um ser complexo é algo cujas partes constituintes encontram-se arranjadas de tal maneira que não seja provável esse arranjo ter ocorrido somente por acaso. O **criacionismo** defende um projeto inteligente elaborado por uma mente (Criador) que estabeleceu um plano de montagem do universo e dos seres vivos que nele habitam. No entanto, como estabelecer o grau de complexidade de algo? Como reconhecê-lo? Em que sentido pode-se dizer que um relógio, um carro, uma minhoca e uma pessoa são complexas, ao passo que a Lua é simples?

O primeiro atributo que poderia ocorrer é que a complexidade de um ser depende da sua heterogeneidade.

Com questionamentos como esses e baseado no livro bíblico do *Gênesis*, o criacionismo ganhou, nos últimos séculos, uma “roupagem” para se enquadrar em algumas descobertas científicas e se tornou o criacionismo “científico”.

A hipótese de criação especial apresenta seis proposições.

- Todas as coisas criadas constituem o produto de um ato único e soberano por parte de um criador (Deus) onisciente, onipotente e pessoal, o qual não depende da sua criação para sua existência nem é parte dela.
- Todas as coisas foram criadas no princípio, de forma completa, com toda a complexidade necessária, com toda a diversidade básica, com uma idade aparente.
- Todo o Universo criado é ainda jovem (criação recente); proposta: milhares de anos.
- O planeta Terra experimentou na sua existência um dilúvio universal recente (catastrofismo).
- Nos organismos vivos, a diversidade dentro das espécies é resultado do processo de microevolução. Contudo, a diversidade de espécies não é produto da macroevolução.
- Existem evidências substanciais na biosfera, acima da biosfera e abaixo da biosfera que comprovam as cinco primeiras proposições da Teoria da Criação Especial.

No livro *Cosmos, Bios, Theos*, cujo texto foi produzido por 60 autores de todo o mundo, Henry Margenau, coeditor e físico da Universidade de Yale, argumenta que: “[...] só há uma resposta convincente para explicar a enorme complexidade e as leis do Universo – a criação por um Deus onisciente e onipotente.”

No entanto, a maioria dos cientistas acadêmicos descarta total e absolutamente essa explicação, alegando, inclusive, que **criacionismo** e **científico** são dois termos incompatíveis.

### Hipótese cosmozoica ou panspermia cósmica

Em uma definição literal, a panspermia consistiria em uma origem a partir de “sementes de todo lugar”. Analisando a hipótese da panspermia, o químico Svante Arrhenius, em 1908,

defendia que a vida teria chegado à Terra em meteoritos e cometas que se chocavam constantemente contra a superfície do planeta. Essa ideia surgiu a partir da constatação de que havia matéria orgânica na composição de meteoritos, inclusive aminoácidos e bases nitrogenadas. Arrhenius acreditava que os primeiros micro-organismos poderiam ter vindo nesses meteoritos.

Essa ideia recebeu inúmeras críticas: “Como sobreviveriam esses micro-organismos nas rigorosas condições do espaço (vácuo, frio extremo, incidência de raios cósmicos e radiação ultravioleta)?”; “Como seria o choque com a atmosfera, devido ao calor a que é submetido até o meteorito se fragmentar e incandescer?”.

Apesar das críticas, os defensores da panspermia possuem argumentos que tornam a ideia, se não provável, pelo menos viável. Por exemplo, em 1996, foi encontrado na Antártida um meteorito marciano contendo possíveis bactérias fossilizadas, o que serve como evidência para alguns pesquisadores que defendem a panspermia como uma alternativa originária da vida.

### Hipótese de evolução química ou pré-biótica

Em 1924, o bioquímico russo Aleksandr I. Oparin (1894-1980) publicou um trabalho com propostas detalhadas sobre a origem da vida, considerando conhecimentos da Química, da Bioquímica e da Biologia da época. Esse trabalho foi considerado como o início das modernas discussões científicas sobre o problema.

Partindo de conhecimentos estabelecidos por Thomas Graham (1805-1869) sobre as características dos colóides (decomposição de grandes moléculas com propriedades viscosas), comparando-os com plasma celular, e sobre a capacidade dos colóides de ligar substâncias na superfície (adsorção), Oparin pensou ter conseguido encontrar indícios para explicar o início do metabolismo.

Em 1929, o biólogo inglês John Burdon S. Haldane (1892-1964) publicou, também, um trabalho em que, de forma independente de Oparin, considerou a homoquiralidade de moléculas como uma descoberta para a origem da vida a partir de uma única célula inicial, surgida espontaneamente.

A origem da vida de forma espontânea está intimamente ligada à origem da homoquiralidade molecular, ou seja, ao fato de toda a composição química da vida no planeta apresentar somente aminoácidos “canhotos”. Esse conceito parte da classificação de quiralidade – o fato de as moléculas de carbono que formam os aminoácidos apresentarem-se em duas versões espelhadas. Uma simples forma de perceber tal fenômeno é olhar para as mãos: apesar de praticamente idênticas, possuem os polegares apontados para lados opostos e os demais dedos obedecem a uma formação invertida em relação aos da outra. O grande enigma da origem da vida é que na Terra primitiva (e nas experiências de laboratório) os aminoácidos aparecem nas duas posições espelhadas, porém a “canhota” é a única utilizada na composição dos seres vivos.

Dessa forma, os conhecimentos dispostos por Oparin e Haldane permitiram formular a **hipótese de evolução gradual dos sistemas químicos**, também conhecida como **evolução química** ou **evolução pré-biótica**.

Essa hipótese admite que a vida resultou de um processo em que gases presentes em uma atmosfera primitiva, desde que satisfeita uma série de situações, teriam originado compostos orgânicos simples (aminoácidos, bases nitrogenadas,

ácidos graxos etc.) que, por sua vez, por meio de reações de síntese por desidratação, teriam produzido polímeros complexos (proteínas, ácidos nucleicos, lipídios etc.). Ao adquirirem capacidade de autoduplicação, metabolismo e hereditariedade, eles constituiriam o que viriam a ser os primeiros seres vivos.

### A Terra primitiva

Como observado, a hipótese defendida pelos modernos teóricos da geração espontânea submetia o planeta primitivo a condições bastante diferentes das encontradas atualmente. Nesse início, a biosfera vivenciava condições turbulentas, temperaturas muito elevadas – a ponto de permitir que rochas sofressem fusão –, um constante bombardeio de asteroides vindos do espaço. Era um cenário de completo catastrofismo.

Dados científicos revelam que aproximadamente  $10^{17}$  toneladas de matéria podem ter sido agregadas à massa do planeta como resultado dessas colisões. Tais colisões diminuíram sua intensidade por volta de 4,2 e 3,8 bilhões de anos atrás.

Esses corpos celestes traziam em sua massa certos volumes de água que, em decorrência do impacto e da temperatura, evaporavam e se acumulavam como vapor-d’água na atmosfera. Esse vapor formava densas nuvens e precipitava-se sob a forma de chuvas. Ao chegar à superfície da Terra, a água, bastante aquecida, voltava a evaporar e retornava à atmosfera, na qual constituía novas nuvens condensadas que provocavam chuvas novamente. Acredita-se que esse processo tenha se repetido por cerca de 500 milhões de anos, favorecendo um lento resfriamento das camadas superficiais de nosso planeta. Assim, foi possível que pequenas quantidades de água, e depois volumes maiores, começassem a se acumular e a constituir, na superfície, os primeiros mares que, certamente, assemelhavam-se a lagos, devido ao reduzido tamanho e à pouca profundidade.

### A atmosfera primitiva

Com base na quantidade de hidrogênio presente no cosmo (cerca de 90%), Harold Urey (1893-1981), químico norte-americano, supôs uma constituição para a composição primitiva de nossa atmosfera, contribuindo positivamente para as postulações sobre essa hipótese.

Oparin, baseando-se em dados geológicos de rochas (analisando rochas de datas antigas), em dados de espectrofotômetros (aparelhos que analisam a composição química de estrelas e de planetas distantes), em dados de materiais expelidos por vulcões e nos trabalhos de Urey, supôs que a atmosfera primitiva da Terra apresentava  $\text{CH}_4$  (metano),  $\text{NH}_3$  (amônia),  $\text{H}_2$  (gás hidrogênio) e  $\text{H}_2\text{O}$  (vapor-d’água). A ausência ou a pequena quantidade de  $\text{O}_2$  livre na atmosfera torna seu comportamento redutor. Dentro dessas características redutoras, conclui-se que a atmosfera primitiva era bastante rica em hidrogênio, metano e amônia. De um ponto de vista termodinâmico, é possível admitir que esse comportamento redutor teria sido fundamental para o surgimento da vida no planeta.

### Caldo primordial

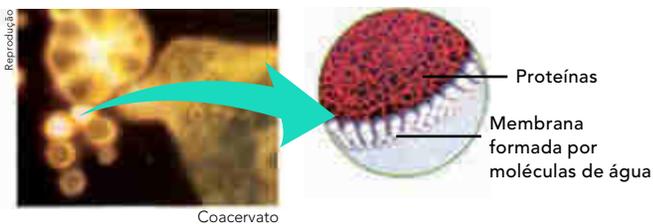
As chuvas constantes permitiam o aparecimento de relâmpagos e a entrada de raios ultravioletas sem filtração (não havia camada de ozônio), o que tornava a Terra um ambiente de tempestades abundantes.

A disponibilidade dessas formas de energia (relâmpagos e raios UV), além das altas temperaturas, parece ter fornecido as condições ideais para que os componentes da atmosfera primitiva tenham sofrido reações e recombinações entre eles. Essas primeiras reações permitiram a formação de compostos orgânicos simples (aminoácidos, açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc.) que ficavam em suspensão na atmosfera até que a chuva os arrastasse, levando-os ao solo quente.

Nas rochas quentes, esses simples monômeros sofriam **polimerização por desidratação intermolecular** (síntese por desidratação), constituindo a formação de complexas moléculas orgânicas (proteínas, ácidos nucleicos, lipídios etc.).

Esses complexos polímeros eram carregados até os mares primitivos, nos quais se acumulavam. A elevada concentração desses compostos nos mares rasos levou Oparin a chamá-los de **sopa** ou **caldo primordial**.

Em um cenário como esse, é provável que tenha surgido o que Oparin chamaria de **coacervatos**, os precursores dos primeiros seres vivos, dos quais descenderiam todas as formas de vida atuais.



### Os experimentos de Miller

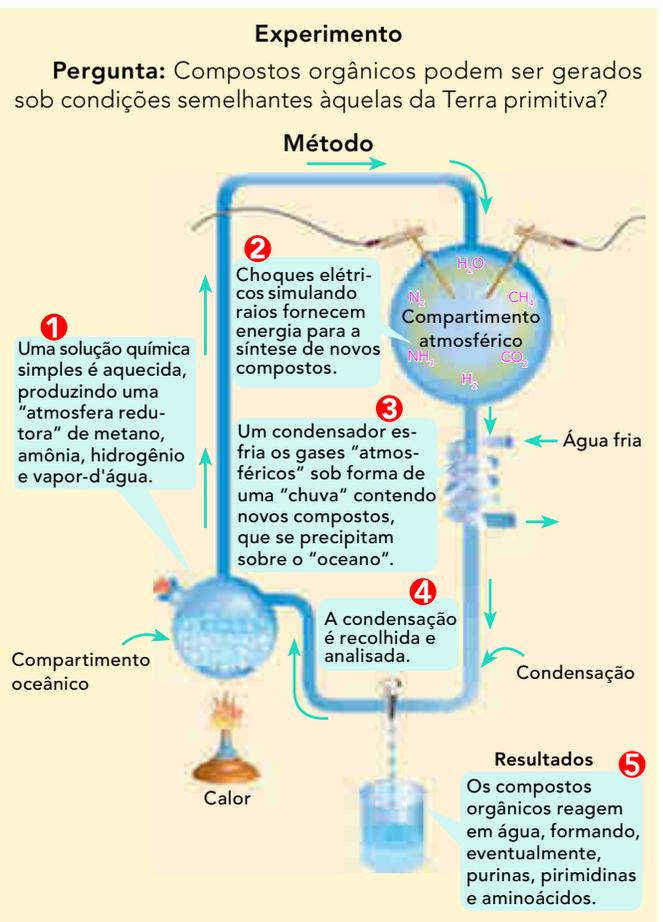
Com um trabalho publicado em 1953, intitulado *Produção de aminoácidos sob condições possíveis da Terra primitiva*, Stanley L. Miller e seu orientador, Harold Urey, deram um impulso decisivo para testar experimentalmente os modelos para o surgimento da vida.

Eles construíram um tubo fechado de vidro, com uma ampola que continha uma mistura dos gases metano, amônia e hidrogênio, simulando a suposta atmosfera primitiva, e uma região abaixo da ampola (no lado oposto), em forma de U, com água aquecida, que levava à formação de vapor-d'água, e descargas elétricas estabelecidas por eletrodos que simulavam os relâmpagos.

Após alguns dias, o material condensado foi recolhido, na forma de uma mistura viscosa e avermelhada. A análise química do resultado possibilitou a identificação de **aminoácidos**, **purinas** e **pirimidinas** (precursores de nucleotídios), além de outros compostos.

A importância desse trabalho é descrita por De Duve em 1994: "Desde que Friedrich Wöhler conseguiu, em 1828, sintetizar a ureia, não houve até hoje nenhum experimento químico comparável que tenha marcado época. Depois do mundo orgânico, agora também o mundo pré-biótico libertou-se do vitalismo e deu entrada no laboratório".

Vale ressaltar que o experimento de Miller não permitiu provar que Oparin estava certo, uma vez que não confirma a composição da atmosfera primitiva e, muito menos, as outras condições favoráveis para a hipótese pré-biótica. Miller, com seus experimentos, mostrou que as ideias defendidas por Oparin eram viáveis, reforçando assim as suposições propostas por esse autor.



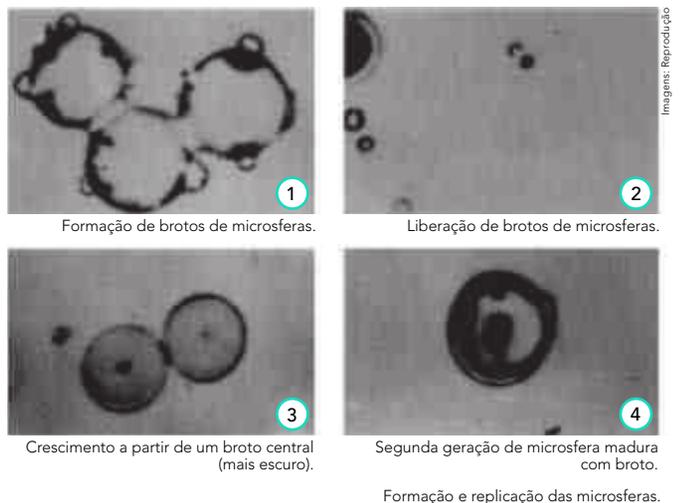
### Polimerização de moléculas orgânicas

Em 1957, Sidney Fox, pesquisador norte-americano, submeteu um conjunto de aminoácidos em solução seca e/ou úmida à ação do calor. Tal experimento objetivou simular as condições das rochas pré-bióticas da Terra primitiva.

Esse método empírico favoreceu o aparecimento de moléculas orgânicas complexas – no caso, polipeptídios –, resultado da polimerização por desidratação.

Em outros experimentos, Fox aqueceu proteínas em água levemente salgada, verificando a formação de agregados proteicos envoltos por camadas de solvatação, chamando-as de **microsféricas**.

As microsféricas corresponderiam aos **protobiontes** existentes na Terra primitiva, precursores da primeira célula.



## O potencial de autorreplacão

O passo fundamental para a consolidação dos protobiontes como unidades vitais seria a capacidade de repassar as informações às gerações seguintes por meio da autorreplacão.

Atualmente, essa função nos seres vivos é de responsabilidade do DNA (ácido desoxirribonucleico), sob a forma de informações químicas em um sistema de codificação armazenado em dupla hélice filamentososa.

Em 1989, o bioquímico norte-americano Thomas R. Cech recebeu o Prêmio Nobel de Química por descobrir, na década de 1980, o poder catalítico da molécula de RNA. Em seu experimento, uma série de reações importantes que ocorrem na célula foi coordenada a partir de RNA. Esse ácido nucleico de fita única foi denominado por ele de **ribozimas**.

Sua pesquisa reacendeu a discussão sobre qual natureza química teria sido a responsável pela hereditariedade dos primeiros seres vivos.

O aspecto favorável à escolha do RNA como responsável pela hereditariedade está no fato de que a molécula, funcionando com poder autocatalítico, dispensaria o auxílio de enzimas em seus processos de autoduplicação. O RNA também apresenta uma instabilidade maior que o DNA devido à sua fita simples, sofrendo mutações mais facilmente e possibilitando uma grande variabilidade. No entanto, as pesquisas ainda não são conclusivas em relação a essa questão.

## Primeiros seres vivos

A descoberta das arqueobactérias veio alimentar certas especulações, segundo as quais esses micro-organismos poderiam constituir modelos adequados para os primeiros sistemas vivos similares a células, criados pelas condições químicas pré-bióticas.

Dos fósseis encontrados, os mais antigos são representantes de dois tipos de seres: bactérias e cianobactérias, ambos procariontes.

Que os primeiros organismos apresentassem uma estrutura procariótica é compreensível e lógico, uma vez que esses seres apresentam natureza mais simples que a dos eucariontes. Quanto a isso, não há debates, já que fósseis de eucariontes antigos datam de 1,7 bilhão de anos.

No entanto, os fósseis de bactérias e de cianobactérias surgiram, aproximadamente, no mesmo período, e apresentam seus comportamentos metabólicos diferentes. Bactérias são, geralmente, heterotróficas, enquanto as cianobactérias realizam metabolismo autotrófico. Essa divergência gera a pergunta: quem surgiu primeiro? Os seres heterótrofos ou os autótrofos?

## Hipótese heterotrófica

A ideia predominante, durante muitas décadas, foi a de que os primeiros seres vivos teriam nutrição heterotrófica. O modelo explicativo para essa hipótese coube, também, a Oparin, e alguns argumentos tornaram-se favoráveis a essas ideias:

- havia uma grande disponibilidade de matéria orgânica nas sopas primordiais, não sendo necessária uma vida metabolicamente autotrófica;
- o processo fotossintético consiste em um evento demasiadamente complexo quando comparado aos processos heterotróficos;
- o processo fotossintético necessitaria de CO<sub>2</sub> como fonte de carbono para a produção de moléculas orgânicas, além de luz solar como fonte de energia. No entanto, não se concebia que existisse CO<sub>2</sub> em quantidades suficientes.

Sabe-se que a atmosfera primitiva tinha comportamento redutor, pois não existia oxigênio livre. Logo, o organismo heterotrófico era também anaeróbio. Seria, portanto, um ser **procarioto**, **heterotrófico** e **anaeróbio** (fermentação).

Segundo a hipótese de que a fermentação seja o metabolismo energético primordial, haveria, portanto, o consumo da matéria orgânica disponível nos mares primitivos e a liberação de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) como subproduto do processo. Com isso, decorrido algum tempo, a atmosfera passaria a se tornar rica em CO<sub>2</sub>, uma vez que a matéria orgânica na sopa primordial diminuiu.

A grande disponibilidade de CO<sub>2</sub> favoreceu seletivamente as linhagens de procariotos que teriam evoluído para captar energia luminosa e produzir sua própria matéria orgânica. Esses organismos teriam sido os primeiros **fotossintetizantes**. O oxigênio liberado pela fotossíntese teria causado um grande impacto ambiental.

A bióloga evolucionista Lynn Margulis acredita que esse precioso gás teria sido um problema para grande parte das formas de vida existentes primitivamente. Isso ocorreria devido aos seres não terem desenvolvido processos que pudessem proteger a célula de seu efeito oxidativo. A morte e provável extinção de uma série de seres vivos, em decorrência desse fenômeno, foi batizada de **holocausto do oxigênio**.

Com o tempo, além de ancestrais procariotos terem desenvolvido sistemas químicos antioxidantes, eles também passaram a utilizar seu poder oxidativo para quebrar compostos orgânicos na obtenção de energia. Assim, surgiram os procariotos, heterotróficos, aeróbios (respiração celular). Atualmente, a respiração celular é o metabolismo predominante nos seres vivos, devido à sua eficiência na obtenção energética.

## Hipótese autotrófica ou quimiolitautotrófica

As fontes termais submarinas, descobertas em 1977, revelaram ecossistemas aquáticos de grande profundidade, nos quais se abrem verdadeiras chaminés vulcânicas no oceano. Elevadas temperaturas geradas pela ação vulcânica entram em contraste com o frio das grandes profundidades oceânicas, criando um ambiente favorável para a ocorrência de reações químicas.

Nesse ambiente, encontra-se a ação quimiossintetizante de arqueobactérias extremófilas (quimiolitautotróficas). A descoberta desses micro-organismos, associados ao inóspito ecossistema em que vivem, permitiu o desenvolvimento de uma hipótese autotrófica para o metabolismo dos primeiros seres vivos.

A **quimiossíntese** consiste na capacidade de gerar as moléculas orgânicas a partir da energia liberada por reações químicas entre componentes inorgânicos da crosta terrestre. Como a quimiossíntese é um processo bem simples, ela teria sido a precursora, seguida da fermentação, da fotossíntese e, por fim, da respiração aeróbica.



## Atividades para sala

1. Ao examinar um fenômeno biológico, um cientista sugere uma explicação para o seu mecanismo, baseando-se na causa e no efeito observados. Esse procedimento
  - a) não faz parte do método científico.
  - b) é denominado formulação de hipóteses.
  - c) deverá ser seguido de uma experimentação.
  - d) deve ser precedido por uma conclusão.
  - e) nunca poderá ser contestado por outro pesquisador.

2. O tema “Teoria da Evolução” tem provocado debates em certos locais dos Estados Unidos da América, com algumas entidades contestando seu ensino nas escolas. Nos últimos tempos, a polêmica está centrada no termo **teoria**, que, no entanto, tem significado bem definido para os cientistas.

Sob o ponto de vista da ciência, teoria é

- sinônimo de lei científica, que descreve regularidades de fenômenos naturais, mas não permite fazer previsões sobre eles.
  - sinônimo de hipótese, ou seja, uma suposição ainda sem comprovação experimental.
  - uma ideia sem base em observação e experimentação, que usa o senso comum para explicar fatos do cotidiano.
  - uma ideia apoiada pelo conhecimento científico, que tenta explicar fenômenos naturais relacionados, permitindo fazer previsões sobre eles.
  - uma ideia apoiada pelo conhecimento científico, que, de tão comprovada pelos cientistas, já é considerada uma verdade incontestável.
3. Até o século XVII, o papel dos espermatozoides na fertilização do óvulo não era reconhecido. O cientista italiano Lazzaro Spallanzani, em 1785, questionou se seria o próprio sêmen, ou simplesmente o vapor dele derivado, a causa do desenvolvimento do óvulo. Do relatório que escreveu a partir de seus estudos sobre a fertilização, foi retirado o seguinte trecho: “[...] para decidir a questão, é importante empregar um meio conveniente que permita separar o vapor da parte figurada do sêmen e fazê-lo de tal modo que os embriões sejam mais ou menos envolvidos pelo vapor.”

Dentre as etapas que constituem o método científico, esse trecho do relatório é um exemplo de

- análise de dados.
  - elaboração de hipótese.
  - coleta de material.
  - planejamento do experimento.
  - compartilhamento das informações por meio de revistas científicas.
4. Observe a imagem e leia o texto a seguir.

### Estudo brasileiro reforça hipótese de que vida na Terra veio do espaço

Pesquisa mostra como bactérias poderiam resistir com facilidade a uma viagem interplanetária, agarradas a micrometeoritos

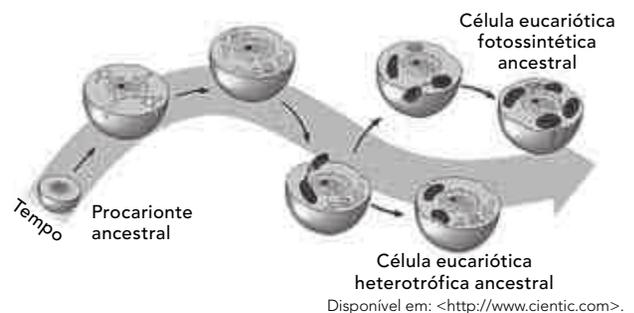


Os resultados, publicados na última edição da revista científica *Planetary and Space Science*, dão suporte à teoria segundo a qual a vida pode não ter se originado na Terra, mas em outro ponto do universo, e caído aqui já pronta, trazida por um cometa, meteorito ou coisa parecida. Para isso, uma forma de vida primordial – representada nos experimentos por bactérias – precisaria sobreviver às intempéries do espaço por milhares ou até milhões de anos, dormente, para então renascer na superfície de algum planeta amigável. Como a Terra.

© Estado de S. Paulo, 6 jun. 2010.

Com base nessas informações, é possível inferir que o pensamento implícito desse estudo reforça a hipótese de

- evolução pré-biótica.
  - panspermia.
  - criacionismo.
  - design inteligente.
  - evolução química.
5. 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
- seres vivos podem ser criados em laboratório.
  - a vida se originou no planeta a partir de micro-organismos.
  - o ser vivo é oriundo da reprodução de outro ser vivo preexistente.
  - seres vermiformes e micro-organismos são evolutivamente aparentados.
  - vermes e micro-organismos são gerados pela matéria existente nos cadáveres e nos caldos nutritivos, respectivamente.
6. Observe a figura que ilustra uma possível explicação, formulada pela pesquisadora Lynn Margulis, em 1981, para o processo de evolução das células eucariontes a partir de um ancestral procarionte.



De acordo com a pesquisadora, o processo evolutivo celular teria ocorrido em função

- da internalização de organelas membranosas, tais como o lisossomo e o complexo golgiense, a partir da simbiose com procariontes.
- do surgimento do núcleo celular a partir da incorporação de organismos primitivos procariontes semelhantes às bactérias.
- do desenvolvimento de organelas membranosas, tais como mitocôndrias e cloroplastos, a partir de invaginações da membrana celular.
- da fagocitose de procariontes aeróbios e fotossintetizantes, originando os eucariontes autótrofos e heterótrofos, respectivamente.
- da formação de membranas internas e, posteriormente, da endossimbiose de ancestrais das mitocôndrias e dos cloroplastos.

**Atividades propostas**

1. [...] Aristóteles estabelecia antes as conclusões, não consultava devidamente a experiência para estabelecimento de suas resoluções e axiomas. E tendo, ao seu arbítrio, assim decidido, submetia a experiência, como a uma escrava, para conformá-la às suas opiniões.

BACON, Francis. *Novum Organum*. Tradução de José Aluysio Reis de Andrade. 4. ed. São Paulo: Nova Cultural, 1988. p. 33.

Com base no texto anterior, assinale a alternativa que apresenta corretamente a interpretação que Bacon fazia da filosofia aristotélica.

- a) A filosofia aristotélica estabeleceu a experiência como o fundamento da ciência.
  - b) Aristóteles consultava a experiência para estabelecer os resultados e axiomas da ciência.
  - c) Aristóteles afirmava que o conhecimento teórico deveria submeter-se, como um escravo, ao conhecimento da experiência.
  - d) Aristóteles desenvolveu uma concepção de filosofia que tem como consequência a desvalorização da experiência.
  - e) Aristóteles valorizava a experiência por considerá-la um caminho seguro para superar a opinião e atingir o conhecimento verdadeiro.
2. O texto a seguir trata sobre parte da história acerca dos estudos de uma enfermidade que ocorre no puerpério, ou seja, no período logo após o parto, daí ser conhecida como febre puerperal.

No século XIX, um médico observou que, nos partos realizados por estudantes e professores de medicina, a incidência de mulheres que contraíam a febre puerperal era maior do que quando o parto era realizado por enfermeiras.

O médico constatou alguns fatos interessantes. Primeiro, que as mulheres que davam a luz em casa quase nunca tinham a doença, diferente do que ocorria no hospital. Segundo, que as enfermeiras, durante o parto, colocavam as mulheres deitadas de lado, enquanto os médicos realizavam o procedimento com as mulheres deitadas de costas. **Com essa informação, o médico achava que dar a luz deitada de costas aumentava o risco de contrair a febre puerperal.**

Para testar sua ideia, convenceu alguns médicos a fazerem os partos com as mulheres deitadas de lado. Depois de algum tempo, percebeu que o procedimento não reduzia a incidência da doença, levando o nosso médico a rejeitar sua ideia inicial. Assim, o médico retomou os estudos e voltou a observar os procedimentos utilizados pelos médicos e estudantes. Ele percebeu que os instrumentos cirúrgicos utilizados nos partos eram os mesmos utilizados para manusear os cadáveres, e que os médicos e estudantes não faziam a higienização das mãos após as aulas de anatomia nem desse instrumentário.

NULAND, Sherwin B. *A peste dos médicos: germes, febre pós-parto e a estranha história de Ignác Semmelweis*. São Paulo: Cia das Letras, 2005.

Analisando o texto em busca de etapas do método científico, pode-se afirmar que o trecho em destaque trata sobre

- a) observação.
- b) formulação de hipóteses.
- c) desenvolvimento de experimentos controlados.
- d) coleta e avaliação de dados.
- e) conclusão.

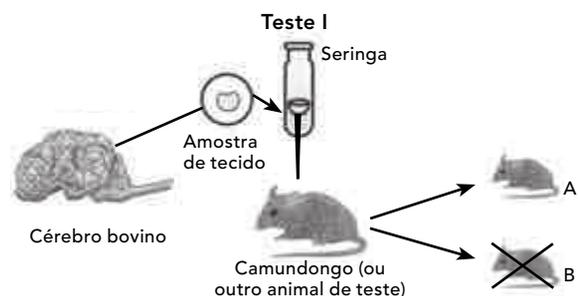
3. (ENEM) A tabela apresenta dados comparados de respostas de brasileiros, norte-americanos e europeus a perguntas relacionadas à compreensão de fatos científicos pelo público leigo. Após cada afirmativa, entre parênteses, aparece se a afirmativa é falsa ou verdadeira. Nas três colunas da direita, aparecem os respectivos percentuais de acertos dos três grupos sobre essas afirmativas.

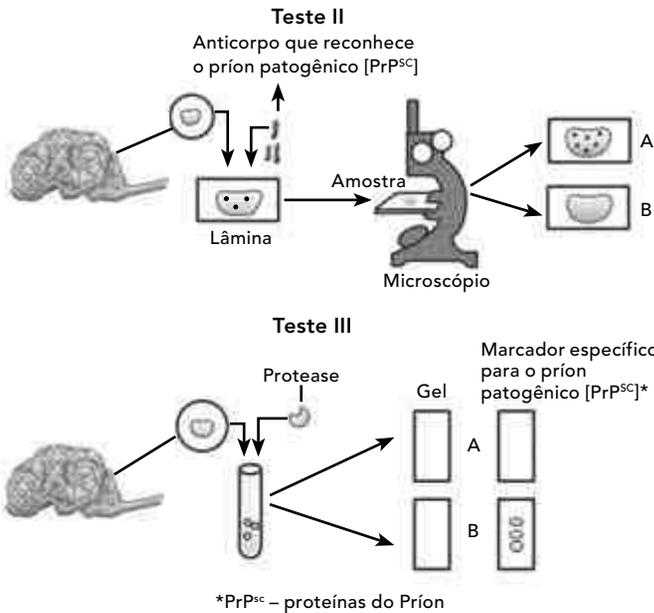
Pesquisa	Respostas certas (%)		
	Brasileiros	Norte-americanos	Europeus
Os antibióticos matam tanto vírus quanto bactérias. (Falsa)	41,8	51,0	39,7
Os continentes têm mudado sua posição no decorrer dos milênios. (Verdadeira)	78,1	79,0	81,8
O <i>Homo sapiens</i> originou-se a partir de uma espécie animal anterior. (Verdadeira)	56,4	53,0	68,6
Os elétrons são menores que os átomos. (Verdadeira)	53,6	48,0	41,3
Os primeiros homens viveram no mesmo período que os dinossauros. (Falsa)	61,2	48,0	59,4

Percepção pública de ciência: uma revisão metodológica e resultados para São Paulo. Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo. São Paulo: Fapesp, 2004. (adaptado)

De acordo com os dados apresentados na tabela, os norte-americanos, em relação aos europeus e aos brasileiros, demonstram melhor compreender o fato científico sobre

- a) a ação dos antibióticos.
  - b) a origem do ser humano.
  - c) os períodos da Pré-História.
  - d) o deslocamento dos continentes.
  - e) o tamanho das partículas atômicas.
4. (ENEM) Três dos quatro tipos de testes atualmente empregados para a detecção de príons patogênicos em tecidos cerebrais de gado morto são mostrados nas figuras a seguir. Uma vez identificado um animal morto infectado, funcionários das agências de saúde pública e fazendeiros podem removê-lo do suprimento alimentar ou rastrear os alimentos infectados que o animal possa ter consumido.





Scientific American Brasil, ago. 2004. (adaptado)

Analisando os testes I, II e III, para a detecção de príons patogênicos, identifique as condições em que os resultados foram positivos para a presença de príons nos três testes.

- Animal A, lâmina B e gel A.
- Animal A, lâmina A e gel B.
- Animal B, lâmina A e gel B.
- Animal B, lâmina B e gel A.
- Animal A, lâmina B e gel B.

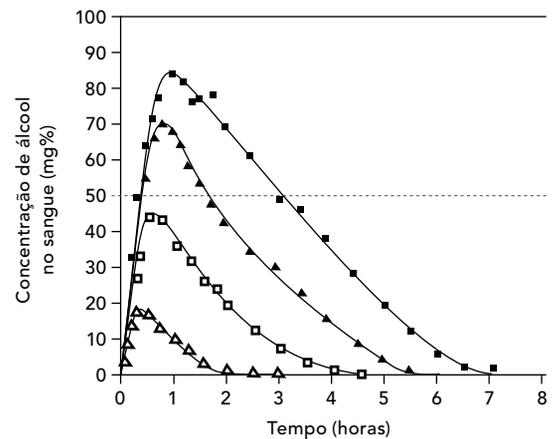
5. Um dos esportes olímpicos mais tradicionais é o salto ornamental em piscina. Nele, o atleta salta do alto de um trampolim visando executar uma trajetória parabólica até atingir a água. Aliado a esse movimento, ele tem de executar outros movimentos, pontuados pelos juízes, como o de encolher momentaneamente braços e pernas de modo que,



além da trajetória parabólica de seu centro de massa, ele passe também a girar seu corpo em torno do seu centro de massa. No final do salto, ele estica novamente os braços e as pernas visando cair de cabeça na água. Essa sequência de movimentos está representada na figura anterior. Comparando o movimento inicial feito pelo atleta, com braços e pernas estendidos, ao movimento realizado com esses membros, dobrados próximo ao tronco, e estabelecendo que há um aumento do momento de inércia do atleta e, portanto, uma diminuição na sua velocidade de rotação, pode-se concluir que está implícito na descrição um conceito de

- lei científica, caracterizada pela conservação do momento angular.
- teoria científica, estabelecida pela ideia de gravitação universal.
- lei científica, concretizada pelo princípio da ação e reação.
- hipótese científica, fortalecida por apresentar caráter imutável e inquestionável.
- experimento, estabelecido pela necessidade de repetição para confirmação e efetiva conclusão da força de atração entre os corpos.

6. (ENEM) Analise a figura.

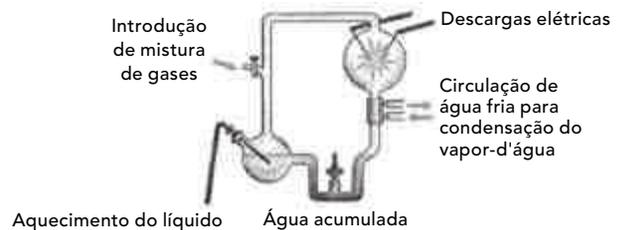


Disponível em: <<http://www.alcoologia.net>>. Acesso em: 15 jul. 2009. (adaptado)

Supondo que seja necessário dar um título para essa figura, a alternativa que melhor traduziria o processo representado seria:

- concentração média de álcool no sangue ao longo do dia.
- variação da frequência da ingestão de álcool ao longo das horas.
- concentração mínima de álcool no sangue a partir de diferentes dosagens.
- estimativa de tempo necessário para metabolizar diferentes quantidades de álcool.
- representação gráfica da distribuição de frequência de álcool em determinada hora do dia.

7.

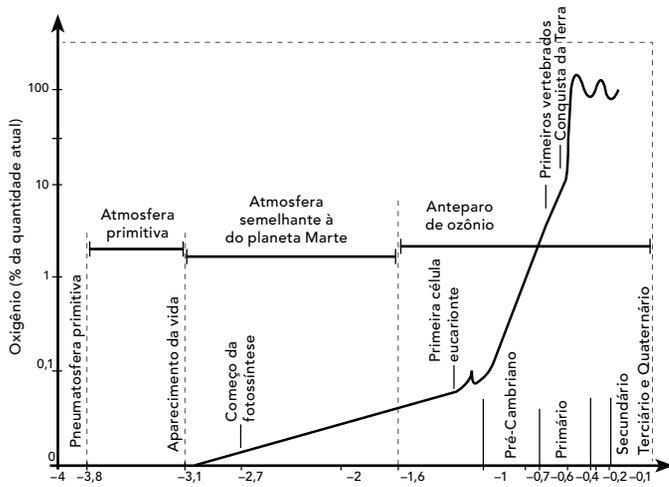


O experimento realizado pelo pesquisador Stanley Miller, no ano de 1953, com a utilização do aparelho que simulava as condições da Terra primitiva, foi de grande importância para a obtenção dos conhecimentos relacionados à origem da vida.

Isso se deve ao fato de o experimento

- simular, de forma precisa, as condições da atmosfera terrestre primitiva, identificando desse modo as moléculas inorgânicas que permitiram o desenvolvimento dos organismos vivos.
- permitir a identificação das moléculas de ácido desoxirribonucleico, moléculas primordiais necessárias à formação dos primeiros seres a habitarem a Terra primitiva.
- demonstrar a possibilidade da síntese de compostos orgânicos sob supostas condições abióticas da Terra primitiva.
- possibilitar a obtenção experimental dos compartimentos delimitados por membranas que, posteriormente, originariam as células eucarióticas.
- comprovar a hipótese naturalista de Oparin e Haldane, que defenderam a formação de moléculas primordiais a partir de uma atmosfera primitiva redutora.

8. (ENEM) O gráfico representa a evolução da quantidade de oxigênio na atmosfera, no curso dos tempos geológicos. O número 100 sugere a quantidade atual de oxigênio na atmosfera, e os demais valores indicam diferentes porcentagens dessa quantidade.



De acordo com o gráfico, é correto afirmar que

- as primeiras formas de vida surgiram na ausência de  $O_2$ .
  - a atmosfera primitiva apresentava 1% de teor de oxigênio.
  - após o início da fotossíntese, o teor de oxigênio na atmosfera manteve-se estável.
  - desde o Pré-Cambriano, a atmosfera mantém os mesmos níveis de teor de oxigênio.
  - na escala evolutiva da vida, quando surgiram os anfíbios, o teor de oxigênio atmosférico já havia se estabilizado.
9. Louis Pasteur ficou conhecido pelos seus experimentos, realizados por volta de 1860, reforçando a hipótese da biogênese, contribuindo, principalmente, para a Microbiologia e Medicina. Sobre suas contribuições, analise as alternativas a seguir.
- Observou, como primeiro cientista, a existência de micro-organismos, que, posteriormente, passaram a ser chamados de bactérias, usando um microscópio de lente simples projetado por ele mesmo.
  - Descobriu que o HIV era transmitido por um agente que não podia ser visto pelo microscópio, revelando assim o mundo dos vírus.
  - Introduziu mudanças nas práticas hospitalares, minimizando a disseminação de doenças provocadas por micróbios.
  - Desenvolveu técnicas para vacinar cachorros contra a raiva e tratar pessoas mordidas por cães contaminados.
  - Descobriu que as mutações são mecanismos que permitem a seleção natural em bactérias e fungos causadores de doenças.
10. A presença das cianobactérias e a dos seus novos mecanismos metabólicos no ambiente primordial da Terra impuseram um profundo impacto na história evolutiva da vida no planeta.

Com base nessa informação, considera-se como um exemplo desse impacto

- a criação de diversos tipos de pigmentos responsáveis pela fixação da luz solar durante o processo de fotossíntese anaeróbica desenvolvida por esses tipos de micro-organismos.
  - a formação de uma espessa camada de ozônio na atmosfera primitiva durante a evolução química da etapa pré-biótica.
  - a extinção em massa de seres anaeróbios por não estarem adaptados a um ambiente oxidativo decorrente do acúmulo de  $O_2$  por meio da fotossíntese aeróbica.
  - o aumento considerável da temperatura das fontes hidrotermais como consequência da intensa combustão gerada pela fotossíntese aeróbica que passa a consumir oxigênio.
  - o desenvolvimento de um novo tipo de fotossíntese que passa a utilizar o  $H_2S$  como doador de hidrogênio ao revolucionar a forma de obtenção de energia realizada pelos seres autótrofos.
11. Charles Darwin, além de postular que os organismos vivos evoluíram pela ação da seleção natural, também considerou a possibilidade de as primeiras formas de vida terem surgido em algum lago tépido do nosso planeta. Entretanto, existem outras hipóteses que tentam explicar como e onde a vida surgiu. Uma delas, a panspermia, sustenta que
- as primeiras formas de vida podem ter surgido nas regiões mais inóspitas da Terra, como as fontes hidrotermais do fundo dos oceanos.
  - compostos orgânicos simples, como os aminoácidos, podem ter sido produzidos de maneira abiótica em vários pontos do planeta Terra.
  - bactérias ancestrais podem ter surgido por toda a Terra, em função dos requisitos mínimos necessários para a sua formação e subsistência.
  - a capacidade de replicação das primeiras moléculas orgânicas foi o que permitiu que elas se difundissem pelos oceanos primitivos da Terra.
  - a vida se originou fora do planeta Terra, a qual foi trazida por meteoritos, cometas ou então pela poeira espacial.
12. Há bilhões de anos, as primeiras células eram nutridas pelo mar onde viviam. À medida que os animais se tornavam mais complexos, com o advento da pluricelularidade, um sistema circulatório evoluiu, servindo aos mesmos propósitos que o mar havia servido para as primeiras células.

AUDESIRK, 1999.

A informação mencionada no texto de que "as primeiras células eram nutridas pelo mar onde viviam" reforça uma hipótese de que os primeiros seres vivos eram

- autotróficos por fotossíntese.
- autotróficos por quimiossíntese.
- heterotróficos por fermentação.
- heterotróficos por respiração aeróbica.
- heterotróficos por respiração anaeróbica.

## Classificação dos seres vivos

Desde os primórdios da história evolutiva, a espécie humana tem compartilhado o planeta com uma gigantesca variedade de organismos. Foi a partir da convivência e da observação dessa biodiversidade que teve início sua exploração para a obtenção de alimentos, a construção de ferramentas, a cura de doenças etc. Portanto, o conhecimento das diferentes espécies de organismos foi e continuará sendo fundamental para a história do ser humano.

Dessa forma, o correto reconhecimento das espécies gerou a necessidade da criação de critérios para classificá-las. As primeiras formas de classificação baseavam-se em detalhes superficiais ou faziam uso de critérios inadequados, o que acabava gerando maior probabilidade de erros na classificação. Esses sistemas eram chamados **sistemas de classificação artificial**. Como exemplos, têm-se o sistema de classificação proposto pelo filósofo grego Aristóteles, que distribuía os organismos em aquáticos, terrestres e aéreos; e o sistema de Santo Agostinho, que classificava os organismos como úteis, nocivos e indiferentes.

O primeiro sistema de classificação mais elaborado e com base científica para agrupar os seres vivos, e que também propôs regras para dar nome a eles (sistema de nomenclatura ou nomenclatura científica), foi criado pelo cientista sueco Carl von Linné (1701-1778), também conhecido como Carolus Linnaeus, ou simplesmente Lineu, em português.

Pelo fato de o sistema de Lineu ser baseado em uma série de padrões anatômicos de organização corporal, ele é considerado um sistema de classificação natural, pois acaba por refletir de maneira mais adequada o grau de parentesco evolutivo entre os mais diferentes seres vivos. Apesar de ser uma técnica de classificação mais eficiente, Lineu não procurava estabelecer parentesco evolutivo entre as espécies, pois ele era adepto da teoria fixista que, ao contrário da teoria evolucionista, defende que os seres vivos foram criados por uma entidade divina, mantendo-se inalterados desde então.

### Taxonomia e sistemática

A parte da Biologia voltada para a identificação, a nomenclatura e a classificação hierárquica dos seres vivos é chamada de **Taxonomia**. Um termo comumente visto em textos relacionados à área da Biologia é o **táxon**, que significa qualquer agrupamento de indivíduos baseado em semelhanças. Portanto, de acordo com os sete grupos básicos de classificação atual, existem, em cada reino, táxons menores denominados **filos**. Já nos filos, tem-se táxons menores, as **classes**, e assim por diante.

Atualmente, a Taxonomia é uma importante ferramenta de um ramo da Biologia conhecido como **Sistemática**, o qual tem como objetivo estudar e compreender a diversidade da vida, evidenciando suas relações de parentesco evolutivo por meio de diagramas chamados **filogenias**, que relacionam a sequência de surgimento das espécies atuais e as relações com seus ancestrais já extintos.

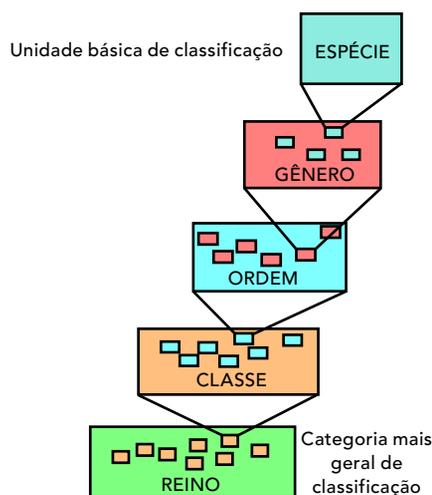
## O sistema de classificação proposto por Lineu

Os princípios utilizados por Lineu em sua classificação dos organismos foram publicados em 1735, na obra intitulada *Sistema natural* (*Systema naturae*). Nessa obra, Lineu apresentou um sistema de classificação biológico baseado na **comparação entre características físicas** (anatômicas) e **semelhanças estruturais** relevantes. Tal critério demonstrou que a utilização de características pouco importantes poderia resultar em uma classificação incorreta, como o fato de animais tão diferentes, como uma mosca e uma ave ou um caranguejo e um tubarão, serem agrupados em uma mesma categoria. Ainda hoje, o sistema proposto por Lineu é utilizado, mas com modificações.

No sistema de classificação proposto por Lineu, os seres vivos foram dispostos em categorias hierárquicas. A unidade básica de classificação era a **espécie**, que, na época, era definida como sendo um grupo de organismos semelhantes ao tipo ideal. Tal definição ainda era baseada no conceito tipológico, que imperava desde o século IV a.C., o qual afirmava que os indivíduos de uma espécie eram cópias imperfeitas de um indivíduo perfeito.

Logo, após o nível básico da espécie, Lineu estabeleceu o agrupamento de espécies semelhantes em um grupo denominado **gênero**. De forma semelhante, gêneros afins foram reunidos formando uma **ordem**. Ordens semelhantes foram agrupadas em **classes**, e classes semelhantes foram unidas constituindo os **reinos**.

Assim, Lineu considerava cinco categorias de classificação, obedecendo à seguinte hierarquia:



Representação esquemática da hierarquia das categorias taxonômicas utilizadas por Lineu.

Com a disseminação do sistema de classificação proposto por Lineu, foi possível agrupar a biodiversidade do planeta de uma forma mais adequada e universalmente aceita pela comunidade científica. A utilização do sistema de nomenclatura de Lineu também possibilitou que os pesquisadores

padronizassem o sistema de nomenclatura dos diferentes seres vivos, independentemente do idioma ou das diferenças nos nomes populares empregados em diferentes regiões de um país.

### O que é uma espécie?

Apesar de a espécie representar a unidade básica da classificação dos seres em processos evolutivos, desde o impacto da teoria evolucionista de Darwin, há um intenso debate entre os biólogos e outros cientistas sobre tal definição. Entre alguns dos principais conceitos de espécie podem ser citados: o biológico, o filogenético, o morfológico ou fenético, o evolutivo, o ecológico, o de reconhecimento, o genealógico e o de coesão. De todos eles, apenas os dois primeiros serão abordados.

O conceito biológico de espécie foi proposto pelos pesquisadores Ernst Mayr (1904-2005) e Theodosius Dobzhansky (1900-1975) e diz que: "Espécie é um grupo de populações cujos indivíduos, em condições naturais, são capazes de se cruzar e de produzir descendentes férteis, estando reprodutivamente isolados de indivíduos de outras espécies". Apesar de esse conceito ser o mais comumente adotado em discussões sobre tal assunto, percebe-se que ele pode ser aplicado apenas para organismos multicelulares e que apresentam reprodução sexuada, o que exclui organismos unicelulares, que se reproduzem assexuadamente, ou mesmo organismos multicelulares, que se reproduzem por partenogênese ou que são conhecidos apenas pelo registro fóssil.

Já o conceito filogenético de espécie foi proposto por George Gaylord (1902-1984) e afirma que: "Espécie é uma linhagem derivada diretamente de uma linhagem única ancestral, com história evolutiva própria e que mantém sua identidade em relação a outras linhagens equivalentes". Apesar de não se basear no critério reprodutivo, como ocorre no conceito biológico, existe uma grande dificuldade de uso do conceito filogenético pela grande complexidade envolvida no processo de identificar com exatidão a ancestralidade e a história evolutiva típica de uma espécie.

Apesar de não se entender muito bem o significado do termo **espécie**, o que pode gerar essa enxurrada de diferentes definições, tal conceito é fundamental para a Biologia. Isso garante que muitas discussões sobre o tema ainda ocorrerão antes de haver um consenso sobre o que realmente é uma espécie.

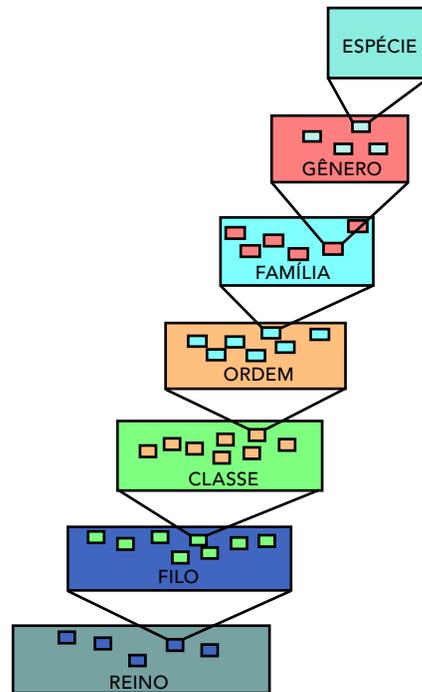
## As diferentes categorias na classificação atual dos seres vivos

Como foi visto, Lineu desenvolveu um sistema hierárquico de classificação que tornou possível organizar os seres vivos em uma série crescente de grupos. As principais categorias ou grupos de indivíduos, também chamados de **táxons**, utilizados por ele foram: espécie, gênero, ordem, classe e reino. Entretanto, desde a época de Lineu, esses grupos foram ampliados consideravelmente e novos níveis hierárquicos foram criados.

As modificações no sistema proposto por Lineu ocorreram devido à aceitação das ideias evolutivas. Com esses novos conceitos, a organização da diversidade biológica foi sendo alterada para tentar apresentar a verdadeira história evolutiva de cada grupo. Em razão disso, começou a ser observado que espécies de um mesmo gênero são mais aparentadas entre si do que espécies de gêneros diferentes. Da

mesma forma, gêneros inseridos em uma mesma família são mais aparentados entre si do que gêneros de famílias diferentes, e assim sucessivamente. Essa forma de classificação mostra claramente as correlações evolutivas existentes entre as mais diferentes formas de vida, ou seja, demonstra sua **filogenia**.

Ainda hoje, as categorias taxonômicas propostas por Lineu são mantidas, tendo sido acrescentados mais dois grupos: o **filó** e a **família**. Tais alterações resultaram em sete categorias hierárquicas, segundo os Códigos Internacionais de Nomenclatura Zoológica e Botânica.



Representação esquemática da hierarquia das categorias taxonômicas utilizadas atualmente. No novo grupo denominado filó, encontram-se agrupados os indivíduos de classes semelhantes. Já na família, têm-se reunidos os gêneros que apresentam semelhanças quanto a características importantes.

Ainda é possível subdividir mais esses sete grupos taxonômicos, originando outros sete táxons (superclasse, subclasse, infraclasse, superordem, subordem etc.) para qualquer grupo de organismos. Hoje, tem-se mais de 30 grupos taxonômicos diferentes. Tal quantidade, apesar de originar um sistema complexo, é necessária para expressar os diferentes graus de parentesco de grupos de organismos grandes e diversificados, como é o caso dos insetos e dos peixes.

Lineu e outros naturalistas anteriores a ele adotavam um sistema de classificação com três reinos: o mineral, o vegetal e o animal. Mas, apesar de, naquela época, esse sistema ter sido aceito, todo o conhecimento gerado por essa nova área denominada Biologia comprovou que ele era insustentável e que outras propostas de agrupamento dos seres vivos surgiram, deixando de lado a relação direta entre seres vivos e matéria inanimada (reino mineral). Entre eles, destaca-se o sistema de classificação natural proposto por Ernst Haeckel (1834-1919) em 1886. Seu sistema apresentava três reinos: animal, vegetal e protista, sendo este último grupo formado por organismos que tinham tanto características de animais quanto de plantas. Ficaram então dúvidas quanto à correta classificação das bactérias e dos fungos.

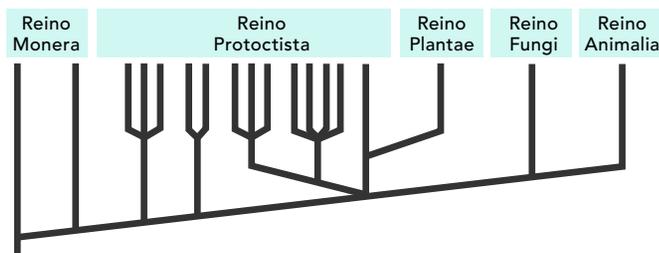
Com o aperfeiçoamento do microscópio e de várias técnicas de estudo dos seres vivos, tornou-se óbvio que muitos organismos não se encaixavam em nenhum desses reinos,

como é o caso das bactérias, que são organismos unicelulares e procariontes. Surgiu, então, um novo sistema de classificação, que agrupava os organismos em quatro reinos: Monera (bactérias e cianofíceas), Protocista (demais algas, protozoários e fungos), Plantae ou Metaphyta (desde briófitas até as angiospermas) e Animalia ou Metazoa (desde espongiários até mamíferos).

Somente em 1969, o botânico norte-americano Robert H. Whittaker (1924-1980), utilizando as novas evidências providas pela bioquímica, pela genética e pela evolução, desenvolveu um sistema de cinco reinos: Monera, Protocista, Fungi, Plantae e Animalia.

Hoje, o sistema de classificação de maior aceitação pela comunidade científica possui duas bases: a evolutiva e a filogenética ou cladística, a qual avalia critérios anatômicos, fisiológicos, comportamentais e moleculares. Com isso, a diversidade de seres vivos existentes hoje é resultante de processos biológicos de especiação, ou seja, eventos que levam uma espécie ancestral a sofrer uma separação de linhagens que produz duas ou mais espécies distintas. Esse assunto será detalhado ao longo dos estudos de evolução.

A classificação biológica atual é baseada na análise cladística, a partir do estudo de evidências encontradas no registro fóssil, em características genéticas e semelhanças morfofisiológicas dos organismos, permitindo, assim, a criação da árvore evolutiva ou filogenética da espécie em questão.



Primeiros seres vivos

Representação das relações filogenéticas entre os cinco reinos de seres vivos.

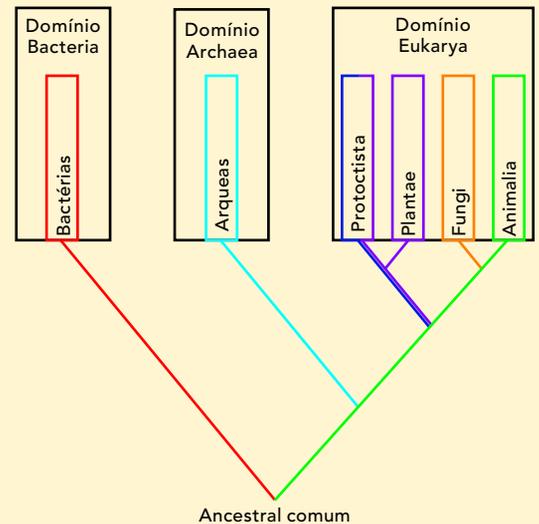
### Novos grupos de classificação

Evidências moleculares, particularmente a partir do RNA ribossômico, sugerem que o esquema de cinco reinos também é muito simples. Alguns biólogos acreditam que os protistas devem ser divididos, gerando um sistema subdividido em oito reinos. Em outra classificação, proposta por Carl Woese, em 1977, é defendido que o reino Monera demonstra ser formado por dois grupos bioquimicamente muito distintos de organismos procariontes: as arqueas (antigamente chamadas de arqueobactérias) e as eubactérias. A partir daí, ele criou um nível maior e superior ao reino, o domínio. O sistema se distingue das seguintes maneiras.

- **Bacteria:** domínio formado pelas bactérias, que são micro-organismos procariontes, encontrados tanto no solo quanto na água, podendo apresentar vida livre ou atuar como parasitas ou em associação mutualística com outros seres.
- **Archaea:** formado pelas arqueas, que, apesar de também serem micro-organismos procariontes, apresentam diferenças significativas com os integrantes do domínio Bacteria em relação ao seu RNA ribossômico, a certos processos metabólicos e à composição da parede celular (não apresentando peptidoglicanos nela). Essas arqueas já foram encontradas no plâncton e no tubo digestivo de animais, tendo sido uma maior quantidade associada a ambientes com condições extremas de temperatura, salinidade ou de pH, como as fontes hidrotermais, no fundo do oceano.

- **Eukarya:** composto por todos os seres eucariontes (protistas, fungos, plantas e animais).

Apesar de a proposta apresentada ter fundamentos bioquímicos e evolutivos significativos, será adotado um sistema de classificação mais conservador, criado por Whittaker e modificado por outros pesquisadores, como será detalhado logo em seguida.



O domínio Archaea é filogeneticamente mais próximo ao domínio Eukarya por compartilharem um ancestral comum mais recente.

## Nomenclatura dos seres vivos

Lineu também desenvolveu um sistema para realizar a nomenclatura dos seres vivos que ainda fundamenta a nomenclatura científica atual. Nesse sistema, Lineu definiu uma série de regras que devem ser seguidas rigorosamente na denominação de uma nova espécie. A seguir, são apresentadas algumas dessas orientações.

- Na designação de uma nova espécie, o idioma empregado deve ser o latim; ou então, se o termo for derivado de outra língua, deverá ser latinizado.
- Na grafia de uma espécie, sempre são utilizadas duas palavras, daí o sistema ser chamado binomial. A primeira dessas palavras é o epíteto genérico, que se refere ao gênero, é sempre um substantivo e deve ser escrito com a primeira letra maiúscula. A segunda palavra refere-se ao epíteto específico, a espécie, que é geralmente um adjetivo, sendo escrito com a primeira letra minúscula. Caso o termo do epíteto específico faça referência a um nome próprio, poderá ser escrito com inicial maiúscula. Ambos os termos devem ser destacados do restante do texto. Esse destaque pode ser feito colocando o binômio em itálico, negrito ou sublinhando essas palavras. Como os nomes científicos da espécie humana, dos cães domésticos e da batata-inglesa, que são: *Homo sapiens*, *Canis familiaris* e *Solanum tuberosum*, respectivamente.
- O nome genérico pode ser escrito sozinho, caso venha acompanhado de uma abreviatura. Por exemplo, quando for se referir ao gênero *Felis* sem definir se está falando de um gato doméstico ou de um leão etc., basta acrescentar a abreviatura "sp." após o gênero, ficando a grafia *Felis* sp. Quando for se referir a várias espécies pertencentes ao gênero *Felis*, deve-se acrescentar a abreviatura "spp."

■ O epíteto específico nunca deve ser escrito sozinho. Isso evita que ocorra confusão, pois o epíteto específico referente à espécie pode ser comum a diferentes espécies de organismos. Por exemplo, o nome científico da mosca é *Musca domestica*. Porém, se em um texto você cita apenas *domestica*, gerará indefinição, pois, o epíteto específico *domestica* também ocorre em outras espécies, como no vegetal *Nandina domestica* ou no mamífero *Monodelphis domestica*.

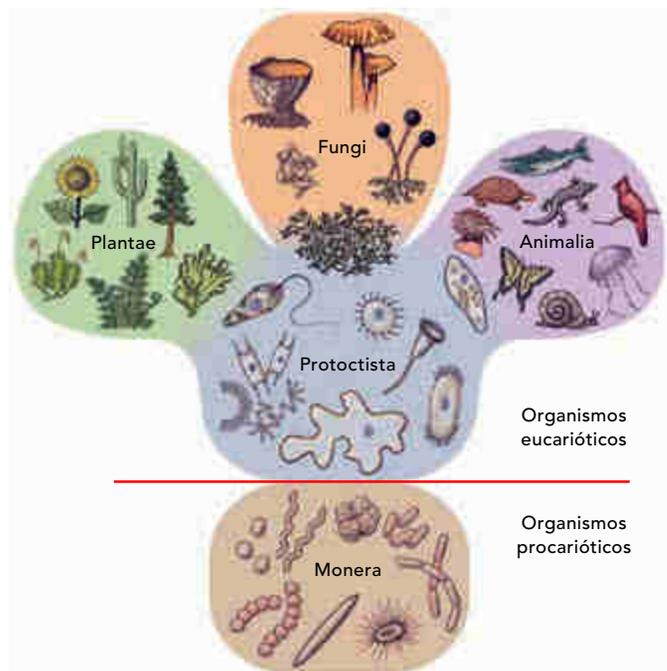
■ Ao aparecer pela primeira vez no texto, o nome científico deve ser escrito de forma completa, citando o epíteto genérico e o específico por extenso. Nas outras vezes que aparecer, o epíteto genérico pode ser abreviado. Por exemplo, se o nome científico *Homo sapiens* já tiver sido citado uma primeira vez, na próxima poderá ser escrito apenas como *H. sapiens*.

Existe uma série de outras regras a serem seguidas na designação de uma nova espécie, inclusive, existem certas diferenças quando se considera a classificação zoológica ou a botânica. Entretanto, tais detalhes são necessários apenas para estudos taxonômicos mais aprofundados.

Como todos os cientistas no mundo utilizam esses mesmos critérios de nomenclatura, evitam-se os erros que ocorreriam caso fosse utilizado o nome popular ou se fosse levada em conta a diferença da língua de cada país. Como exemplo, pode ser citada a raiz comestível de nome científico *Manihot esculenta*. Sabendo da pouca utilização de nomenclatura científica no dia a dia, é preciso esclarecer que o nome da espécie em questão faz referência a uma raiz comestível conhecida, em alguns locais do Brasil, pelos nomes macaxeira, aipim e mandioca. Dessa forma, é possível perceber que apenas o nome popular não é suficiente para definir precisamente a espécie.

Se fosse levada em consideração a diferença de línguas, em inglês, essa mesma raiz é chamada *cassava*, já em espanhol é *yuca*, enquanto em francês é *manioc*. Então, independentemente de diferenças regionais ou linguísticas, o nome científico em todo o mundo é um só: *Manihot esculenta*.

Reino	Representantes x características
Monera	Formado por bactérias ( <i>Escherichia coli</i> , <i>Bacillus anthracis</i> etc.) e arqueobactérias ou arqueas ( <i>Thermus aquaticus</i> , <i>Halobacterium halobium</i> etc.), que são organismos unicelulares e procariontes capazes de produzir seu próprio alimento (autótrofos) ou não (heterótrofos).
Protocista	Constituído pelos protozoários (ameba, paramécio etc.), que são eucariontes e heterótrofos, e pelas algas (algas verdes, diatomáceas etc.), que podem ser uni ou pluricelulares e autótrofos.
Fungi	Reúne todos os fungos (bolores, mofo, leveduras etc.), que são organismos eucariontes, uni ou pluricelulares e heterótrofos.
Plantae	Agrupada todas as plantas (gramíneas, pinheiros, árvores frutíferas etc.), que são seres eucariontes, multicelulares e autótrofos fotossintetizantes.
Animalia	Constituído por todos os animais (desde poríferos até os cordados), seres eucariontes, multicelulares e heterótrofos.



Os cinco reinos dos seres vivos.

Podemos observar que os vírus não foram citados em nenhum dos cinco reinos descritos. Isso ocorre porque os vírus são considerados entidades biológicas **acelulares**, ou seja, eles são desprovidos de células, sendo constituídos basicamente por uma ou poucas moléculas de ácidos nucleicos (DNA e/ou RNA) envoltas por moléculas de proteínas. A ausência de uma estrutura celular associada a uma série de estruturas que garantem o metabolismo dela faz com que os vírus sejam entidades infecciosas sem metabolismo próprio, destituídos de sistemas para transformar energia ou sintetizar proteínas. Dessa forma, para que sejam capazes de se multiplicar, os vírus são **parasitas intracelulares obrigatórios** de células bacterianas, de fungos, de protistas, de animais ou de vegetais.



Imagens: Reprodução

Ao se utilizarem sempre os critérios do sistema de nomenclatura binomial, possibilita-se a padronização mundial da nomenclatura dos organismos. Lembre-se sempre de que a espécie é citada por meio de um binômio (gênero + espécie) para evitar que ocorra a indefinição do indivíduo estudado.

## Os cinco reinos de seres vivos

Apesar de existirem diferentes propostas na definição da classificação dos seres vivos, como visto há pouco, será adotada a classificação proposta pelo cientista norte-americano Robert Whittaker, que depois foi modificada por outros cientistas, de mesma nacionalidade, Lynn Margulis e Karlene Schwartz. Esse sistema de classificação divide os seres vivos em cinco grandes reinos: Monera, Protocista, Fungi, Plantae (ou Metaphyta) e Animalia (ou Metazoa). Veja, a seguir, as características de cada um deles.

Características básicas dos cinco reinos					
Reino	Tipo de célula	Tipo de nutrição	Organização celular	Reprodução	Mobilidade
Monera	Procariótica	Fotoautotróficas, foto-heterotróficas, quimioautotróficas ou quimio-heterotróficas	Unicelular e/ou colonial. Maioria apresenta parede celular (essencialmente peptidoglicano).	Assexuada	Móveis, usando flagelos
Protocista	Eucariótica	Heterotrófica nos protozoários e fotoautotrófica nas algas	Unicelular (solitários ou coloniais) ou pluricelular. Com ou sem parede celular.	Assexuada e sexuada	Imóveis ou usando cílios ou flagelos
Plantae	Eucariótica	Fotoautotrófica	Multicelular. Apresenta parede celular (essencialmente celulose).	Assexuada e sexuada	Imóveis
Fungi	Eucariótica	Heterotrófica	Unicelular ou pluricelular. Pode ocorrer parede celular (quitina).	Assexuada e sexuada	Imóveis
Animalia	Eucariótica	Heterotrófica	Multicelulares. Não possuem parede celular.	Geralmente sexuada	Móveis, usando fibras contráteis

## Reino Plantae

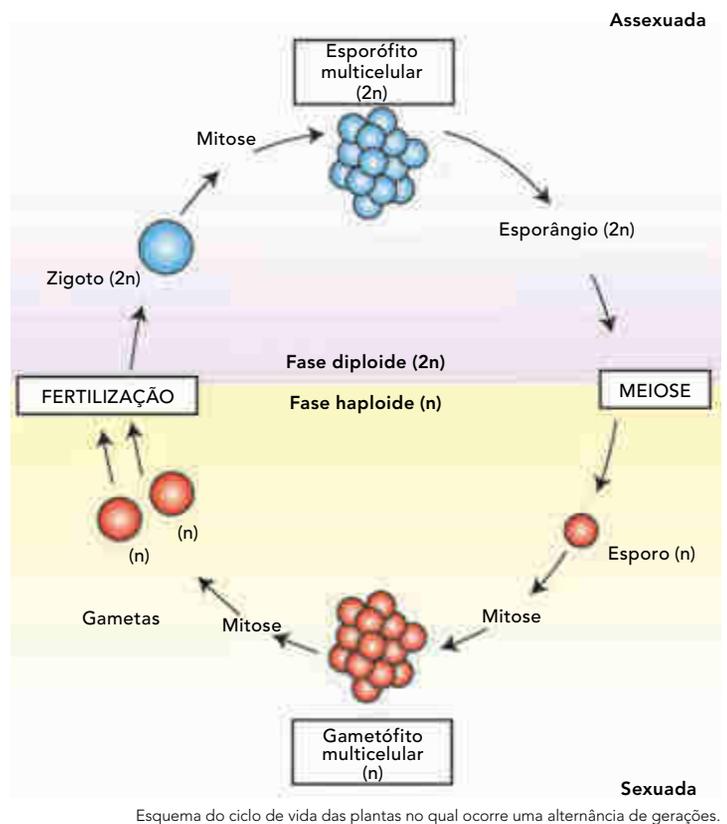
Dos musgos encontrados na Antártida até a imensa sumáma que ocorre na Floresta Amazônica, o reino Plantae possui grande diversidade, existindo cerca de 300 mil espécies conhecidas. O ramo da Biologia chamado de **Botânica** estuda especialmente esse grupo de seres.

As plantas que hoje se tem conhecimento evoluíram a partir de um grupo ancestral de algas carofíceas (filo Charophyta). No entanto, a classificação desse grupo é controversa, o que fez alguns autores o considerarem pertencente às algas clorofíceas (filo Chlorophyta). Semelhanças como a presença de clorofila **a** e **b** nos cloroplastos e a constituição da parede celular ser baseada em celulose são alguns dos indícios que apontam para tal ancestralidade. É válido salientar que as algas, ao contrário das classificações tradicionais, atualmente, são incluídas no reino Protocista.

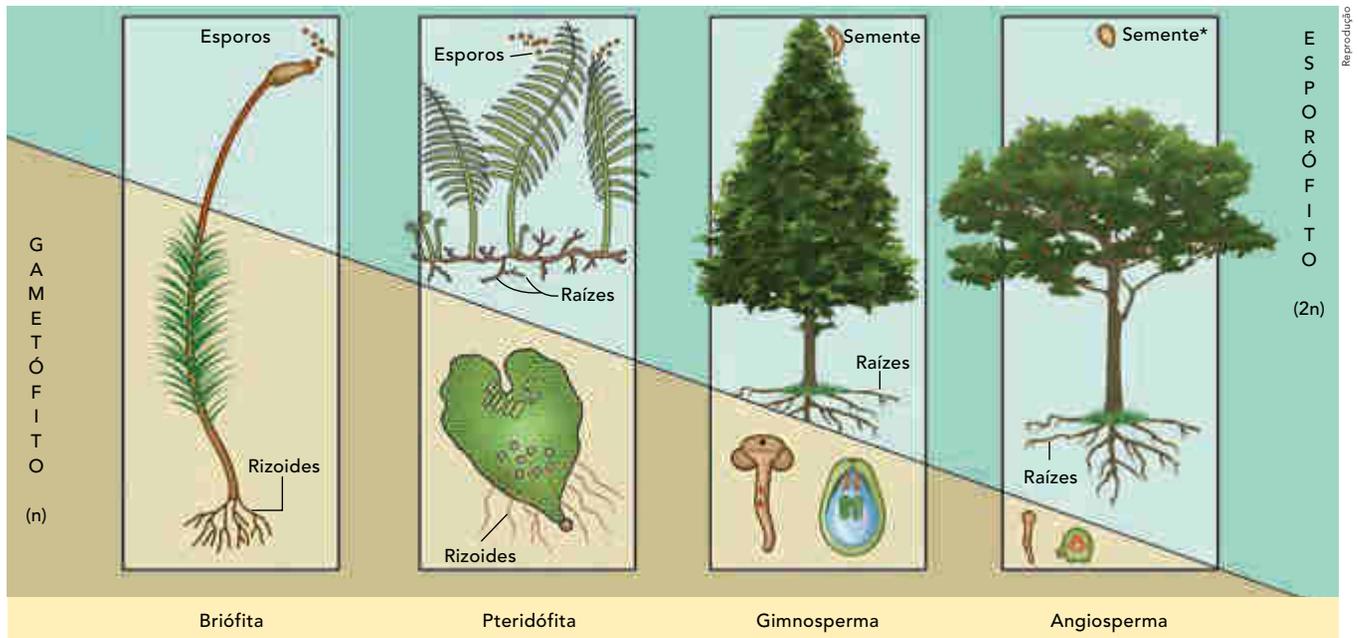
Baseado na cladística – método utilizado na tentativa de descobrir as relações de parentesco entre os organismos –, um organismo, para ser incluído nesse reino, deve apresentar, em seu ciclo de vida, embriões multicelulares sem cavidades internas e que tenham seu desenvolvimento sustentado pelo organismo materno. Por apresentarem um embrião com essas características, propõe-se a utilização do termo Embryophytes (embriófitas) para o filo das plantas.

Além das características citadas há pouco, todas as plantas são organismos eucarióticos, multicelulares, dotados de células com parede celular, e autotróficos, produzindo sua matéria orgânica por meio do processo de fotossíntese. Outra característica compartilhada por todas as plantas é a alternância de gerações haploides e diploides. Nesse ciclo de vida, os gametófitos, que são os organismos haploides, formam gametas que, após a fecundação, originam o esporófito, um indivíduo diploide. Quando adulto, o esporófito produz células haploides chamadas de esporos, que, ao germinarem, produzem um gametófito haploide, fechando assim seu ciclo de vida.

O estudo dos diferentes grupos vegetais possibilitou observar que ocorreu uma gradual redução da fase haploide (gametofítica) do ciclo de vida ao longo da evolução desses organismos.



Esquema do ciclo de vida das plantas no qual ocorre uma alternância de gerações.



Observe a heteromorfia na alternância de gerações representada pelas fases gametófito e esporófito, ou seja, a distinção anatômica entre os indivíduos. Compare essa imagem com o esquema apresentado anteriormente e constata que as fases diploide e esporófito são correspondentes; o mesmo pode ser dito das fases haploide e gametófito. \* Nas angiospermas, as sementes são protegidas pelo fruto.

### Classificação do reino Plantae

O filósofo grego Teofrasto (370-288 a.C.) pode ter sido a primeira pessoa a publicar sobre a classificação das plantas, em um trabalho chamado *Inquérito sobre as plantas*. Entretanto, Lineu é que é considerado o pai do sistema de classificação das plantas, por ter criado a metodologia de nomenclatura binomial, que, como já foi visto, também é aplicada para os outros grupos de seres vivos.

Desde as primeiras tentativas de classificação das plantas até hoje, vários sistemas foram propostos, sendo os mais utilizados o de Eichler (1883), o de Tippo (1942), o de Whittaker (1969) e o de Bold (1970).

Apesar de cada um desses sistemas apresentar relevância histórica, eles não englobam todos os critérios adotados pela sistemática moderna, sendo, praticamente, não mais aceitos.

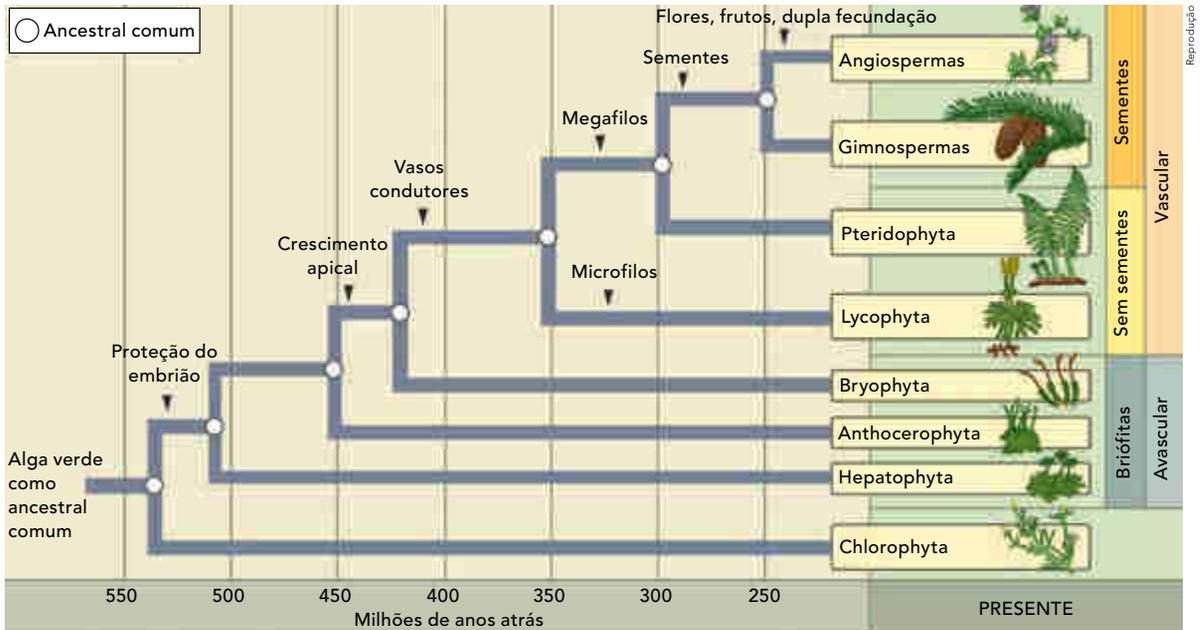
No sistema de classificação adotado aqui, as plantas atuais são distribuídas em 12 filas, dos quais três são de plantas que não apresentam vasos condutores de substâncias (água, sais e moléculas orgânicas) por todo seu corpo, sendo consideradas plantas avasculares, e os outros nove são de plantas vasculares, pois apresentam esses vasos. Veja a seguir.

Plantas avasculares	<b>Briófitas</b>
	Filo Bryophyta (musgos)
	Filo Hepatophyta (hepáticas)
Plantas vasculares	Filo Anthocerophyta (antóceros)
	<b>Pteridófitas (sem sementes)</b>
	Filo Pteridophyta (samambaias e avencas)
	Filo Lycophyta (licopódios e selaginelas)
	Filo Sphenophyta (cavalinhas)
	Filo Psilotophyta (psilotáceas)
	<b>Gimnospermas (sem fruto)</b>
	Filo Coniferophyta (pinheiros e ciprestes)
	Filo Cycadophyta (cicas)
	Filo Gnetophyta (gnetáceas)
Filo Ginkgophyta (ginkgoáceas)	
<b>Angiospermas (com fruto)</b>	
Filo Magnoliophyta ou Anthophyta (árvores, capins etc.)	

## Evolução das plantas

Como foi mencionado anteriormente, os mais prováveis precursores das plantas terrestres atuais são organismos que, se hoje ainda existissem, deveriam ser classificados como **algas verdes**.

Os primeiros fósseis de plantas datam de mais de 450 milhões de anos atrás. A primeira planta verdadeira provavelmente cresceu nas margens de lagos e riachos. Assim como os atuais musgos, essas plantas deveriam ter uma estrutura bastante simples e apresentar pequeno porte, na tentativa de manter a umidade. A presença dessas primeiras plantas nesses ambientes também garantia que gotículas de água realizassem o transporte de seus gametas flagelados até as estruturas reprodutoras femininas. Com o tempo, a seleção natural favoreceu os descendentes que tinham capacidade de suportar períodos mais longos em ambientes secos. No cladograma a seguir, é mostrado um resumo de algumas características compartilhadas pelos diferentes grupos de plantas.



Cladograma que mostra algumas das características compartilhadas pelos diferentes grupos de plantas.

Grupo de organismos	Características			
	Tecidos vasculares	Sementes	Flores	Frutos
<b>Briófitas</b>	-	-	-	-
<b>Pteridófitas</b>	+	-	-	-
<b>Gimnospermas</b>	+	+	-	-
<b>Angiospermas</b>	+	+	+	+

Algumas estruturas e a presença delas nos diferentes grupos de vegetais. (-) = ausência; (+) = presença.

A vida na terra apresenta desafios diferentes da vida na água. Ao contrário das plantas terrestres, as algas são constantemente rodeadas por água, que é necessária para a fotossíntese e proporciona um meio para a dispersão de gametas e esporos, além de evitar sua desidratação.

O desafio de viver em terrenos mais secos serviu como pressão seletiva para a vida das plantas no ambiente terrestre. Por sua vez, as plantas também desenvolveram adaptações para permitir-lhes reter a umidade, transportar água e nutrientes ao longo de todo o seu corpo e também reproduzir-se sem a necessidade de água no ambiente durante a fecundação.

Para possibilitar a sua fixação e a absorção de H<sub>2</sub>O e sais minerais do meio, as plantas desenvolveram um sistema de raízes (**sistema radicular**). Porém, obter água é só uma parte do problema, pois são necessárias, também, estruturas que evitem a perda dessa substância devido ao contato com o ar e à intensa radiação solar. Para isso, as plantas apresentam a superfície de seu corpo recoberta por uma camada de cera (cutina), que forma uma **cutícula impermeabilizante**. Outra estrutura formada, os **estômatos**, permitiu a regulação das trocas gasosas com a atmosfera, processo que também diminui a perda de água do corpo do indivíduo para o ambiente.

Apesar de esse sistema de absorção e impermeabilização ser eficiente, os vegetais do grupo das **briófitas**, grupo de plantas mais antigo a fazer a transição do ambiente aquático para o terrestre, não o possuem; por esse motivo, existe uma facilidade de esses organismos se desidratarem. Com isso, as briófitas ficam restritas a ambientes úmidos e sombreados, ao contrário das pteridófitas, das gimnospermas e das angiospermas, pois essas espécies possuem raízes e cutícula impermeabilizante mais desenvolvidas, levando-as a colonizar de forma mais eficiente ambientes ensolarados.

No ambiente terrestre, plantas de maior porte, geralmente, têm mais acesso à luz solar do que as plantas menores, mas crescer impõe outro desafio: o transporte de água e nutrientes do solo até as partes mais altas da planta. As estruturas que permitem o deslocamento desses materiais são os vasos condutores. O **sistema vascular** possibilita tanto o fluxo de água e sais minerais do solo para as partes altas da planta quanto o fluxo de água e nutrientes orgânicos das partes fotossintetizantes da planta para as raízes. Esse sistema vascular, juntamente com os tecidos que fornecem sustentação, permitiu que as plantas terrestres pudessem atingir um maior porte.

As **pteridófitas** foram as primeiras plantas a apresentarem um sistema de vasos condutores e tecidos de sustentação. Gimnospermas e angiospermas também apresentam vasos condutores, sendo, com as pteridófitas, chamadas plantas **traqueófitas**.

Com as alterações ambientais que ocorreram há milhões de anos, a Terra foi ficando cada vez mais seca, o que ameaçou a hegemonia das pteridófitas, que continuaram necessitando de água para o deslocamento de seus esporos e gametas. Dessa forma, a seleção natural favoreceu indivíduos que apresentassem adaptações no campo reprodutivo. Esse grupo foi o das gimnospermas, que desenvolveram estruturas reprodutoras bem visíveis, os **estróbilos**. Nessas estruturas, ocorre a formação de grãos de pólen, no interior dos quais existe um gameta masculino não flagelado. As plantas que apresentam estruturas reprodutoras bem evidentes são chamadas de **fanerógamas** e são classificadas como tais as gimnospermas e as angiospermas. Como briófitas e pteridófitas são plantas que não possuem estruturas reprodutoras bem evidentes, elas são tradicionalmente chamadas de **criptógamas**.

A total independência da água durante a reprodução das gimnospermas ocorreu no momento em que foi desenvolvido o **tubo polínico**. Ele se desenvolve quando o grão de pólen chega à estrutura reprodutora feminina (megasporângio), possibilitando que o gameta masculino não flagelado atinja o gameta feminino sem a necessidade de um meio aquoso. Plantas que apresentam tubo polínico, como as gimnospermas e angiospermas, são denominadas **sifonógamas**.

Com os grãos de pólen e tubo polínico, as gimnospermas foram as primeiras plantas totalmente independentes da água para a reprodução. Porém, é importante salientar que dentro do tubo polínico de alguns grupos de gimnospermas encontra-se um anterozoide ciliado, que nada para fecundar o gameta feminino, apresentando, assim, ainda, certa dependência da água para a fecundação. Isso pode ser observado apenas em alguns grupos de gimnospermas, como o Cycadophyta, por exemplo, *Cycas* e *Zamia*; e também no Ginkgophyta, como o *Ginkgo biloba*.

As gimnospermas também foram o primeiro grupo de plantas a apresentar **sementes**, sendo, da mesma forma que as angiospermas, classificadas como **espermatófitas**.

Entretanto, as sementes das gimnospermas são consideradas nuas, pelo fato de não ficarem encerradas em frutos. A presença de sementes é mais vantajosa que a de esporos, como nas briófitas e pteridófitas, pois não apresentam parede espessa e são mais vulneráveis a doenças, além do fato de as sementes garantirem uma melhor dispersão, ou seja, aumentam as chances dos indivíduos da próxima geração para desenvolverem-se em um local mais afastado daquele em que viviam os seus progenitores.

As últimas estruturas a surgir ao longo da evolução das plantas foram as **flores** e os **frutos** das angiospermas. As flores aumentaram a eficiência da reprodução devido à atração de polinizadores, enquanto os frutos forneceram maior eficiência na proteção e dispersão das sementes. Essa dispersão é potencializada pelo fato de as sementes serem envoltas em material nutritivo que atrai animais que consomem tal material e, geralmente, soltam as sementes no ambiente. Com essas características, as angiospermas apresentaram uma ampla vantagem sobre os demais grupos vegetais, resultando na dominância desse grupo nos últimos 100 milhões de anos. Atualmente, existem mais de 250 mil espécies de angiospermas, o que corresponde a mais de 90% das espécies de plantas atuais.

## Os grandes grupos vegetais

### Briófitas

O termo **briófitas** é comumente utilizado para se referir a todos os indivíduos do reino Plantae que não apresentam vasos condutores, ou seja, plantas **avasculares**. A relação evolutiva entre os organismos enquadrados nesse grupo ainda está em debate, pois alguns estudos moleculares concluíram que as briófitas não formam um grupo monofilético (clado). Sendo ou não um grupo monofilético, as briófitas compartilham algumas características também presentes nas plantas vasculares, tais como embriões multicelulares e presença de meristemas apicais, mas não possuem certas inovações de plantas vasculares, tais como raízes e folhas verdadeiras.

Apesar de certas discordâncias, todas as briófitas possuem várias características em comum, tais como:

- não têm tecidos vasculares bem desenvolvidos (tubos para condução de água e nutrientes através do corpo da planta);
- são pequenas e compactas devido à ausência de tecidos de sustentação eficientes;
- os gametas masculinos (anterozoides) são flagelados, necessitando de água para chegar ao gameta feminino (oosfera);
- não possuem raízes, caule ou folhas verdadeiras;
- em seu ciclo de vida, a fase de gametófito (n) é dominante sobre a de esporófito (2n).

As briófitas são características em ambientes terrestres úmidos e sombreados, embora existam espécies totalmente aquáticas, ou que se desenvolvem em ambientes inóspitos, como rochas nuas e locais de temperatura elevada (desertos) ou muito baixa (regiões polares). Porém, são sempre dependentes da água, pois além de desidratarem facilmente, devido à ausência de uma cutícula impermeabilizante, sua reprodução só pode ocorrer em um meio líquido, pois seu gameta masculino é flagelado, necessitando desse meio para deslocar-se até o gameta feminino.

O corpo dessas plantas, chamado **talo**, é fixado ao solo por meio de filamentos denominados **rizoides**, que contribuem para a absorção de água e nutrientes, processo que também pode ocorrer por toda a superfície corpórea. O corpo das briófitas é recoberto por células epidérmicas clorofiladas e que

também secretam uma substância para minimizar a perda de água. Como são desprovidas de vasos condutores, as briófitas não apresentam estruturas definidas, como caule e folhas, mas **cauloide** e **filoide**. Com ausência de vasos condutores, sistema que transporta água e nutrientes, esse deslocamento ocorre de forma relativamente lenta de célula para célula, o que limita o seu tamanho.

Além de sua importância evolutiva, por serem os primeiros vegetais terrestres, as briófitas também possuem relevância ecológica, pois podem ser utilizadas como bioindicadores da qualidade do ar, evitam a erosão do solo por meio de sua intrincada rede de rizoides formada no subsolo e também contribuem para a manutenção da umidade do solo.

### Classificação das briófitas

As plantas chamadas briófitas são classificadas em três filos distintos: hepáticas (filo Hepatophyta), antóceros (filo Anthocerotophyta) e musgos (filo Bryophyta).

#### Filo Hepatophyta

Os organismos do filo Hepatophyta apresentam gametófito de forma achatada preso ao solo. Em algumas espécies, esse gametófito se assemelha a um fígado, daí o nome escolhido para o filo (do grego *hêpar*, *hêpatos*, fígado). Cerca de 6000 espécies conhecidas desse grupo encontram-se em ambientes úmidos e aquáticos.

Nas hepáticas terrestres, na parte superior do corpo do gametófito, ocorre a formação de estruturas produtoras de gametas (anterídios ou arquegônios) chamadas de gametóforos, enquanto na superfície inferior formam-se os rizoides, que possibilitam a fixação e auxiliam na absorção de nutrientes. Os esporófitos são muito reduzidos e têm forma esférica.

Gametóforo masculino com anterídio (anteridióforo)



Gametóforo feminino arquegônio (arquegonióforo)



Fotografias da estrutura do gametófito de uma hepática (*Marchantia*) e seus gametóforos.

#### Filo Anthocerotophyta

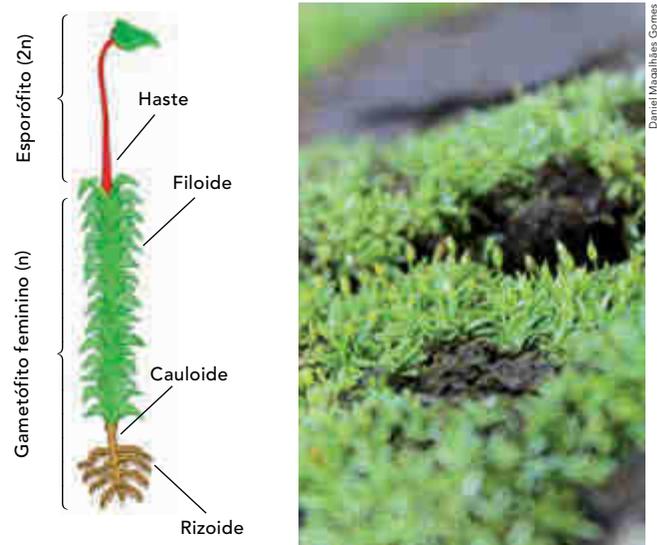
A estrutura do gametófito dos antóceros lembra a das hepáticas, porém, esse grupo apresenta características distintas, como a presença de um único cloroplasto por célula. Nesse grupo, o gametófito também é achatado, sendo multilobado. No esporófito, aparecem pequenos chifres, daí o nome do grupo (do grego *keras*, chifre). Esses organismos formam um pequeno conjunto representado por cerca de 80 espécies.



Representação esquemática e fotografia de um antóceros.

#### Filo Bryophyta

O filo Bryophyta é composto pelos musgos. Ao contrário dos outros dois grupos, os musgos apresentam crescimento do gametófito na vertical, não passando normalmente de 5 centímetros. Contudo, algumas espécies podem atingir 50 centímetros de altura. Acima dos rizoides, a parte ereta do talo é chamada de cauloide, da qual partem os filoides (estruturas semelhantes a folhas). Os esporófitos também crescem verticalmente, por divisões celulares que ocorrem apenas na extremidade superior do gametófito feminino.

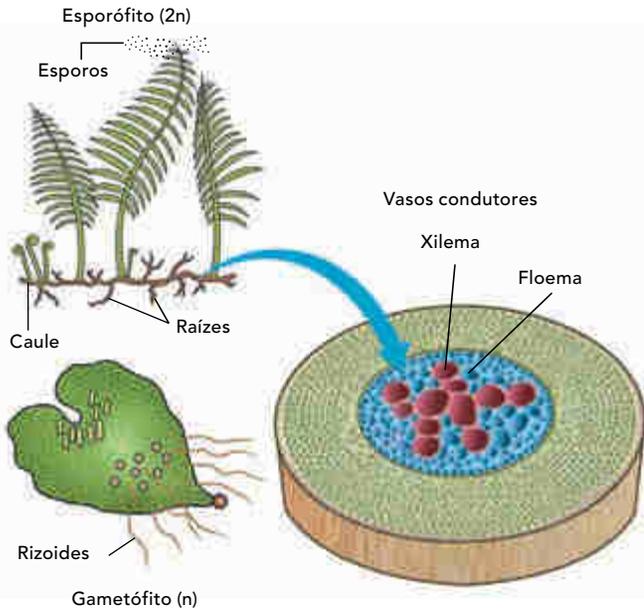


Representação esquemática e fotografia de um musgo.

#### Pteridófitas

As pteridófitas são as primeiras plantas vasculares. Seus fósseis mais antigos datam de cerca de 425 milhões de anos. O corpo das pteridófitas apresenta-se bem diferenciado, contendo **raízes**, **caules** e **folhas verdadeiras**. Com a presença dessas estruturas, que possuem vasos condutores de seiva em seu interior, as pteridófitas puderam realizar o transporte de água e nutrientes de forma mais eficiente. Além disso, esse grupo também inovou por apresentar tecidos de sustentação e estruturas impermeabilizantes. Com a junção dessas duas características, essas plantas puderam atingir um maior porte e também habitar regiões mais ensolaradas, porém úmidas. A água ainda é um fator limitante para a ocorrência das pteridófitas, porque seus gametas masculinos também são flagelados (anterozoides), necessitando, assim, de água para chegar ao gameta feminino (oosfera).

Ao longo do ciclo de vida das pteridófitas, a fase mais desenvolvida é a de esporófito, o qual é formado por raízes, caules e folhas; a fase gametofítica (protalo) é pequena e tem vida curta. Organismos desse grupo são encontrados nos mais variados ambientes, desde regiões desérticas até ambientes aquáticos. Seu tamanho também varia bastante, podendo ser pequenos, como a salvinia (pteridófita aquática flutuante), ou muito grande, como o samambaiçu (pteridófita terrestre típica da Mata Atlântica, mas que ocorre também na Amazônia), que apesar do crescimento lento, pode atingir mais de 20 metros de altura.



Representação esquemática de uma pteridófita na fase de gametófito e na fase de esporófito, com detalhe da estrutura interna do caule deste último.

## Classificação das pteridófitas

As plantas denominadas pteridófitas são classificadas em quatro filós: psilófitas (filo Psilophyta), licopódíneas (filo Lycophyta), esfenófitas (filo Sphenophyta) e pteridófitas (filo Pteridophyta).

### Filo Psilophyta

O filo Psilophyta é representado apenas por dois gêneros, *Tmesipteris* e *Psilotum*. Esse último é encontrado no Brasil, sendo o caule, que ocorre na fase de esporófito, caracterizado pela ramificação na forma de Y (dicotomizada). Organismos do gênero *Psilotum* não apresentam raízes nem folhas, mas possuem sistema vascular em seu corpo.

Na extremidade dos esporófitos, ocorre a formação de esporângios, estruturas produtoras de esporos. Após a germinação dos esporos, ocorre a formação do gametófito, que é aclorofilado, subterrâneo e associado a fungos. Os gametófitos formam estruturas produtoras de gametas (anterídios = produtor de gametas masculinos, os anterozooides; arquegônio = produtor dos gametas femininos, a oosfera), que ainda necessitam de água para a fecundação.



\*dicotomizada: dividida em duas partes.

### Filo Lycophyta

O filo Lycophyta é representado pelos licopódios e pelas selaginelas. O esporófito desses seres tem porte herbáceo, apresentando caule subterrâneo horizontal (rizoma), de onde partem raízes e ramos dotados de pequenas folhas. Certas folhas apresentam estruturas formadoras de esporos, os esporângios.



*Lycopodium*.

Os esporos originam, após a germinação, os gametófitos bissexuados, nos quais se encontram estruturas produtoras de gametas. Após a fecundação, é formado o esporófito, que permanece por um tempo preso ao gametófito e depois se torna independente.

### Filo Sphenophyta

O filo Sphenophyta é representado, atualmente, apenas pelo gênero *Equisetum* (planta conhecida como "cavalinha"). Os esporófitos têm porte herbáceo com caule subterrâneo (rizoma), do qual partem as raízes e o caule aéreo. Nele, é possível observar claramente os entrenós e nós, local em que se distribuem as diminutas folhas, que têm capacidade fotossintetizante muito limitada. Esse processo ocorre principalmente no caule. Em certos nós, também é possível ocorrer a formação de ramos, nos quais se originam os esporângios, que, ao se romperem, liberam os esporos. Os esporos produzem o gametófito, podendo ele ser bissexuado. De forma semelhante às outras pteridófitas, esses gametófitos produzirão gametas que sofrem fecundação em meio aquoso, originando um novo esporófito.



*Equisetum*, conhecida popularmente como cavalinha.

### Filo Pteridophyta

O filo Pteridophyta é composto pelos representantes mais conhecidos desse grupo de plantas vasculares, sendo os mais comuns as samambaias e as avencas. Os esporófitos apresentam normalmente porte herbáceo com caules subterrâneos ou aéreos, dos quais emergem as folhas. As folhas podem ser simples ou ter sua lâmina dividida em partes menores (folíolos). Em algumas dessas folhas, são formados agrupamentos de esporângios, que, ao romperem-se, liberam os esporos, os quais germinarão, formando um gametófito bissexuado (protalo). Também produzem gametas que sofrem fecundação em meio aquoso, originando um novo esporófito, da mesma forma que as outras pteridófitas.



Samambaias desenvolvendo-se sobre a estrutura de um muro.

## Gimnospermas

As gimnospermas, assim como as pteridófitas, também são plantas vasculares (traqueófitas) e apresentam estruturas impermeabilizantes. A novidade evolutiva desse grupo é

a ocorrência de fecundação sem necessidade de água, devido à formação dos **grãos de pólen** e do **tubo polínico**, e à presença de sementes nuas, ou seja, sementes que não ficam protegidas no interior de um fruto.

Essas plantas surgiram há aproximadamente 365 milhões de anos, em uma época de alterações climáticas que estavam tornando o ambiente terrestre ainda mais seco, o que favoreceu uma seleção de estruturas que permitissem a fecundação sem a necessidade de água para o deslocamento do gameta masculino.

Estruturas denominadas estróbilos (ou cones) passaram a produzir os grãos de pólen, os quais podem ser levados pelo vento ou mesmo por um animal, tornando a água desnecessária para a dispersão dos gametas desses organismos. Ao atingir os estróbilos femininos, os gametas masculinos no interior dos grãos de pólen também não necessitam de água, já que se forma a estrutura denominada tubo polínico. Com isso, as gimnospermas adquiriram maior adaptação ao ambiente terrestre, possibilitando sua ocorrência em locais mais secos. Até hoje, existem extensas regiões temperadas do planeta cobertas por florestas formadas por representantes do grupo das gimnospermas, as coníferas.



Estróbilo masculino (A) e estróbilo feminino (B) de uma espécie de gimnosperma (*Cycas circinalis*).

Outra importante novidade evolutiva das gimnospermas, em relação às pteridófitas, foi a **semente**. Essa estrutura é formada após a fusão do gameta masculino com o feminino, a qual origina o embrião, que, a partir das gimnospermas, fica no interior da semente. Do ponto de vista evolutivo, as sementes têm diversas vantagens sobre os esporos, presentes em briófitas e pteridófitas. Uma dessas vantagens é a maior proteção dada ao embrião pela estrutura da semente. No interior dela, também existe uma reserva de nutrientes, o que possibilita que o embrião sobreviva por muitos meses ou até anos em um estado de dormência. Outro benefício da semente é que ela pode ser levada pelo vento e, em certos casos, pela água e por animais, aumentando a eficiência da dispersão das plantas.

## Classificação das gimnospermas

Na flora atual, as gimnospermas são agrupadas em quatro filós: cicas (filo Cycadophyta), gincófitas (filo Ginkgophyta), gnetófitas (filo Gnetophyta) e coníferas (filo Coniferophyta).

## Filo Cycadophyta

Os organismos que fazem parte do filo Cycadophyta têm aparência de palmeiras com cones (estruturas produtoras de gametas) de grande porte. Cerca de 130 espécies representam esse filo atualmente. Enormes florestas de **cicas** cresceram durante a Era Mesozoica (entre 248 e 65 milhões de anos atrás), sendo essas plantas a base alimentar de várias espécies de dinossauros.

As cicas crescem nas zonas tropicais das Américas, na Ásia, na África e na Austrália. Muitas espécies estão ameaçadas por causa de seu crescimento lento e também devido à perda do hábitat nessas áreas tropicais. As plantas desse filo são muito utilizadas em ornamentação de jardins.



Cica (*Cycas revoluta*).

## Filo Ginkgophyta

Da mesma forma que as cicas, as gincófitas eram abundantes na época em que os dinossauros viveram. Atualmente, apenas uma espécie existe, o *Ginkgo biloba*, a qual é nativa da China. Em parte, essa espécie sobreviveu devido ao seu cultivo feito pelos monges budistas desde o ano 1100 d.C.

As gincófitas podem ser as mais antigas espécies vivas de plantas. Atualmente, são cultivadas em jardins ao redor do mundo, usadas na arborização urbana e para a produção de um extrato obtido de suas folhas, que é utilizado como medicamento com propriedades antioxidantes, aumento da irrigação sanguínea dos tecidos etc.



Fotografia de uma árvore (A), da folha (B) e da semente (C) da espécie *Ginkgo biloba*.

## Filo Gnetophyta

O filo Gnetophyta é representado por 70 espécies distribuídas em três gêneros: *Gnetum* (presente nas regiões tropicais da África e Ásia), *Ephedra* (regiões áridas de todo o mundo) e *Welwitschia* (somente em desertos do sudoeste da África). Esse é o grupo de gimnospermas que mais apresenta semelhanças com as angiospermas. No entanto, elas não originaram as gnetófitas, mas ambas devem compartilhar um ancestral comum.



Imagens: Wikimedia Commons



*Welwitschia mirabilis* (A), *Ephedra* (B) e *Gnetum* (C).

## Filo Coniferophyta

O filo Coniferophyta é o filo de gimnospermas mais comuns e com o maior número de espécies atualmente, cerca de 614. As coníferas são árvores abundantes em regiões frias do Hemisfério Norte, formando o bioma denominado taiga; ocorre também uma espécie no sul do Brasil, a araucária ou pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*). Devido à adaptação ao frio e ao ar seco, as folhas dessas árvores são aciculifolias, ou seja, têm forma de agulha.

**Pinheiros, sequoias, abetos, cedros e araucárias** pertencem a esse filo. As coníferas são bem adaptadas às altas altitudes, a encostas inclinadas e a solos pobres. Essas características permitiram às coníferas prosperarem em regiões montanhosas. Organismos desse filo também são os recordistas em altura, idade e peso. O ser vivo mais alto da Terra é uma sequoia, apelidada de "Hyperion", que se encontra no norte do estado da Califórnia, nos Estados Unidos, apresentando 115 m. Também nos Estados Unidos é encontrada a árvore mais velha que se conhece, com mais de 4700 anos de idade, o pinheiro *bristlecone* (*Pinus aristata*), que vive nas Montanhas Brancas da Califórnia. Uma outra sequoia é a recordista em massa corpórea. Encontrada no Parque Nacional das Sequoias (nos EUA), essa árvore tem uma massa de 1,2 milhões de quilos, que é aproximadamente a massa de 40 ônibus.



Conífera típica do Brasil, a *Araucaria angustifolia* (A), e *Pinus aristata* (B), um exemplar da espécie mais velha que se conhece (±4700 anos).



Wikimedia Commons

Sequoias, o ser vivo de maior massa corpórea.

## Angiospermas

Todos os vegetais considerados como angiospermas pertencem a um filo próprio, o filo Magnoliophyta, embora o termo *Anthophyta* (do grego *antho*, flor; *phyta*, planta) ainda continue sendo utilizado. As novidades evolutivas que surgiram nesse grupo foram as **flores** e os **frutos**. As flores atuam na atração de agentes polinizadores, e os frutos, no interior dos quais encontram-se as sementes, ajudam na dispersão delas.

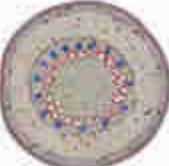
Essas características garantiram às angiospermas a diversificação e o domínio numérico da flora atual, existindo aproximadamente 250 mil espécies de plantas desse grupo.

As angiospermas são plantas de porte variado (porte herbáceo, arbustivo e arbóreo), encontradas em praticamente todos os ambientes, tanto no solo quanto na água. Elas podem ainda se desenvolver sobre outras plantas (hábito epifítico) ou até atuar como parasita de outras plantas.

Tradicionalmente (de acordo com os sistemas de classificação de Cronquist, Takhtajan e Dahlgren), as angiospermas eram divididas em dois grandes grupos: dicotiledôneas e monocotiledôneas. Tal classificação era feita de acordo com o número de cotilédones, que são folhas embrionárias pertencentes ao corpo do embrião e que podem armazenar nutrientes como reserva. Entretanto, as plantas que apresentam grão de pólen triaperturado foram desmembradas do grupo das dicotiledôneas, por não serem monofiléticas, ou seja, as espécies consideradas como dicotiledôneas não eram derivadas de uma única espécie ancestral. Portanto, ocorreu a criação de um novo grupo de nome **eudicotiledôneas**. O prefixo **eu-** significa verdadeiro; logo, esse termo designa as plantas que realmente apresentam dois cotilédones.

Apesar dessa modificação no agrupamento das angiospermas, é possível perceber algumas características básicas de monocotiledôneas e eudicotiledôneas por meio de uma tabela que resume algumas das diferenças básicas entre esses dois grupos.

## Algumas características encontradas em monocotiledôneas e eudicotiledôneas

	Semente	Raiz	Caule	Folhas	Flores
<b>Monocotiledôneas</b>	 Um cotilédono na semente	 Xilema e floema em forma de anel	 Feixes vasculares espalhados	 Nervuras paralelas e folhas invaginantes	 Compostas de 3 elementos ou seus múltiplos (flores trímeras)
<b>Eudicotiledôneas</b>	 Dois cotilédons na semente	 Floema entre os raios de xilema (vermelho)	 Feixes vasculares dispostos em torno de um cilindro central	 Nervuras reticuladas e folhas pecioladas	 Compostas de 4 ou 5 elementos ou seus múltiplos (flores tetrâmeras ou pentâmeras, respectivamente)

## Alguns termos botânicos, seus significados e suas ocorrências nos diferentes grupos de plantas

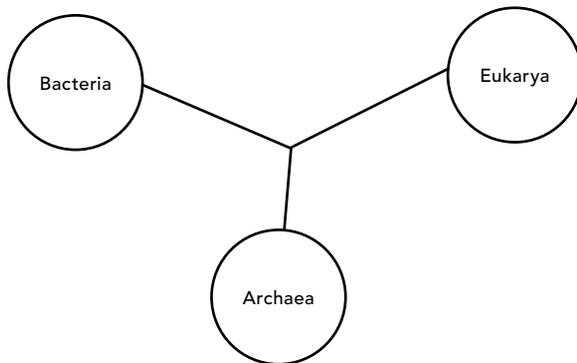
Classificação	Grupo			
	Briófitas	Pteridófitas	Gimnospermas	Angiospermas
Embriófitas (embriões multicelulares sem cavidades internas e que têm seu desenvolvimento sustentado pelo organismo materno)	x	x	x	x
Talófitas (o corpo é um talo, sua estrutura não é diferenciada em raiz, caule e folha)	x			
Cormófitas (corpo diferenciado em raiz, caule e folhas)		x	x	x
Traqueófitas (presença de vasos condutores de seiva)		x	x	x
Criptógamas (presença de estruturas produtoras de gametas pouco evidentes)	x	x		
Fanerógamas (presença de estruturas produtoras de gametas bem visíveis)			x	x
Espermatófitas (presença de sementes)			x	x
Assifonógamas (não apresentam tubo polínico)	x	x		
Sifonógamas (apresentam tubo polínico)			x	x

## Algumas aquisições evolutivas e sua ocorrência nos diferentes grupos

Grupos vegetais	Briófitas	Pteridófitas	Gimnospermas	Angiospermas
<b>Aquisições evolutivas</b>				
Vasos condutores		x	x	x
Raiz, caule e folhas		x	x	x
Semente			x	x
Flor				x
Fruto				x
Independência da água para fecundação			x	x

## Atividades para sala

1. Para responder à questão, analise a figura que representa a concepção atual da biodiversidade no planeta, denominada "Os três domínios da vida", e considere as afirmações a seguir, assinalando apenas a alternativa correta.



- a) Os cogumelos pertencem a Eukarya.  
 b) Entre os organismos incluídos em Bacteria e Archaea, apenas os classificados no último são destituídos de núcleo.  
 c) O *Homo sapiens*, por ser uma espécie antiga, pertence a Archaea.  
 d) Eukarya somente inclui organismos pluricelulares.  
 e) Entre os representantes do domínio Archaea, estão os micro-organismos parasitas, como os causadores da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*) e do tétano (*Clostridium tetani*).
2. Analise os seres decompositores nas figuras 1 e 2, segundo sua organização celular. Uma diferença entre eles é que apenas os seres da figura 2 apresentam, em suas células,



Figura 1



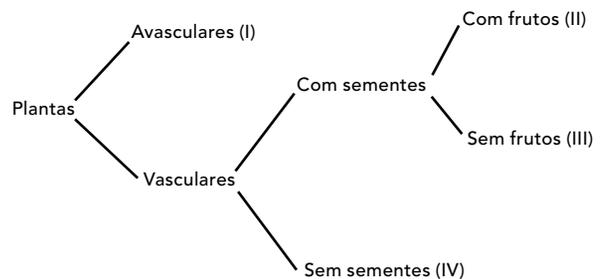
Figura 2

- a) carioteca.  
 b) ribossomos.  
 c) parede celular.  
 d) membrana plasmática.  
 e) citoplasma.
3. Lineu, em 1735, publicou um trabalho, no qual apresentava um plano para classificação de seres vivos. Nele estavam propostos o emprego de palavras latinas e o uso de categorias de classificação hierarquizadas. Deve-se também a Lineu a regra de nomenclatura binominal para identificar cada organismo. Nessa regra, entre outras recomendações, fica estabelecido que se deve escrever
- a) em primeiro lugar o gênero, depois a família.  
 b) em primeiro lugar o gênero, depois a espécie.  
 c) em primeiro lugar a espécie, depois o gênero.  
 d) em primeiro lugar a espécie, depois o filo.  
 e) em qualquer sequência, gênero e filo.

4. Os seres vivos pertencentes ao reino Plantae são designados como vegetais. Desse reino, fazem parte diferentes grupos de plantas com características morfofuncionais específicas. Uma dessas características é a de apresentar, pela primeira vez, vasos para condução de nutrientes.

Na evolução das plantas, os primeiros vegetais a apresentar a característica citada foram as

- a) briófitas.  
 b) pteridófitas.  
 c) angiospermas.  
 d) gimnospermas.  
 e) algas.
5. No processo evolutivo das plantas, muitas características foram sendo modificadas, tornando-as, cada vez mais, independentes da água para a reprodução. Nesse sentido, sobre essas características, pode-se afirmar que, ao longo desse processo, nos diferentes grupos,
- a) ocorreu perda gradativa dos vasos condutores.  
 b) a fase gametofítica passa a ser mais duradoura que a fase esporofítica.  
 c) ocorreu produção de sementes.  
 d) houve presença do tubo polínico desde o primeiro grupo de plantas a colonizar o ambiente terrestre.  
 e) surgiram estruturas denominadas frutos, que apresentam reservas nutritivas, nos primeiros dois grupos de plantas a colonizarem o ambiente terrestre.
6. Considere, no esquema a seguir, as características de determinados grupos vegetais.



Assinale a alternativa cujos grupos vegetais estão representados, respectivamente, pelos organismos I, II, III e IV.

- a) Briófitas, gimnospermas, angiospermas e pteridófitas.  
 b) Pteridófitas, gimnospermas, angiospermas e briófitas.  
 c) Briófitas, angiospermas, gimnospermas e pteridófitas.  
 d) Pteridófitas, angiospermas, gimnospermas e briófitas.  
 e) Briófitas, gimnospermas, pteridófitas e angiospermas.
7. As primeiras plantas surgiram no mar e ao longo dos anos foram conquistando o ambiente terrestre. Assinale a alternativa correta quanto à evolução das plantas.
- a) As angiospermas são plantas mais evoluídas que as gimnospermas; possuem flores típicas e carpelos que se fecham formando um vaso no qual se desenvolvem as sementes. Após a fecundação, o fruto se desenvolve a partir de uma porção do carpelo.  
 b) As pteridófitas são plantas terrestres menos evoluídas que as briófitas; possuem várias características, como sementes e vasos condutores de seiva.  
 c) As gimnospermas são plantas mais evoluídas que as angiospermas; não possuem vasos condutores de seiva e suas sementes se desenvolvem em ambiente úmido.

- d) As briófitas são plantas terrestres mais evoluídas que as pteridófitas; possuem vasos condutores de seiva, caule e raízes.
- e) As gimnospermas são plantas mais evoluídas que as angiospermas; possuem duas classes: as monocotiledôneas, com um cotilédono na semente, e as dicotiledôneas, com dois cotilédones na semente.
8. Ciprestes, xaxins, musgos, ipês e araucárias são vegetais classificados, respectivamente, como
- gimnosperma, pteridófito, briófito, angiosperma e gimnosperma.
  - pteridófito, gimnosperma, briófito, angiosperma e gimnosperma.
  - gimnosperma, briófito, pteridófito, gimnosperma e angiosperma.
  - gimnosperma, briófito, pteridófito, angiosperma e angiosperma.
  - angiosperma, pteridófito, briófito, gimnosperma e angiosperma.
9. Em uma saída a campo, os alunos do curso de Biologia fizeram uma coleta de vários representantes dos seguintes vegetais.
- Musgos
  - Licopódios
  - Samambaias
  - Pinheiros
  - Ciprestes

No laboratório, os alunos tiveram de classificar esses vegetais pelas características avasculares, vasculares sem sementes e vasculares com sementes. Assinale, no quadro seguinte, a alternativa correta dessa classificação.

	Avasculares	Vasculares sem sementes	Vasculares com sementes
a)	A e B	C e D	E
b)	A, B e C	D	E
c)	A	B e C	D e E
d)	A	B	C, D e E
e)	A e B	C	D e E

### Atividades propostas

1. Árvores filogenéticas são diagramas representativos da classificação biológica, organizados com base em dados anatômicos, embriológicos e de informações derivadas do estudo de fósseis. Considerando as características dos organismos pertencentes aos cinco reinos, é correto afirmar que
- o reino Animalia engloba seres vivos vertebrados, invertebrados, unicelulares, pluricelulares e preferencialmente heterótrofos.
  - seres pluricelulares, clorofilados e eucariontes pertencem ao reino Plantae.
  - organismos autótrofos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica animal ou vegetal pertencem ao reino Fungi.
  - os reinos Protista e Monera englobam, respectivamente, protozoários e algas.
  - todos os seres unicelulares encontrados no reino Protista são procariontes.

2. Considere os quatro táxons a seguir relacionados.
- Bufo dorbignyi*
  - Lystrophis dorbignyi*
  - Didelphis albiventris*
  - Didelphis marsupialis*

Em relação a eles, é correto afirmar que

- todos pertencem à mesma espécie.
  - há, entre os quatro táxons, apenas duas espécies diferentes.
  - os táxons 1 e 2 são de gêneros diferentes, mas da mesma espécie.
  - os táxons 3 e 4 são de espécies diferentes, mas do mesmo gênero.
  - os táxons 1 e 2 são da mesma subespécie.
3. Considere as fichas taxonômicas a seguir apresentando os táxons, sendo que sempre a linha superior refere-se a uma categoria mais abrangente que a linha inferior.

1	2	3	4
Metazoa	Metazoa	Metazoa	Metazoa
Chordata	Chordata	Chordata	Chordata
Mammalia	Mammalia	Mammalia	Mammalia
Carnivora	Carnivora	Carnivora	Carnivora
Procyonidae	Canidae	Canidae	Canidae
<i>Potos flavus</i>	<i>Chrysocyon brachyurus</i>	<i>Canis latrans</i>	<i>Canis lupus</i>

Analise as afirmativas a seguir, baseando-se nas informações apresentadas nas fichas, e assinale a alternativa correta.

- Independente do hábito alimentar de cada um dos animais, e embora nem todos possam ser considerados carnívoros, todos pertencem à ordem Carnívora.
  - Os indivíduos 2, 3 e 4 pertencem ao mesmo gênero, embora sejam de famílias distintas.
  - Os indivíduos 3 e 4 pertencem a gêneros distintos.
  - Todos os indivíduos apresentam a mesma ordem e a mesma família, variando apenas as subfamílias.
  - Também podem ser classificados como pertencentes ao reino Metazoa um gato, um cogumelo, uma capivara e uma bactéria.
4. Em uma aula de Biologia, o professor mostrou as imagens dos organismos a seguir.



Cogumelo

Alga verde

Samambaia

Após analisar as imagens, cinco alunos fizeram afirmações sobre o reino a que cada organismo pertence, com uma justificativa. Assinale a alternativa que corresponde ao aluno cuja resposta está correta.

- O primeiro aluno afirmou que o cogumelo pertence ao reino Protocista, pois ele é um organismo que pode ser autótrofo ou heterótrofo.
- O segundo aluno afirmou que a alga verde pertence ao reino Fungi, pois é procarionte e apresenta tecidos organizados.



11. A tabela seguinte apresenta características presentes (+) ou ausentes (-) em três grupos de vegetais terrestres.

Grupo de vegetais	I	II	III
<b>Características</b>			
<b>Vasos condutores</b>	+	+	+
<b>Raízes</b>	+	+	+
<b>Sementes</b>	-	+	+
<b>Frutos</b>	-	+	-
<b>Água para a fecundação</b>	+	-	-

Os grupos I, II e III são, respectivamente,

- gimnospermas, angiospermas e pteridófitas.
  - gimnospermas, pteridófitas e angiospermas.
  - pteridófitas, angiospermas e gimnospermas.
  - pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.
  - angiospermas, pteridófitas e gimnospermas.
12. Atualmente, as angiospermas dominam o ambiente terrestre. Para isso, essas plantas desenvolveram, ao longo do processo evolutivo, características que lhes permitiram colonizar os diferentes biomas terrestres. Identifique, nas características listadas a seguir, aquelas que foram importantes para o desenvolvimento do atual processo reprodutivo das angiospermas.
- Fase gametofítica masculina reduzida.
  - Presença de elementos traqueais, como os elementos de vasos e respectivas placas de perfuração.
  - Presença da cutícula – uma estrutura de revestimento –, que é uma substância graxa, de composição química de natureza complexa.
  - O produto da reprodução sexuada, a semente, é protegido pelo fruto.
  - Desenvolvimento da estrutura floral, que possibilitou a atração mais eficiente de agentes polinizadores biológicos.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas 1, 2 e 4 são verdadeiras.
  - Somente as afirmativas 1, 3 e 5 são verdadeiras.
  - Somente as afirmativas 1, 4 e 5 são verdadeiras.
  - Somente as afirmativas 2, 3 e 4 são verdadeiras.
  - Somente as afirmativas 2, 3 e 5 são verdadeiras.
13. Analise a tabela a seguir.

Diversidade atual de plantas com sementes na Terra				
Classificação	Filo	Nº de famílias	Nº de espécies	Época de surgimento na Terra (milhões de anos)
Gimnospermas	Ginkgophyta	1	1	280
	Cycadophyta	3	100	300
	Coniferophyta	7	500	330
	Gnetophyta	3	100	200
Angiospermas	—	500	300 000	120

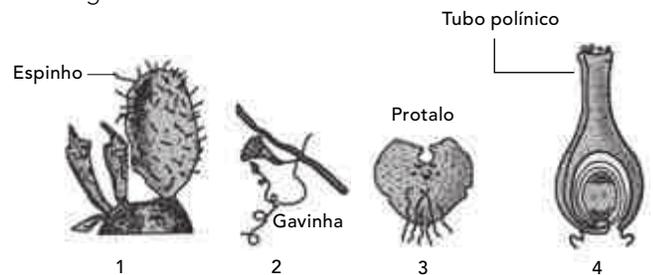
Com base nas informações da tabela anterior e em outros conhecimentos sobre o assunto, é correto afirmar que a diferença entre a diversidade de gimnospermas e de angiospermas pode ser explicada

- pelos tipos de folhas e sementes.
- pela ação dos insetos polinizadores.
- pela ação menos intensa de herbívoros.
- pelos modos de dispersão dos frutos.
- pela presença de gameta masculino flagelado.

14. Percorrendo uma trilha em uma floresta úmida do Sul do Brasil, um estudante encontrou duas plantas pequenas crescendo sobre uma rocha. Observando-as, concluiu que se tratava de um musgo (Bryophyta) e de uma samambaia (Pteridophyta).

Considere as afirmações a seguir sobre essas plantas e assinale apenas a alternativa correta.

- Pteridófitas, como as que ocorrem no filo Pteridophyta (ex.: samambaias), apresentam vasos condutores de seiva.
  - As pteridófitas e as briófitas são plantas de pequeno porte por não apresentarem tecidos de sustentação.
  - Na face inferior das folhas das pteridófitas (exs.: antóceros e hepáticas), encontram-se soros, nos quais ficam armazenados os esporos.
  - Briófitas, como os lycopódios e as samambaias, possuem pequeno porte devido à ausência de xilema e floema em sua estrutura, o que torna o deslocamento de água mais lento.
  - Musgos e samambaias são plantas que transportam eficientemente a água através de seu sistema de tubos microscópicos denominado xilema.
15. Durante o processo evolutivo, algumas espécies vegetais apresentam características que as tornaram capazes de sobreviver fora da água e deixar descendentes. As figuras a seguir reproduzem algumas adaptações encontradas em vegetais.



Assinale a alternativa que apresenta figura(s) representativa(s) de adaptação vantajosa para a reprodução vegetal em ambiente terrestre.

- 1.
  - 2.
  - 1 e 2.
  - 4.
  - 3 e 4.
16. Um aluno precisava organizar a coleção botânica da sua escola, e separar as plantas em monocotiledôneas e dicotiledôneas. Assim, selecionou plantas de arroz, trigo e milho, as quais foram corretamente colocadas em um grupo; enquanto as de feijão, soja e ervilha foram colocadas em outro grupo. Analise as proposições em relação às características de plantas monocotiledôneas e de dicotiledôneas e assinale apenas a alternativa correta.
- As folhas de plantas monocotiledôneas apresentam nervuras paralelas, enquanto suas sementes apresentam apenas um cotilédone, como ocorre no arroz, milho etc.
  - As sementes de monocotiledôneas são constituídas por dois cotilédones e encontradas nas plantas de trigo.
  - As folhas das dicotiledôneas apresentam nervuras paralelas e podem ser observadas nas plantas de feijão e soja.

- d) As flores das dicotiledôneas apresentam, geralmente, as peças florais em número de três ou múltiplos de três e são comuns nas plantas de milho e trigo.
- e) As folhas das monocotiledôneas são constituídas por nervuras reticuladas ou ramificadas e são observadas nas plantas de arroz e milho.

17. O quadro a seguir refere-se a cinco aquisições evolutivas dos grandes grupos de vegetais atuais. O sinal + indica a presença da característica no grupo. Assinale a opção correta.

Grupos vegetais atuais		Briófitas	Pteridófitas	Gimnospermas	Angiospermas
Aquisições evolutivas					
a)	Vasos condutores	+		+	+
b)	Raiz			+	+
c)	Semente	+		+	+
d)	Fruto		+	+	+
e)	Independência da água na reprodução			+	+

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

18. Observe as definições dos grupos vegetais I, II e III.

- I. São vegetais simples que não possuem verdadeiras folhas, caules e raízes nem tecidos especializados no transporte de água e outras substâncias no interior da planta. Entretanto, apresentam rizoides que, além de absorver água, fixam esses organismos ao substrato em ambientes úmidos terrestres.
- II. São vegetais que dependem da água para a reprodução e não apresentam sementes. Entretanto, apresentam caules, raízes e folhas verdadeiras e, também, apresentam tecidos especializados na condução de materiais no interior de seu corpo.
- III. São vegetais que não dependem da água para a reprodução. Geralmente, os grãos de pólen são levados pelo vento até os elementos reprodutores femininos. Apresentam sementes, mas não apresentam frutos.

Assinale a alternativa que apresenta os nomes dos grupos de vegetais I, II e III, nessa ordem.

- a) Algas, briófitas e angiospermas.
- b) Briófitas, pteridófitas e gimnospermas.
- c) Algas, pteridófitas e angiospermas.
- d) Briófitas, gimnospermas e angiospermas.
- e) Pteridófitas, angiospermas e gimnospermas.

Identidade dos seres vivos

C 8

H 28

Módulo  
**3**

## Reprodução vegetal – Briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas

Uma característica comum a todas as plantas é a alternância de gerações haploides e diploides. Nesse ciclo, os indivíduos haploides, os gametófitos, produzem gametas por mitose. Quando ocorre a fecundação, esses gametas formam o zigoto, que se desenvolve e origina os indivíduos diploides, os esporófitos. Ao atingirem a fase adulta, certas células do corpo dos esporófitos dividem-se por meiose, originando células haploides chamadas esporos. Cada um desses esporos, quando em condições ambientais adequadas, desenvolve-se e dá origem a um gametófito haploide, fechando assim o ciclo de vida da planta.

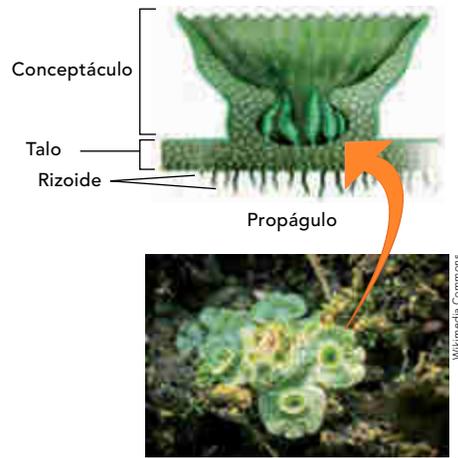
Em cada grupo vegetal, as duas fases do ciclo de vida são bem diferentes. Uma dessas fases é predominante e visível a olho nu, enquanto a outra é passageira e microscópica. No que diz respeito à duração dessas fases, desde o grupo de vegetais mais primitivo, as briófitas, até o mais desenvolvido, as angiospermas, foi ocorrendo uma gradativa diminuição do tempo de vida da fase gametofítica. A seleção natural favoreceu essa diminuição porque os esporófitos apresentam estruturas impermeabilizantes mais eficientes, o que possibilita uma melhor adaptação a ambientes secos.

Durante a evolução das plantas, surgiu uma linhagem que, pelo fato de produzir sementes, foi nomeada de espermatófitas. Essa linhagem é formada pelas gimnospermas e angiospermas. É importante salientar que nesses dois grupos, assim como em briófitas e em pteridófitas, ocorre uma alternância de gerações, mas a geração gametofítica é pequena, pouco duradoura e completamente dependente da geração esporofítica. Será visto que a geração gametofítica se encontra em uma estrutura denominada estróbilo, nas gimnospermas, e flores, nas angiospermas.

## Reprodução das briófitas

### Reprodução assexuada

Certas briófitas têm a capacidade de se reproduzir por meio de processos assexuados como a **fragmentação** e a **produção de propágulos**. No primeiro caso, um pedaço do corpo do gametófito parental se desprende, gerando novos gametófitos. Gametófitos de hepáticas e antóceros podem realizar reprodução por fragmentação. Já no outro tipo de reprodução assexuada – a formação de propágulos – ocorre no gametófito de hepáticas como a *Marchantia*. No corpo desse indivíduo, forma-se uma estrutura em forma de taça chamada de conceptáculo, que libera os propágulos no ambiente, originando um novo gametófito.



Representação esquemática e fotografia de uma hepática com seus conceptáculos.

## Reprodução sexuada

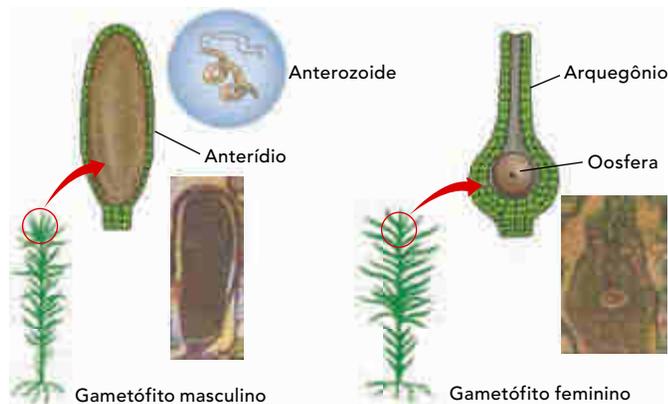
Plantas avasculares, como as briófitas, são as únicas plantas em que a fase de gametófito ( $n$ ) é dominante. Exemplificando, aquele carpete aveludado e verde, muito comum em locais úmidos e sombreados (sobre caules, muros, rochas etc.), principalmente durante a época das chuvas, são os gametófitos de um musgo.

Nas briófitas, encontram-se espécies que apresentam gametófitos hermafroditas (monoicos ou bissexuais) e espécies que apresentam gametófitos distintos para cada sexo. Entretanto, na maioria dos musgos, o sexo é separado, logo, cada gametófito possui apenas anterídios (parte masculina) ou apenas arquegônios (parte feminina).

Para explicar o ciclo de vida de briófitas com reprodução sexuada, será utilizado como referência um musgo dioico (em que os sexos estão em indivíduos distintos) do gênero *Polytrichum*, que é exatamente aquele que forma o carpete mencionado como exemplo.

Na extremidade do gametófito desses musgos, forma-se o **anterídio**, no qual ocorre a produção de gametas flagelados, os **anterozoides**, por meio de mitose. Como esses gametas são flagelados, eles necessitam de um meio líquido para atingir o gametófito feminino, fator que limita o crescimento de briófitas a áreas úmidas e sombreadas.

Na extremidade dos gametófitos femininos, ocorre a formação dos arquegônios. No interior do **arquegônio**, encontra-se um gameta feminino, denominado **oosfera**.

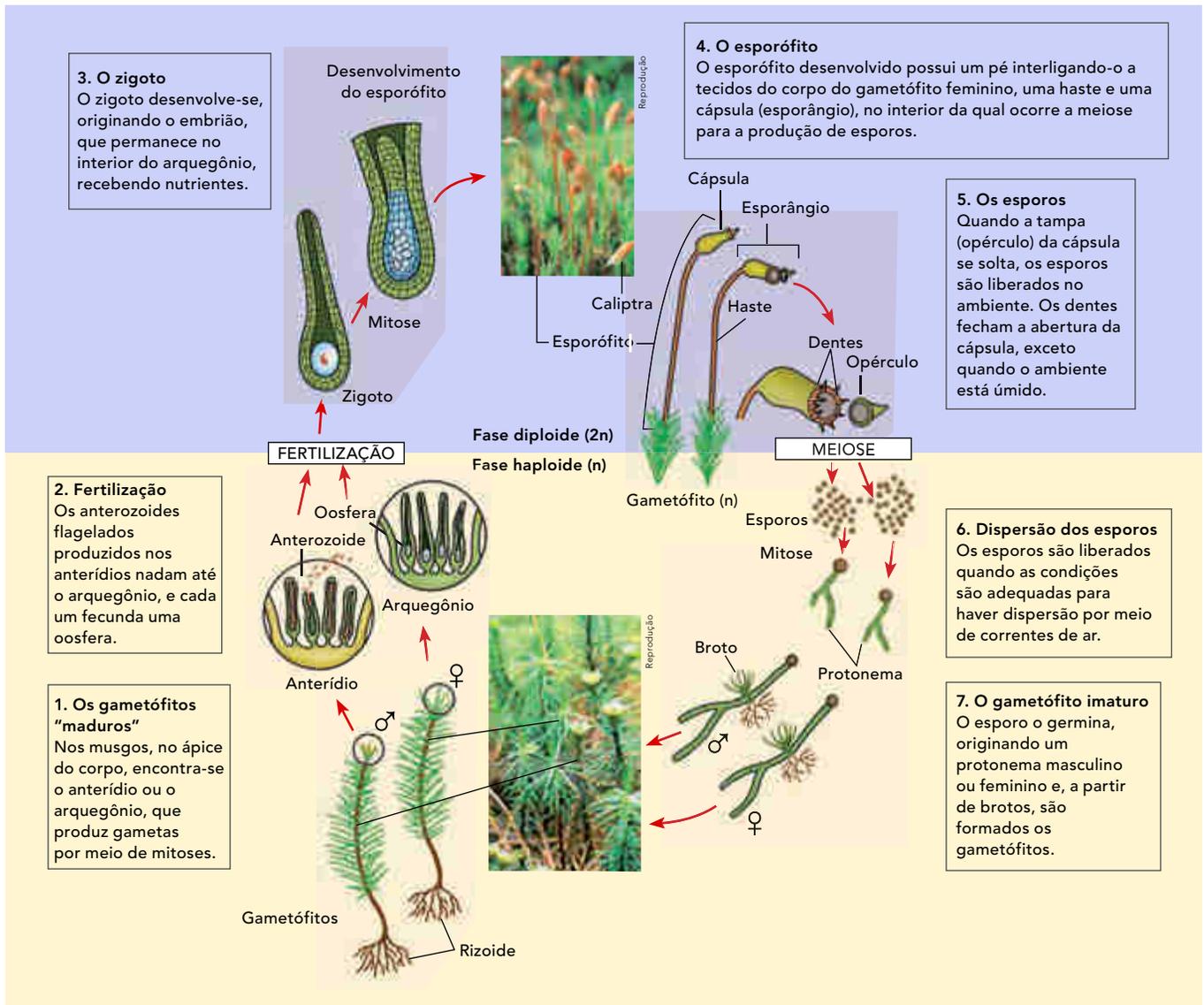


Representação esquemática de um gametófito masculino com anterídio e de um gametófito feminino com arquegônio. Observe no detalhe uma fotomicrografia do anterídio e do arquegônio.

Para que haja a fecundação, é necessário que gotículas de água atinjam os anterídios para lançar os anterozoides até os arquegônios. Quando os anterozoides chegam ao arquegônio, eles nadam até a oosfera, ocorrendo então a fecundação e a formação do zigoto ( $2n$ ). Essa célula sofre sucessivas mitoses, originando um embrião que permanece protegido no arquegônio. O embrião recebe substâncias nutritivas (açúcares, aminoácidos etc.) da planta-mãe, processo conhecido como **matrotrofia**. Durante o desenvolvimento do embrião, o arquegônio cresce, e parte dele dá origem à **caliptra**, uma pequena estrutura em forma de capuz que recobre parcial ou totalmente a extremidade da cápsula.

O conseqüente desenvolvimento do embrião forma um esporófito diploide, o qual se encontra preso à extremidade superior do gametófito feminino por uma base ou pé. Logo depois desse pé, é possível observar um filamento fino, denominado **haste** ou **seta**. Na extremidade dessa haste, ocorre uma dilatação, a **cápsula**, coberta por uma espécie de "tampa", o **opérculo**. A cápsula é um **esporângio**, isto é, um órgão no qual se dá a produção de **esporos**.

No interior da cápsula, há células que sofrem meiose, originando esporos que iniciam a fase haploide. Ao ressecar, a cápsula abre e os esporos são libertados, sendo então arrastados pelo vento. Ao atingir locais com as condições adequadas, esses esporos germinam, dando origem a um filamento de células, o **protonema**, que penetra no solo e forma rizóides, enquanto outras ramificações originam o restante do corpo (talo) de um novo gametófito, fechando o ciclo de vida.



Representação esquemática do ciclo de vida de uma espécie de musgo do gênero *Polytrichum*.

## Reprodução das pteridófitas

### Reprodução assexuada

As pteridófitas, em grande número, apresentam reprodução assexuada por brotamento. Nesse processo, brotos surgem espaçadamente do rizoma, ou seja, do caule subterrâneo, da planta-mãe. Com o tempo, pode ocorrer a fragmentação das regiões entre os brotos, o que acaba por originar indivíduos isolados e independentes, porém, geneticamente iguais.



Folha fértil de samambaia, com visão dos soros na sua parte inferior.

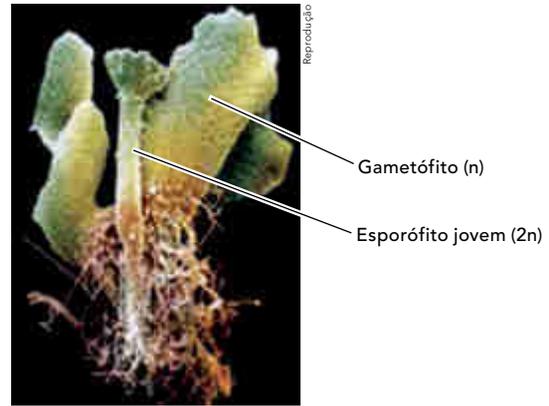
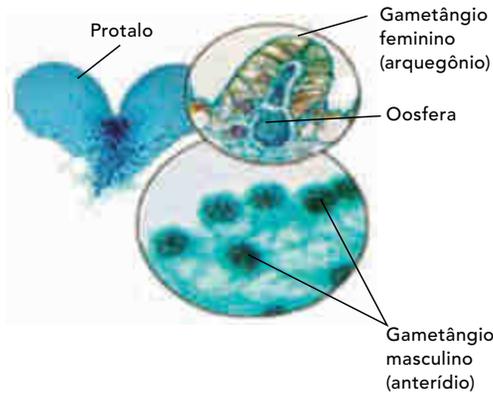
### Reprodução sexuada

Da mesma forma que ocorre com todas as outras plantas, na reprodução sexuada das pteridófitas ocorre a alternância de gerações. Nesse grupo, o esporófito é a fase dominante, o que significa que as plantas conhecidas como samambaias são esporófitos.

Visualizando a parte inferior de certas folhas de samambaias, é possível ver os **soros**, que são como pontos marrons na folha da samambaia. Soros são conjuntos de esporângios, estruturas produtoras de esporos (n).

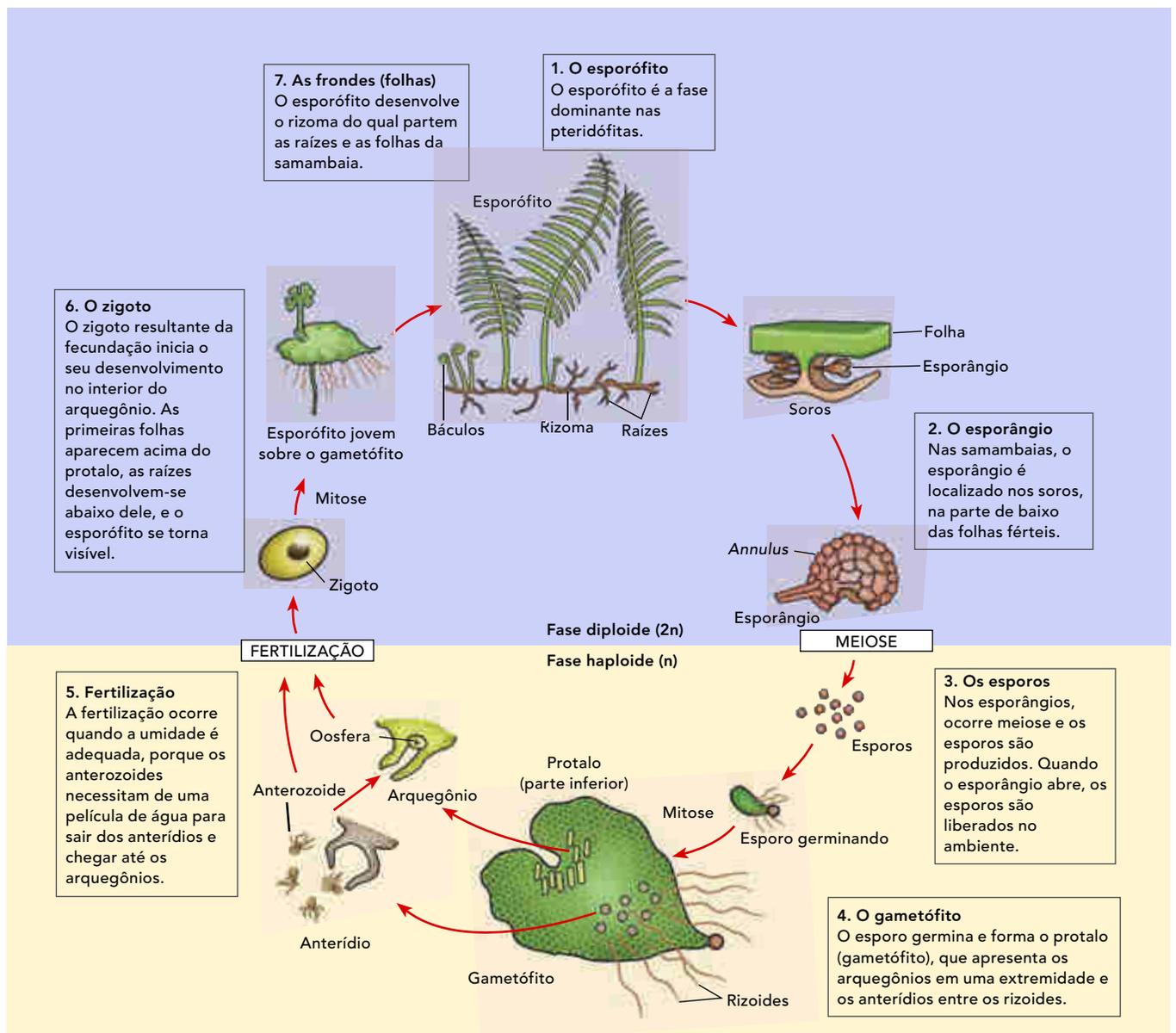
Os esporos são liberados dos esporângios quando estão maduros. Se o local em que o esporo foi depositado apresentar as condições de iluminação e umidade favoráveis, ele germinará e originará um gametófito.

O gametófito das samambaias, chamado de **protalo**, é diminuto. Ele se fixa ao solo por meio de rizoides e nele se desenvolvem gametângios masculinos e femininos, formadores de anterídios e de arquegônios, respectivamente.



Fotomicrografia de um protalo, com detalhes do arquegônio e do anterídio, e do início do desenvolvimento do esporófito.

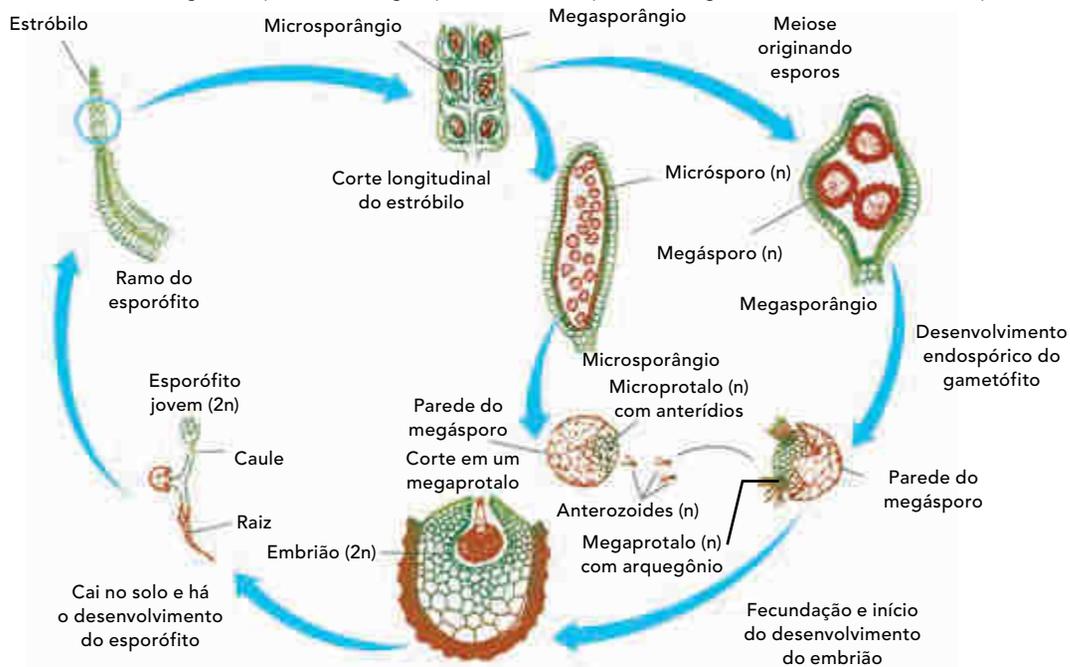
Quando existe água disponível no ambiente, ela pode arrastar os anterozoides até o arquegônio, possibilitando que eles nadem até a oosfera para fecundá-la. Da fecundação, é originado o zigoto (2n), que é o início da geração esporofítica. O zigoto cresce acima do protalo, que degenera com o tempo. O esporófito maduro é exatamente a samambaia, que, em algumas folhas férteis desse esporófito, apresenta os esporângios, os quais produzem os esporos, que iniciam um novo ciclo.



Representação esquemática do ciclo de vida de uma espécie de samambaia do gênero *Dryopteris*.

No ciclo de vida descrito, os esporófitos de samambaias produzem um único tipo de esporo. Nesse tipo de pteridófitas, ocorre uma **homosporia** ou **isosporia**, ou seja, cada esporo dá origem a apenas um tipo de gametófito, que apresenta gametângios masculinos e femininos. Entretanto, as selaginelas (*Selaginella*) apresentam esporófitos que produzem dois tipos diferentes de esporos. Esse tipo de pteridófito é chamado de **heterosporada**. Um desses esporos normalmente é grande e chamado de **megásporo**, sendo responsável pela formação do gametófito feminino. O outro esporo geralmente é pequeno, sendo chamado de **micrósporo**, que forma o gametófito masculino.

Nas pteridófitas heterosporadas, o gametófito desenvolve-se dentro do esporo, ficando protegido por suas paredes. Essas características do ciclo de vida das selaginelas são adaptações importantes na transição das plantas sem sementes (pteridófitas) para as plantas com sementes (gimnospermas e angiospermas). Acompanhe a seguir o ciclo de vida heterosporado de *Selaginella*.

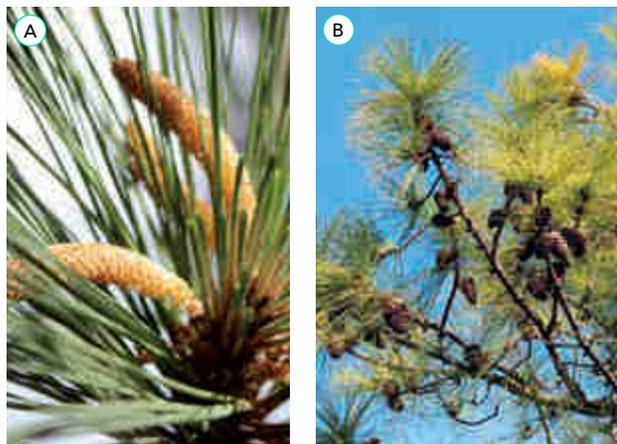


Esquema mostrando o ciclo de vida de uma pteridófito heterosporada (*Selaginella*).

## Reprodução sexuada de gimnospermas

Nas gimnospermas, a fase esporofítica é mais duradoura e mais fácil de ser visualizada que a fase gametofítica. Como exemplo de fase esporofítica desse grupo, tem-se o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*). A fase gametofítica nas gimnospermas tem duração ainda menor que nas pteridófitas. Nas gimnospermas, os gametófitos masculinos são os grãos de pólen, enquanto os gametófitos femininos correspondem a uma parte interna do óvulo. Quando o pólen é formado, ele é um esporo (uma célula), mas quando o pólen é disperso, ele já se dividiu, então, corresponde ao gametófito masculino. Serão utilizados como exemplo do ciclo de vida de gimnospermas os eventos que ocorrem ao longo da reprodução de um pinheiro do gênero *Pinus*, que é monoico e, portanto, apresenta estruturas reprodutoras masculinas e femininas no mesmo indivíduo.

As estruturas reprodutoras de *Pinus* estão localizadas em folhas modificadas que apresentam estruturas reprodutivas – os **estróbilos**. Há dois tipos de estróbilos, o estróbilo masculino ou **microstróbilo**, no qual encontram-se os microsporângios (2n) formadores de esporos masculinos (n), os **andrósporos** ou **micrósporos**; e o estróbilo feminino ou **megastróbilo**, o qual contém os megasporângios (2n) que originam, por meiose de algumas células, os esporos femininos, o **ginósporo** ou **megásporo** (n).



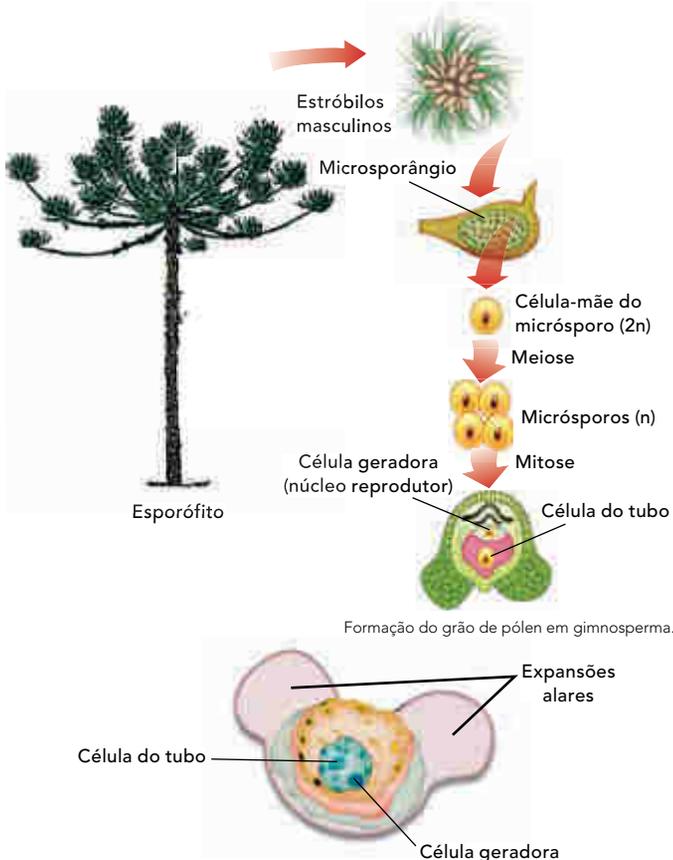
Imagens: Daniel Magalhães Gomes

Fotografias de estróbilos masculinos ou microstróbilos (A) e de estróbilos femininos ou megastróbilos (B).

## Formação do grão de pólen

Nas folhas modificadas em estróbilos masculinos (estróbilos microsporangiados ou microstróbilos), encontram-se os microsporângios, que são estruturas formadoras de esporos. No interior dos microsporângios, encontram-se células diploides chamadas de microsporócitos ( $2n$ ), que também são conhecidas como células-mãe dos micrósporos ou células-mãe dos grãos de pólen.

Inicialmente, cada microsporócito ( $2n$ ) sofre meiose e origina quatro micrósporos haploides. Logo em seguida, cada um dos quatro micrósporos ( $n$ ) passa por duas mitoses e origina um microgametófito imaturo ( $n$ ) – o grão de pólen. Entretanto, das quatro células formadas por essas mitoses, apenas duas sobrevivem no grão de pólen: a **célula do tubo** ou **célula vegetativa** (que formará o tubo polínico) e a **célula geradora**, também chamada **célula gerativa** ou **núcleo reprodutor** (que fecundará a oosfera). Em volta do grão de pólen, existe uma camada externa chamada de exina. Ela pode apresentar duas expansões laterais (bolsas de ar) em forma de asa, chamadas de expansões alares. Essas expansões permitem que os grãos de pólen sejam eliminados facilmente, sofrendo dispersão pelo fato de serem arrastados pelo vento (anemofilia). Como são produzidos milhões de grãos de pólen, alguns deles casualmente podem atingir o seu objetivo, o megasporângio (cone feminino).



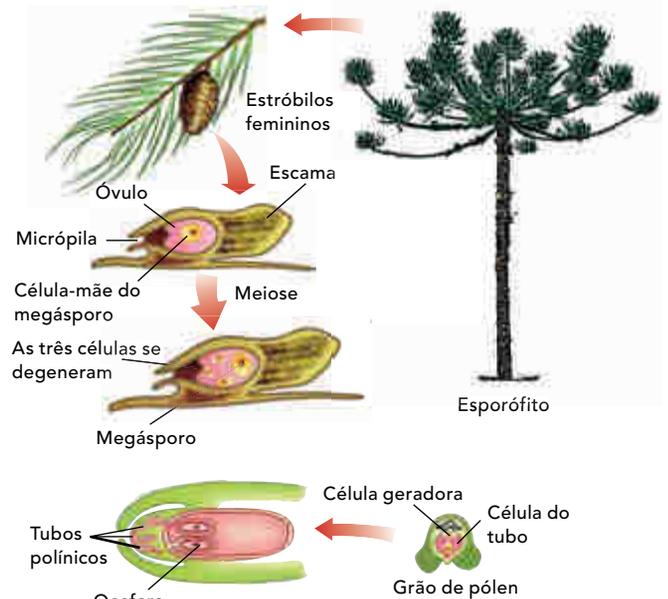
Grão de pólen de gimnosperma. Como a morfologia polínica é ligada à espécie de origem, a análise desses grãos é fundamental para a identificação de espécies ainda sobreviventes ou mesmo de espécies já extintas, pois a camada de exina pode resistir a milênios, preservada em sedimentos de lagos, pântanos, oceanos etc.

## Formação do gametófito feminino

Nos ramos modificados em estróbilos femininos (chamados de estróbilos ovulados ou ainda de megastróbilos), encontram-se folhas modificadas em **escamas** (escamas

ovulíferas), responsáveis por guardar os **megasporângios** ou **óvulos**, que são as estruturas formadoras de esporos envolvidos por uma camada de um tecido protetor, o tegumento, que também forma uma abertura denominada **micrópila**, pela qual, futuramente, os grãos de pólen penetrarão. No interior dos megasporângios, é encontrada uma célula diploide, chamada de **megasporócito** ou **célula-mãe do megásporo**, mergulhado em um tecido nutritivo, o nucelo. Esse megasporócito ( $2n$ ), por meio de meiose, origina quatro megásporos haploides, dentre os quais três degeneram, restando apenas o **megásporo funcional**.

O desenvolvimento do megásporo em gametófito feminino ocorre de forma muito lenta, tendo início somente depois que ocorre a polinização. Ocorrido esse evento, tem início a germinação ou desenvolvimento do megásporo, quando se tem a multiplicação da quantidade de núcleos, por intermédio de sucessivas mitoses, mas sem divisão do citoplasma. Dessa maneira, forma-se uma massa plurinucleada ( $\pm 2000$  núcleos), que corresponde ao **gametófito feminino** ou **megagametófito (n)**. No interior dessa massa começam, então, a se formarem membranas celulares que estruturam dois ou mais **arquegônios** e, em cada um deles, tem-se apenas um gameta feminino, a **oosfera**. Apesar do uso do termo **óvulo** em botânica, tal estrutura não corresponde ao gameta feminino. Na realidade, esse óvulo é uma estrutura em forma de cápsula que, além de outras células, contém em seu interior, inicialmente, os esporos e somente depois de certo tempo o gameta feminino verdadeiro, que é a oosfera.



Representação esquemática da formação do megásporo. Observe que somente após a polinização (fecundação) o esporo feminino se desenvolve, originando o gametófito feminino ( $n$ ), a oosfera, no interior do arquegônio.

## Fecundação

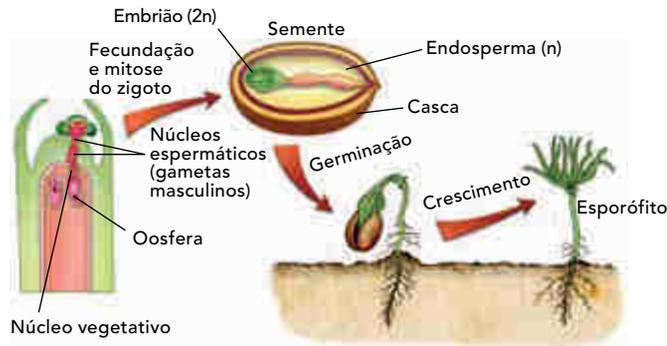
Para que haja fecundação de gimnospermas, não é necessária a presença de água no ambiente. O líquido necessário para o deslocamento do gameta masculino (núcleo reprodutor) é secretado pelo próprio megasporângio.

Esse processo de fecundação tem início quando os grãos de pólen ficam presos no megastróbilos, devido à presença de um material viscoso próximo à micrópila.

Depois disso, o grão de pólen atravessa a micrópila e começa a germinar, formando o tubo polínico. O tubo cresce e invade o nucelo em direção ao arquegônio. No interior do

tubo, a célula geradora produz dois **núcleos espermáticos**, que funcionam como gametas masculinos. Com isso, pode-se considerar que o tubo polínico é o gametófito masculino maduro (com gametas em seu interior), enquanto o grão de pólen seria o gametófito jovem.

Enquanto um dos núcleos espermáticos degenera, o outro se une à oosfera, ocorrendo assim a fecundação, que origina um zigoto. Mesmo havendo vários arquegônios dentro do megásporo, possibilitando a formação de vários zigotos, somente um deles continuará o desenvolvimento, originando um embrião.



Representação esquemática da polinização e formação da semente em gimnosperma.

Depois da fecundação, é formada a semente, uma estrutura revestida por uma casca, constituída pelo tegumento. No interior da semente se encontra o embrião, que é o esporófito ainda jovem e que fica mergulhado em meio a um tecido haploide que serve de reserva de alimento. As escamas ovulíferas com sementes formam o que se chama de **pinhão**, e todo o conjunto do estróbilo feminino ou cone feminino, depois de fecundado, é chamado de **pinha**.

Normalmente, o termo pinhão se refere ao principal produto comercial extraído atualmente do pinheiro-do-paraná: suas sementes. Elas são mais uma opção de alimento apreciada pela população da Região Sul do país. Os pinhões são um alimento bastante nutritivo, pelo fato de serem ricos em amido, proteínas, gorduras, cálcio, ferro, fósforo e vitaminas.



Fotografia de uma pinha; o estróbilo feminino (esquerda) e detalhe da pinha aberta apresentando os pinhões, que são as sementes de *Araucaria angustifolia*.



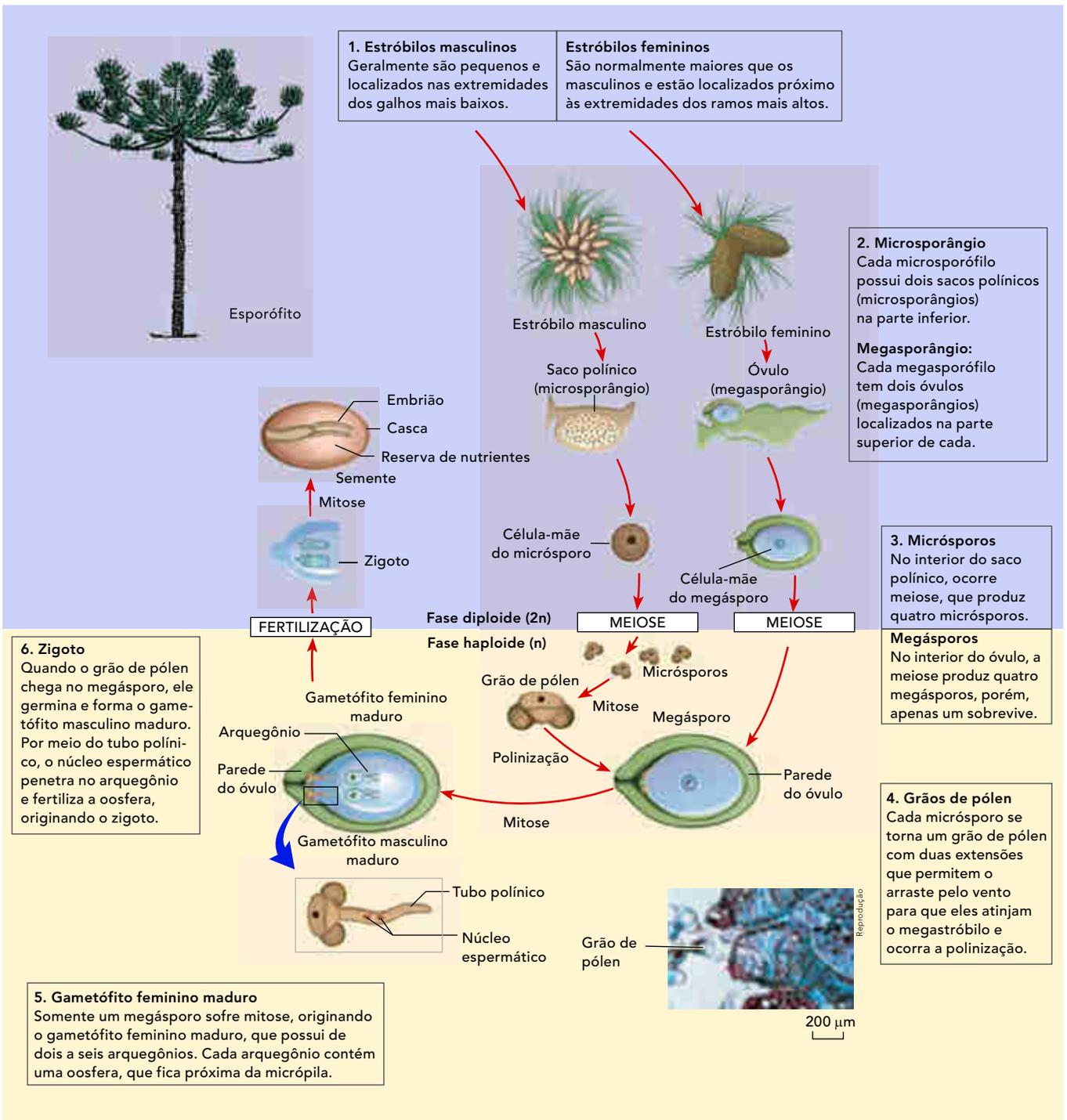
Fotografia de uma semente alada de uma gimnosperma do gênero *Pinus*.

As sementes permanecem no estróbilo feminino até seu amadurecimento e, quando a pinha abre, elas se desprendem. De acordo com a espécie em questão, as sementes podem: 1. cair diretamente no chão; 2. deslocar-se por dezenas de metros arrastadas pelo vento (**anemocoria**); 3. ser transportadas por certas aves e mamíferos (**zoocoria**). Nos últimos dois casos, a germinação pode ocorrer a uma boa distância da planta mãe, promovendo, assim, a dispersão e evitando uma disputa local por recursos com a planta original.

O surgimento da semente foi um dos principais acontecimentos responsáveis pela dominância das espermatófitas no meio terrestre. Alguns benefícios gerados pela semente são mostrados a seguir.

- Protegem o embrião contra a perda de água devido à presença da casca.
- Nutrem o embrião por meio de tecido haploide nutritivo (alguns autores se referem a esse tecido como endosperma haploide).

- Aumentam a chance de ocorrer dispersão por meio do vento ou por algum animal (aves, mamíferos etc.).
- Potencializam a capacidade de ocorrer germinação, já que a casca e o tecido nutritivo permitem que o embrião sobreviva por um longo período até que as condições ambientais ideais ocorram.



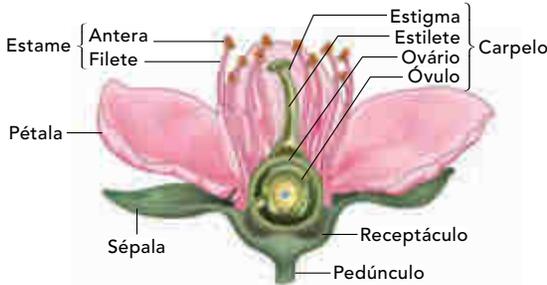
Representação esquemática do ciclo de vida de uma espécie de gimnosperma do gênero *Pinus*.

## Reprodução sexuada de angiospermas

As plantas vasculares com sementes e frutos, as angiospermas, têm ciclo de vida semelhante ao das gimnospermas, porém, nas gimnospermas, as estruturas reprodutoras são os estróbilos, enquanto nas angiospermas são as flores. Portanto, será iniciado o estudo do ciclo de vida de uma angiosperma analisando a estrutura de uma flor completa, que é composta pelas seguintes partes.

- **Pedúnculo ou pedicelo** – Fornece sustentação da flor no caule.
- **Receptáculo** – Local em que estão inseridos os verticilos florais.

- **Androceu** – Conjunto de folhas modificadas, os **estames**, nos quais encontra-se o sistema masculino de reprodução.
- **Gineceu** – Conjunto de folhas modificadas, denominadas **carpelos** ou **pistilos**, que formam o sistema feminino de reprodução.
- **Cálice** – Conjunto formado por folhas modificadas, geralmente verdes, denominadas sépalas.
- **Corola** – Conjunto formado por folhas modificadas, geralmente coloridas, denominadas pétalas.

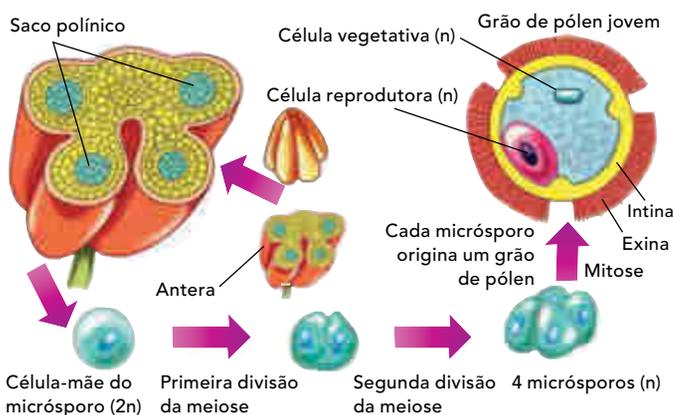


Partes de uma flor completa.

## Estrutura e constituição dos estames

Os estames são os esporófilos masculinos da planta. Consequentemente, nessas folhas modificadas, encontram-se os microsporângios produtores de micrósporos (grãos de pólen). Cada um dos estames, por sua vez, é constituído pelo filete e pela antera. O **filete** é uma estrutura de forma filamentosa que sustenta a **antera**, porção dilatada do filete que abriga os sacos polínicos ou microsporângios. Unindo o filete à antera, tem-se o tecido conectivo.

Dentro de cada saco polínico existem células diploides (2n), denominadas **células-mães dos micrósporos**. Cada uma dessas células passa por uma meiose, originando quatro micrósporos haploides (n). Após esse processo, cada micrósporo sofre mitose e se diferencia em grão de pólen. Depois de formado, encontra-se, no interior de um grão de pólen, um núcleo vegetativo e um núcleo reprodutivo, ambos haploides.

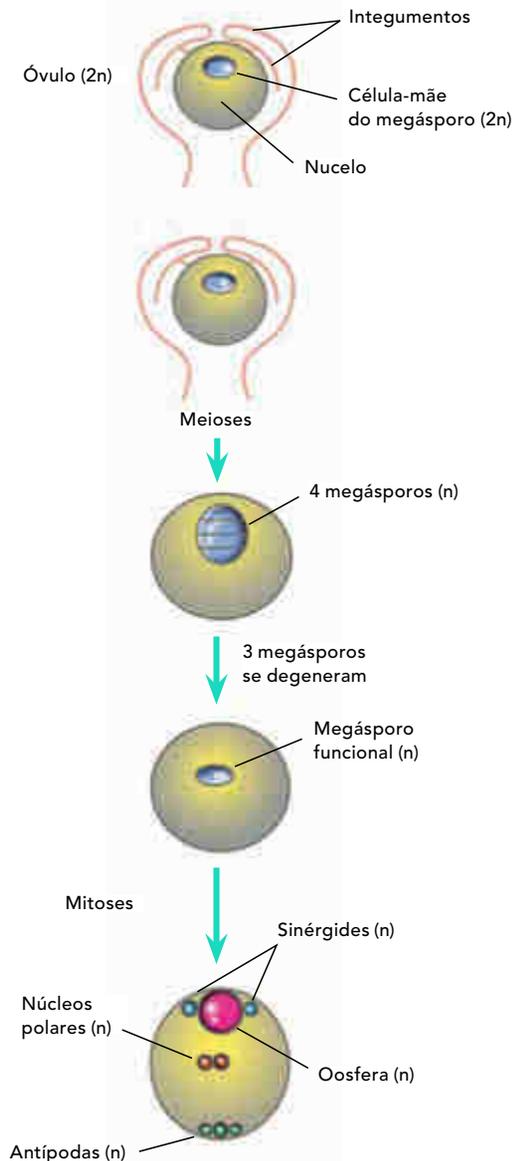


Representação esquemática da formação do grão de pólen.

## Estrutura e constituição dos carpelos

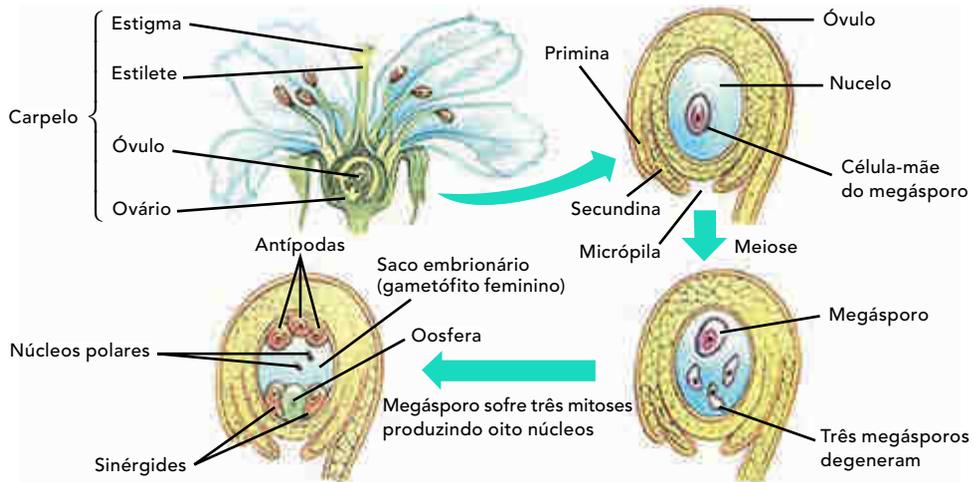
Os carpelos ou pistilos são os esporófilos femininos da planta. Cada carpelo é formado por um estigma, um estilete e um ovário. O **estigma** é a porção apical responsável pela recepção de pólen, sustentado pelo **estilete**. Na porção basal do carpelo, encontra-se o **ovário**, que produz e armazena óvulos.

Na realidade, cada óvulo é considerado um megasporângio, ou seja, uma estrutura produtora de megásporos. Dentro de cada megasporângio, encontra-se uma célula diploide, a célula-mãe do megásporo. Ela sofre meiose e origina quatro células haploides (n), sendo que três delas degeneram e apenas uma, denominada **megásporo funcional**, cresce e passa a ocupar praticamente todo o espaço interno do megasporângio. Em seguida, o núcleo haploide do megásporo sofre três mitoses consecutivas e origina oito núcleos haploides, dos quais três formam as **antípodas**, que são células situadas no polo distal em relação à micrópila; dois formam as **sinérgides**, células localizadas no polo proximal em relação à micrópila; dois ficam na região central e são chamados de **núcleos polares**; e um forma a oosfera, gameta feminino que fica situado entre as sinérgides.



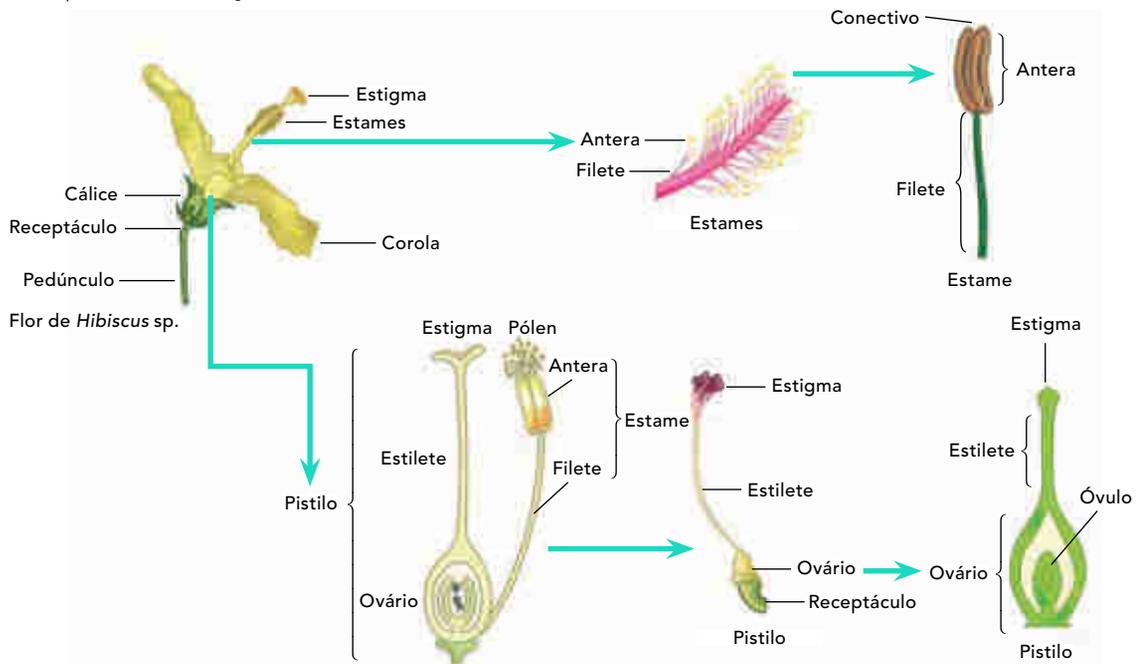
Representação esquemática do desenvolvimento do óvulo em angiospermas.

Depois da maturação do óvulo, ele apresenta um saco embrionário ou gametófito feminino, que aloja o gameta feminino, a oosfera; dois envoltórios, a **primina** (externo) e a **secundina** (interno); e uma abertura do óvulo, a **micrópila**.



Representação esquemática da flor com detalhes da formação do megásporo e do gametófito feminino.

Após a análise da estrutura de uma flor completa e a formação dos gametas de angiospermas, será estudado detalhadamente seu processo reprodutivo. Para melhor compreender esse processo, ele será subdividido em três etapas: polinização, germinação do pólen e fertilização.



Estrutura e constituição de estames e carpelos.

## Polinização

Denomina-se polinização o transporte do grão de pólen da antera até o estigma. O deslocamento do grão de pólen pode ocorrer devido à ação do vento (polinização **anemófila**) ou de seres vivos, como insetos (polinização **entomófila**), pássaros (polinização **ornitófila**), morcegos (polinização **quiropterófila**) etc. Flores que são polinizadas pela ação de insetos ou pássaros normalmente têm o cálice e a corola vistosos, estruturas produtoras de odores (glândulas odoríferas) e estruturas produtoras de nutrientes (nectários). Já os estigmas dessas flores são estreitos, ao contrário do que se verifica entre as flores polinizadas pelo vento.



Polinização por insetos ou polinização entomófila (A), por aves ou polinização ornitófila (B) e por morcegos ou polinização quiropterófila (C).

Outro detalhe interessante é que flores diurnas, ou seja, flores que se abrem durante o dia, costumam apresentar cores brilhantes para atrair seus polinizadores, enquanto as flores noturnas normalmente exalam um perfume acentuado e não são muito coloridas.

## Germinação do pólen e fertilização

Em angiospermas, os grãos de pólen pousam e aderem ao estigma da flor e não mais diretamente à micrópila, como ocorre nas gimnospermas. A adesão do grão de pólen ao estigma, então, induz à germinação desse grão, formando assim o tubo polínico, que cresce, penetrando no estilete em direção à micrópila do óvulo. No interior do tubo, pode ser visto o **núcleo vegetativo** (núcleo do tubo), que orienta o crescimento do tubo, e logo atrás dele observa-se o núcleo reprodutivo. Esse último, antes de atingir o óvulo, divide-se e origina dois **núcleos espermáticos** haploides, considerados os gametas masculinos. Por isso, o tubo polínico constitui o gametófito masculino.



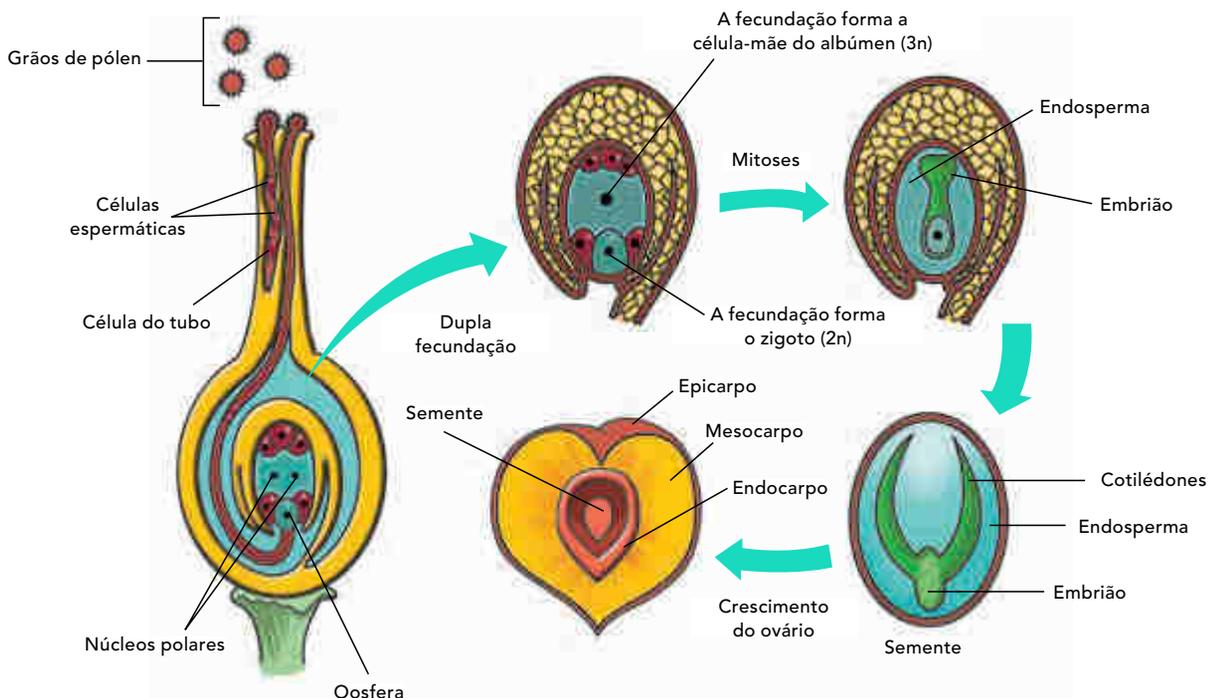
Representação esquemática do processo de germinação do grão e formação do tubo polínico.

Quando atinge o ovário, o tubo polínico penetra no óvulo por meio da micrópila, possibilitando que ocorra a **dupla fecundação**, processo que ocorre exclusivamente no grupo das angiospermas. Uma dessas fecundações ocorre como resultado da fusão de um núcleo espermático com a oosfera, originando o **zigoto**, que sofre sucessivas mitoses para formar o embrião diploide. A outra fecundação ocorre pela fusão do outro núcleo espermático com os dois núcleos polares, originando uma célula triploide, a célula-mãe do albúmen, que sofre mitoses e forma um tecido triploide ( $3n$ ), de reserva nutritiva para o embrião, o **albúmen** ou **endosperma**. Lembre-se de que nas gimnospermas esse tecido nutritivo é haploide.

## Formação da semente e do fruto

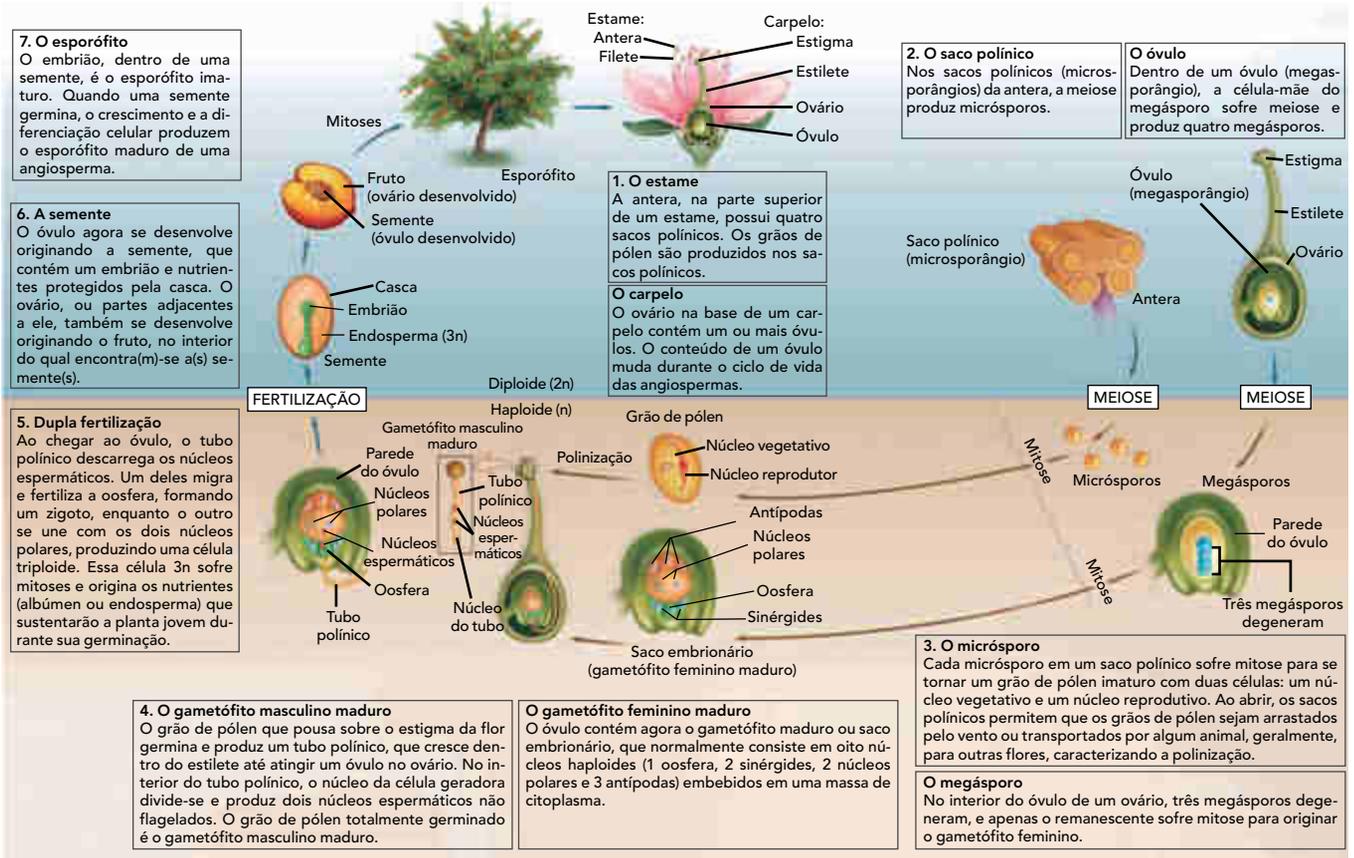
Na maioria das angiospermas, após a fecundação o ovário se desenvolve, formando o fruto, e os óvulos em seu interior originam as sementes. As sementes são constituídas por três partes: o tegumento ou casca, estrutura que fornece proteção à dessecação, aos predadores e a parasitas; o embrião ( $2n$ ), que é o próprio esporófito jovem que originará a futura planta, e o endosperma ( $3n$ ), que atua como reserva nutritiva para o embrião. Entretanto, muitas espécies de plantas, como o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) e o jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*), não apresentam mais endosperma quando a semente amadurece, pois esse tecido já é consumido inteiramente pelo embrião, ficando apenas resquícios do tecido de reserva. Normalmente, o embrião apresenta três partes: **folhas embrionárias** (cotilédones), **radícula** (que originará a raiz) e **caulículo** (que originará o caule).

À medida que a semente é formada, a parede do ovário também desenvolve-se, dando origem ao fruto. Ele é constituído por uma parede, o **pericarpo**, que é dividido em três regiões: o **epicarpo**, o **mesocarpo** (em geral a parte comestível, por causa do acúmulo de reserva nutritiva) e o **endocarpo**.



Representação esquemática da polinização e da formação da semente e do fruto.

O fato de as sementes estarem protegidas pelo fruto aumentou a chance de **dispersão da semente**. Isso se deve ao fato de o fruto poder ser transportado pelo vento (anemocoria), pela água (hidrocoria) ou mesmo por animais (zooecoria). Os animais podem dispersar os frutos pelos processos de epizooecoria ou exozooecoria, que ocorre quando os frutos aderem acidentalmente à sua superfície, ou então por endozooecoria, que ocorre quando os animais procuram ativamente o fruto devido à presença de nutrientes nele e/ou nas sementes. Dessa forma, é possível o animal comer o fruto e descartar a semente, ou, apesar da possibilidade de as sementes serem ingeridas juntamente com o fruto, algumas delas conseguem passar intactas pelo sistema digestório desses animais, sendo, depois de certo tempo, eliminadas com as fezes. Caso seja exposta a condições favoráveis, a semente germinará, e as reservas do cotilédono ou do endosperma serão consumidas pela planta em crescimento. Quando essas reservas se esgotarem, já existirá uma pequena raiz originada da radícula. O caulículo origina a parte inicial do caule, e a gêmula, a parte superior e as primeiras folhas. Assim, completa-se o ciclo de vida de uma angiosperma.



Representação esquemática da reprodução sexuada de uma angiosperma.

## Reprodução assexuada nas plantas vasculares

Em pteridófitas, gimnospermas e angiospermas, o tipo de reprodução assexuada mais comum é a chamada **propagação vegetativa**. Por meio dela, tem-se a formação de raízes em estruturas como caules e folhas, que acabam originando novos indivíduos, uma vez que essas estruturas normalmente apresentam regiões (gemas ou botões vegetativos) com tecido indiferenciado (meristema primário) capaz de originar uma nova planta. Além de, geralmente, os indivíduos serem gerados mais rapidamente que por reprodução sexuada, eles são geneticamente iguais aos seus genitores, conservando, assim, as características da espécie nas novas gerações. Isso desperta o interesse do ser humano, que sempre busca a manutenção de certas características em uma planta (produtividade, porte, coloração etc.).



Fotografias de propagação vegetativa. (A) Folhas da planta flor-da-abissínia (*Kalanchoe delagoensis*) com propágulos\* em sua borda. (B) Caule de samambaia (pteridófito) com botões germinativos em desenvolvimento (indicados pelas setas vermelhas). \*Propágulos: estruturas que se desprendem de uma planta adulta e que podem dar origem a uma nova planta geneticamente igual à sua genitora.

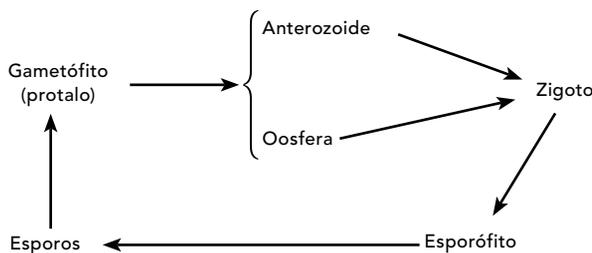
**Atividades para sala**

- Na passagem evolutiva de plantas aquáticas (algas verdes) para o ambiente terrestre, alguns cientistas consideram as briófitas as primeiras a apresentarem características que permitiram que as plantas invadissem esse tipo de ambiente. No referido grupo (briófitas), uma dessas características é o(a)
  - aparecimento da clorofila dando início ao processo de fotossíntese.
  - surgimento de tecidos de condução.
  - formação de sementes como o modo mais eficiente de propagação.
  - surgimento de rizoides, que assumiram as funções de absorção e fixação.
  - eliminação da dependência da água para a fecundação.
- As imagens mostram os soros visíveis a olho nu em uma folha de samambaia.



Com relação à reprodução das pteridófitas, é correto afirmar que

- a sincronia entre a fase do ciclo da planta e a estação úmida do local é importante para que os anterídios, haploides e flagelados atinjam o arquegônio.
  - em relação às briófitas, as pteridófitas possuem um aumento da fase gametofítica, e a fase esporófito denomina-se passageira ou efêmera.
  - os soros são agrupamentos de esporângios que se distribuem na face inferior ou na borda dos folíolos; os esporângios são responsáveis pela produção de esporos por meio da meiose.
  - o zigoto haploide se divide por meioses sucessivas, originando o embrião, que será nutrido por substâncias fornecidas pelo esporófito e terá suas células diferenciando-se em raiz, caule e folha.
  - anterídios e arquegônios, produzidos nas folhas férteis que apresentam soros, garantem a produção de anterozoídeos e oosferas, que passarão por fecundação e originarão novos gametófitos.
- O esquema a seguir representa o ciclo reprodutivo de uma pteridófitá (samambaia).



- Nesse ciclo reprodutivo, a meiose ocorre
- no gametófito, para a formação de gametas.
  - no esporófito, para a formação dos esporos.
  - logo após a fecundação.
  - durante o desenvolvimento do zigoto.
  - durante a germinação dos esporos.

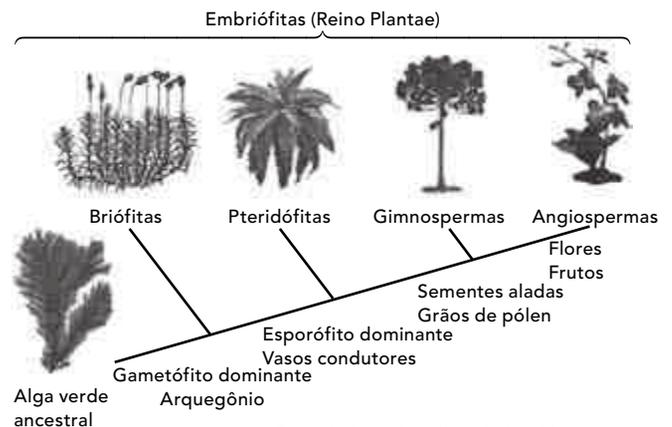
- Com o desenvolvimento das civilizações, os desenhos das plantas evoluíram e, atualmente, contribuem para a divulgação dos conhecimentos científicos relacionados com a flora em geral. A ilustração apresenta o pinheiro-do-paraná, *Araucaria angustifolia*, destacando seu tronco cilíndrico e reto, bem como sua copa voltada para o céu, seus pinhões e pinhas.



Desenho do pinheiro-do-paraná. Disponível em: <<http://tinyurl.com/lxhlhqk>>. Acesso em: 22 ago. 2014.

Além dos aspectos descritos, pode-se afirmar que essa planta se caracteriza pela

- ausência de raízes.
  - ausência de vasos condutores de seiva.
  - presença de flores, frutos e sementes.
  - presença de sementes comestíveis.
  - presença de frutos comestíveis.
- A imagem a seguir representa o processo de evolução das plantas e algumas de suas estruturas. Para o sucesso desse processo, a partir de um ancestral simples, os diferentes grupos vegetais desenvolveram estruturas adaptativas que lhes permitiram sobreviver em diferentes ambientes.



Disponível em: <<http://biopibidufsj.blogspot.com>>. Acesso em: 29 fev. 2012. (adaptado)

Qual das estruturas adaptativas apresentadas contribuiu para uma maior diversidade genética?

- As sementes aladas, que favorecem a dispersão aérea.
- Os arquegônios, que protegem o embrião multicelular.
- Os grãos de pólen, que garantem a polinização cruzada.
- Os frutos, que promovem uma menor eficiência reprodutiva.
- Os vasos condutores, que possibilitam o transporte da seiva bruta.

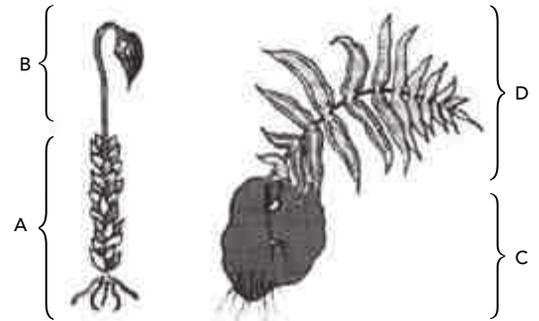
6. (ENEM) Os frutos são exclusivos das angiospermas, e a dispersão das sementes dessas plantas é muito importante para garantir seu sucesso reprodutivo, pois permite a conquista de novos territórios. A dispersão é favorecida por certas características dos frutos (ex.: cores fortes e vibrantes, gosto e odor agradáveis, polpa suculenta) e das sementes (ex.: presença de ganchos e outras estruturas fixadoras que se aderem às penas e pelos de animais, tamanho reduzido, leveza e presença de expansões semelhantes a asas). Nas matas brasileiras, os animais da fauna silvestre têm uma importante contribuição na dispersão de sementes e, portanto, na manutenção da diversidade da flora.

Das características de frutos e sementes apresentadas, quais estão diretamente associadas a um mecanismo de atração de aves e mamíferos?

- Ganchos que permitem a adesão aos pelos e penas.
- Expansões semelhantes a asas que favorecem a flutuação.
- Estruturas fixadoras que se aderem às asas das aves.
- Frutos com polpa suculenta que fornecem energia aos dispersores.
- Leveza e tamanho reduzido das sementes, que favorecem a flutuação.

- as plantas avasculares não precisam da água para a reprodução, pois possuem tecidos diferenciados que possibilitam dominar o ambiente terrestre.
- as gimnospermas são consideradas plantas mais primitivas do que as pteridófitas, pois possuem sementes nuas, necessitando da água para a reprodução.
- todas as plantas necessitam da água para a reprodução, inclusive as fanerógamas, assim, esse critério não deveria ser utilizado.

3. Observe a imagem a seguir.

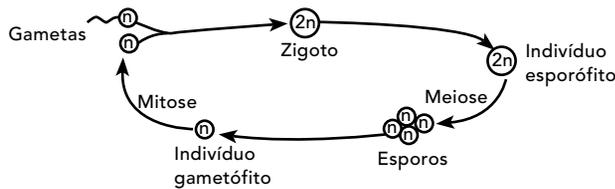


A respeito das plantas representadas, são feitas as afirmações a seguir. Assinale a alternativa que contém uma afirmação correta.

- B e D representam as fases gametofíticas, formadas por células diploides (2n).
- A e C representam as fases gametofíticas, formadas por células haploides (n).
- B e C são originadas a partir do zigoto.
- Anterozoide e oosfera são produzidos por meiose.
- D e C são estruturas presentes em sementes e folhas de gimnospermas.

### Atividades propostas

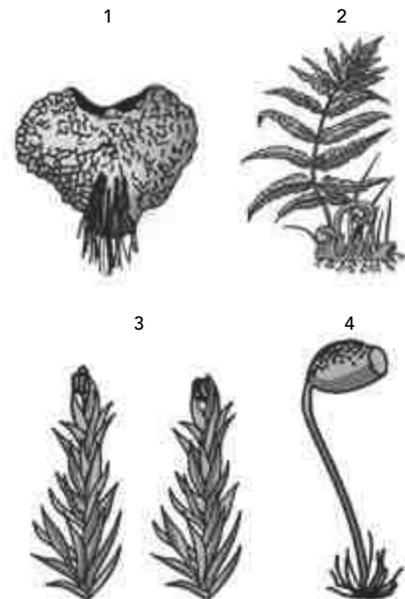
1. A imagem a seguir ilustra o ciclo reprodutivo presente no grupo dos vegetais.



Considerando-se as características desse tipo de ciclo e as relações com a evolução do grupo dos vegetais, é possível afirmar que

- o ciclo apresenta uma metagênese por alternar uma etapa assexuada, chamada de esporofítica, a partir de uma outra etapa sexuada, denominada gametofítica.
  - os esporos, ao serem fecundados, permitem gerar organismos com o dobro da quantidade de cromossomos em suas células.
  - o indivíduo gametófito é responsável pela produção de gametas por uma meiose denominada espórica.
  - a prevalência da etapa esporofítica sobre a etapa gametofítica, nos principais grupos vegetais, reflete, provavelmente, uma melhor adaptação desse grupo ao ambiente terrestre.
  - a etapa esporofítica é haploide como consequência da germinação de esporos por uma divisão equacional, que mantém inalterado o número cromossômico original.
2. Várias hipóteses foram desenvolvidas para explicar a evolução das plantas. O critério que corrobora a hipótese evolutiva, a mais aceita atualmente, utiliza a dependência da água para que possa ocorrer o processo de fecundação. Sobre esse processo, é correto afirmar que
- as plantas que não dependem da água para se reproduzir são briófitas, gimnospermas e espermatófitas.
  - as briófitas e pteridófitas necessitam da água, pois produzem anterozoides que necessitam "nadar" até a oosfera.

4. Observe a imagem a seguir.



Quanto às etapas do ciclo de vida de um musgo e de uma samambaia, representadas na figura, é correto afirmar que

- a meiose ocorre em 1 e 3.
- a meiose ocorre em 2 e 3.
- 1 e 3 representam a fase gametofítica.
- em 2 são produzidos somente gametas masculinos.
- 2 e 3 são fases haploides.

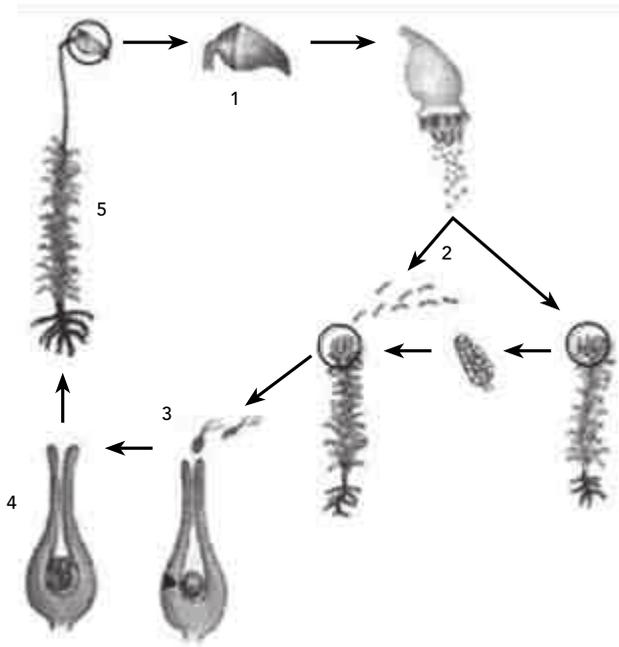
5. As samambaias pertencem ao grupo das pteridófitas, as quais possuem características adaptativas que permitiram a conquista do ambiente terrestre com mais eficiência que o grupo das briófitas.

Sobre as adaptações morfológicas e reprodutivas que possibilitaram o sucesso das pteridófitas no ambiente terrestre, considere as afirmativas a seguir.

- I. A predominância da fase esporofítica.
- II. O aparecimento dos tecidos xilema e floema.
- III. O desenvolvimento de rizoides para fixação.
- IV. O surgimento dos esporos para reprodução.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
  - b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
  - c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
  - d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
  - e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.
6. As plantas avasculares são pequenas e facilmente encontradas em ambientes sombreados. Sobre suas características reprodutivas, observe o ciclo de vida exemplificado a seguir e assinale a alternativa correta.

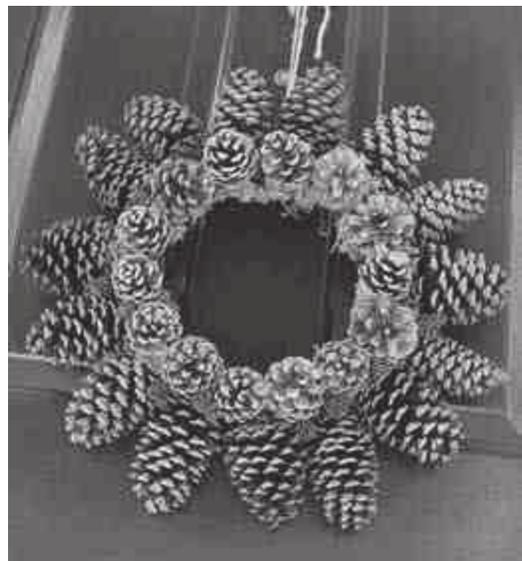


- a) Na cápsula (1), ocorre a meiose, formando-se esporos haploides que são eliminados no solo.
- b) Cada esporo desenvolve-se formando gametófitos unicamente masculinos (2).
- c) Anterozóides haploides fecundam oosferas diploides (3), ocorrendo a seguir divisões meióticas sucessivas.
- d) O arquegônio com o embrião diploide (4) desenvolve-se formando uma estrutura haploide.
- e) O esporófito (5) representa a fase assexuada do ciclo reprodutivo.

7. Em um experimento, um tipo de planta que se reproduz tanto de forma sexuada como assexuada é cultivada em dois ambientes artificiais distintos (I e II). No ambiente I, as condições de temperatura e umidade são constantes e não há presença de insetos. No ambiente II, há presença de insetos e as condições de temperatura e umidade são instáveis.

Considerando os dois ambientes, a reprodução que teria melhor resultado na produção vegetal está

- a) nos dois ambientes, reprodução sexuada, pois gera indivíduos idênticos que produzem um maior número de plantas.
  - b) no ambiente II, reprodução assexuada, pois uma planta bem adaptada gerará um descendente também bem adaptado.
  - c) nos dois ambientes, reprodução assexuada, pois esta gera plantas já maduras e adaptadas, não apresentando fragilidades em presença de pragas.
  - d) no ambiente II, reprodução sexuada, pois gera sempre uma variedade de indivíduos, o que aumenta a capacidade adaptativa a condições climáticas ou ataque de pragas.
  - e) no ambiente II, reprodução sexuada, pois todas as plantas necessitam de agentes polinizadores biológicos como os insetos.
8. Na época de Natal, é comum ornamentar as portas das casas com guirlandas dos mais diferentes tipos, como mostra a ilustração seguinte.

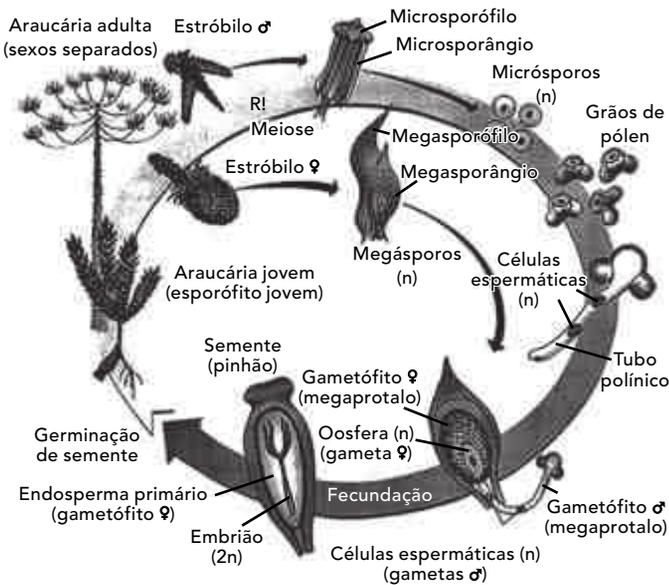


Disponível em: <<http://designparausar.files.wordpress.com>>. Acesso em: 30 set. 2014.

As estruturas vegetais presentes nesse enfeite correspondem a

- a) folhas jovens de pteridófitas.
- b) flores agrupadas de dicotiledôneas.
- c) porções fotossintetizantes de briófitas.
- d) frutos em espiga de monocotiledôneas.
- e) estruturas reprodutivas de gimnospermas.

9. A figura a seguir esquematiza o ciclo de vida de um pinheiro.



AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia dos organismos: classificação, estrutura e função nos seres vivos*. v. 2. São Paulo: Moderna, 1997.

Com relação ao ciclo de vida de gimnospermas, é correto afirmar que

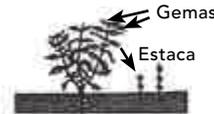
- ao atingir a maturidade sexual, a gimnosperma produz ramos reprodutivos especiais, as flores.
- um estróbilo apresenta um eixo central, no qual estão inseridas as folhas especializadas, os esporófilos. Eles formam esporângios, em cujo interior são produzidos os frutos.
- os esporos femininos das gimnospermas acumulam substâncias nutritivas e crescem muito, sendo por isso denominados micrósporos. Os esporos masculinos são bem menores e denominados megásporos.
- no interior dos microsporângios, centenas de células sofrem meiose e originam micrósporos haploides, enquanto, no interior de um megasporângio, uma célula diploide acumula substâncias nutritivas e cresce muito, sofrendo meiose em seguida. Das quatro células resultantes da meiose feminina, três se degeneram, resultando em apenas uma, denominada megásporo.
- a chegada dos grãos de pólen ao óvulo é chamada de polinização. No pinheiro da espécie *Araucaria angustifolia*, o principal agente responsável por essa etapa é a gralha azul. Após a gralha azul levar o grão de pólen ao óvulo, ele germina, formando um longo tubo polínico.

10. O reino vegetal ou Plantae é formado por organismos em geral fotossintetizantes que, possivelmente, originaram-se no ambiente aquático. A perfeita adaptação das plantas ao ambiente terrestre só foi possível graças ao surgimento de diversas novidades evolutivas. Sobre esse assunto, assinale a alternativa que contém apenas informações corretas.

- Os estômatos são estruturas relacionadas diretamente à reprodução, estando presentes apenas nas angiospermas.
- Apenas hepáticas e antóceros possuem um sistema vascular verdadeiro, formado de xilema e floema; esse sistema permite a condução de água, sais minerais e produtos da fotossíntese a maiores distâncias dentro da planta.

- A cutícula é uma camada que auxilia as plantas, reduzindo as perdas d'água por evapotranspiração e protegendo-as da ação danosa dos raios U.V. do sol; essa estrutura ocorre apenas nas gimnospermas.
- A fecundação intermediada pelo transporte do gameta masculino através de um tubo polínico reduz a dependência de água nas plantas, durante a reprodução, e é um fenômeno presente nas angiospermas.
- A redução da geração esporófitica (esporófito) e o aumento da geração gametófitica (gametófito) nas angiospermas permitiram seu sucesso reprodutivo no ambiente terrestre.

11. As figuras apresentam diferentes mecanismos que um agricultor pode empregar para promover a propagação vegetativa de algumas espécies vegetais.



Estaquia: ramos caulinares, ou estacas, são cortados, e a extremidade cortada é enterrada no solo para que forme raízes.



Mergulhia: parte de um ramo da planta é enterrado até que se formem raízes, quando então é separado da planta que lhe deu origem.



Alporquia: é feito um pequeno corte em um dos ramos da planta, que é recoberto com terra úmida até que crie raízes, quando então é separado da planta que lhe deu origem.



Enxertia: ramos caulinares com gemas, chamados de enxertos ou cavaleiros, são inseridos em outra planta provida de raízes, chamada de porta-enxerto ou cavalo.

Bio, de Sônia Lopes e Sérgio Rosso. (adaptado)

Sobre esses quatro métodos de propagação vegetativa, pode-se afirmar corretamente que

- apenas um deles permite que uma mesma planta produza frutos de duas espécies diferentes.
- na estaquia, a gema apical da estaca deve ser mantida, sem a qual não haverá o desenvolvimento das gemas laterais.
- na mergulhia, a nova planta produzirá apenas a parte vegetativa, e não desenvolverá frutos ou sementes.
- na alporquia, a nova planta será um clone da planta que lhe deu origem, exceto pelo fato de não poder desenvolver a reprodução sexual.
- na enxertia, é importante que o tecido meristemático do enxerto não entre em contato com o tecido meristemático do porta-enxerto, sob o risco de não se desenvolver.

12. Na reprodução dos vegetais com sementes, ocorre a denominada dupla fecundação. Isso significa que

- as células envolvidas na reprodução dividem-se duas vezes consecutivamente, para formarem o embrião diploide.
- um dos núcleos espermáticos junta-se ao núcleo da oosfera e forma o embrião (2n); o outro núcleo espermático funde-se aos dois núcleos polares, resultando no endosperma (3n).
- cada núcleo espermático sofre duas divisões e cada uma das quatro células resultantes fecundará uma célula da oosfera.
- o núcleo da oosfera é fecundado por dois núcleos espermáticos do pólen.
- um dos núcleos espermáticos, ao juntar-se ao núcleo da oosfera, forma um embrião (3n), enquanto o outro junta-se a um dos núcleos polares e dá origem ao endosperma (2n).

**Neste livro:**

**Módulo 1:** Princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias; Aspectos genéticos do funcionamento do corpo humano.....150

**Módulo 2:** Grupos sanguíneos, transplantes, doenças autoimunes, sistema Rh e eritroblastose fetal; Segunda Lei de Mendel.....169

**Módulo 3:** Noções básicas de *linkage*; A genética do sexo e determinação genética do sexo na espécie humana; Pleiotropia e interação gênica.....183

Hereditariedade e diversidade da vida

C 4  
H 13,15

**Módulo**

**1**

## Princípios básicos que regem a transmissão de características hereditárias; Aspectos genéticos do funcionamento do corpo humano

Na Antiguidade, o ser humano observava que existiam semelhanças entre pais e filhos e que isso não se aplicava somente à espécie humana, mas também aos animais domésticos e às plantas que eram cultivadas. As primeiras ideias sobre hereditariedade eram provenientes do senso comum: o ser humano aprendeu a selecionar, em plantas e animais, características de interesse pela escolha dos reprodutores que as apresentavam. De fato, as questões genéticas representam um ponto central para vários aspectos das questões humanas.

Seguindo a natureza dos assuntos que investiga, a Genética é dividida em vários campos; entre eles, a Genética Molecular, a Bioquímica, a Genética do Melhoramento, a Citogenética e a Genética Humana.

Atualmente, a Genética experimenta grande desenvolvimento, acompanhando os avanços observados na área da Bioquímica e da cultura de tecidos.

A Genética Molecular estuda os fenômenos genéticos sob o ponto de vista químico, como o funcionamento da maquinaria celular responsável pela síntese proteica, partindo do gene (DNA) que a comanda. O processo de cura de doenças e a produção de medicamentos e vacinas também recorrem aos conhecimentos modernos da genética molecular.

A Bioquímica estuda o modo como os genes se manifestam e determinam as características hereditárias, enquanto a Genética do Melhoramento consiste na aplicação de técnicas que melhoram vegetais e animais, acentuando sua produtividade.

Os temas atuais associados à ciência da Genética, como a clonagem, a terapia gênica e as técnicas de engenharia genética, provocam grande impacto devido às perspectivas que abrem em relação à sua aplicabilidade prática. A partir da manipulação dos genes, despertou-se a necessidade de se compreender o significado de novos conceitos relacionados a essa área, como enzimas de restrição, eletroforese em gel, tecnologia do DNA recombinante, técnica do PCR – reação em cadeia da polimerase (*polymerase chain reaction*) – para produzir milhares de cópias de um único segmento de DNA, biblioteca de DNA, *fingerpint* (impressão digital molecular do DNA) etc.

Acrescenta-se, ainda, a esses temas: o Projeto Genoma Humano (PGH), que identificou os 3,2 bilhões de pares de bases do DNA correspondentes ao conjunto de genes dos 46 cromossomos humanos nas células diploides da linhagem somática; a incorporação de genes de determinada espécie em outra, visando à obtenção de uma descendência alterada geneticamente, ou seja, os seres transgênicos; e as novas pesquisas de genes associados ao câncer (oncogenes) e ao comportamento humano, incluindo alcoolismo, criminalidade,

inteligência, atitudes políticas, esquizofrenia e sociabilidade. A expectativa é de que essas novas pesquisas e esses conhecimentos contribuam para a melhoria do bem-estar da humanidade.

### Concepções pré-mendelianas

Determinadas espécies de organismos habitam os trópicos há 505-570 milhões de anos. Algumas delas não se assemelham a nenhum outro ser vivo existente. Isso ocorre porque elas são espectros do Período Cambriano, e conseguiram se conservar em um ambiente que não apresenta graves problemas de sobrevivência, com poucas modificações no decurso evolucionário. Essas espécies de organismos viveram em ambientes adequados às exigências vitais e transmitiram genes de geração a geração.

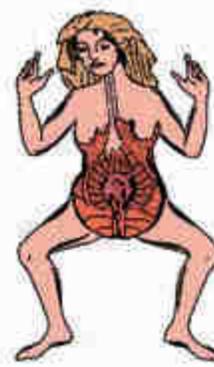
A perpetuação de uma espécie exige que o conjunto de todas as suas características genéticas seja hereditário, tanto as externas quanto as não visíveis. Nesse sentido, o ser humano sempre se preocupou em explicar a hereditariedade e a similaridade biológica entre a prole e os genitores.

Os animalculistas ou espermistas dos séculos XVII e XVIII acreditavam ver ao microscópio, dentro dos espermatozoides, um futuro ser humano em miniatura. Esse organismo seria levado ao trato reprodutor feminino durante o ato sexual e lá se desenvolveria, restando para a mulher um papel puramente de armazenagem e maturação.

Outra corrente acreditava que a criança que viria a nascer se localizava no interior do organismo feminino, e o homem somente contribuía com uma espécie de força vital que despertaria o ser em dormência.



Representação de um homúnculo dentro de um espermatozoide.



Desenho do século XV, mostrando os órgãos internos do sexo feminino.

## Teoria da Epigênese ou Epigenética

A **Teoria da Pré-formação** sugere que os organismos já se encontram completamente formados no interior das células sexuais ou gametas. Entretanto, o advento do microscópio possibilitou a descoberta das células e, com base em uma análise mais íntima dos gametas, constatou-se o equívoco dessa teoria.

A partir desse momento, Karl Ernst von Baer (1792-1876) e Caspar Friedrich Wolff (1733-1794) defenderam a **Teoria da Epigênese** ou **Epigenética**, segundo a qual os organismos surgem da união de um gameta masculino com o gameta feminino. A célula resultante dessa fusão denomina-se **ovo** ou **zigoto** e, a partir dela, por mitose, ocorre proliferação e especialização, originando todas as células que, em conjunto, constituem o organismo-filho.

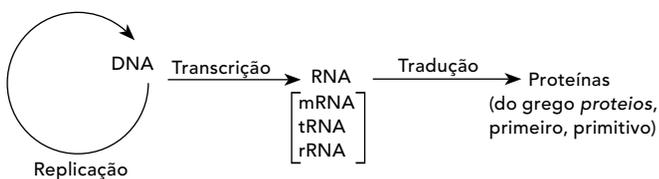
## Definição de Genética, gene e variação transgressiva

A **Genética** é o ramo das Ciências Biológicas que estuda a natureza química do material hereditário. Seu principal objeto de estudo é o DNA (ácido desoxirribonucleico), mais especificamente, uma seção dessa molécula helicoidal, o **gene**. Analisa ainda o modo de ação desse material genético, os mecanismos de sua transmissão ao longo das gerações e os fatores que causam as diferenças entre os seres vivos, tanto intra como interespecíficas.

A **hereditariedade** é a capacidade que os seres vivos apresentam de transmitir genes de ascendentes para descendentes ao longo das gerações.

O gene é um fragmento unidimensional de uma das duas hélices da molécula de DNA. Ele é constituído por uma sequência definida de desoxirribonucleotídeos e contém informações para a síntese de uma cadeia polipeptídica.

O dogma central da Biologia Molecular postula que todo organismo de constituição celular apresenta seu material genético sob a forma de DNA. Este, por sua vez, contém as informações genéticas autorreplicáveis, codificadas em seqüências de nucleotídios (genes), que podem ser transcritas em moléculas de RNA e traduzidas em cadeias polipeptídicas das proteínas. Veja o esquema a seguir.



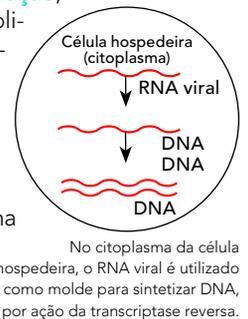
No organismo humano, existem diferentes tipos de proteínas, as quais realizam as mais variadas funções:

- **Enzimáticas:** são consideradas catalisadores biológicos.
- **Reservatórias e nutricionais:** como a ferritina, a ovalbumina e a gliadina.
- **Transportadoras:** como a hemoglobina (Hb).
- **Contráteis:** como a actina e a miosina.
- **Protetoras do sangue:** como os anticorpos e o fibrinogênio.
- **Hormonais e reguladoras:** como a insulina, a somatostatropina e o paratormônio.

- **Estruturais:** participam da formação dos tecidos, como o colágeno; participam da composição química das membranas celulares; formam citoesqueleto, cílios e flagelos; e auxiliam na composição das unhas, dos cascos, dos pelos de mamíferos, dos cornos e dos bicos.

Como foi observado no esquema anterior, os ácidos nucleicos passam por três processos essenciais para o funcionamento celular. O primeiro desses processos é a **replicação**. Nele, cada hélice filamentar do DNA genitor é copiado, de maneira precisa, pelo pareamento de bases entre nucleotídeos complementares, formando duas moléculas de DNA idênticas ao genitor. Na **transcrição**, a informação genética contida na molécula de DNA, sob a forma de bases sequenciadas, é copiada por pareamento complementar de bases nitrogenadas, formando uma cadeia de RNA-mensageiro (RNAm). Essa nova estrutura é de uma molécula de fita simples, constituída por uma seqüência de ribonucleotídeos, complementar à seqüência de desoxirribonucleotídeos do gene transcrito. E, por fim, tem-se a **tradução**, processo pelo qual o RNAm dirige a polimerização ordenada de aminoácidos específicos para a biossíntese de proteínas.

Após a descoberta da enzima transcriptase reversa (DNA-polimerase, RNA-dirigida), capaz de "retrotranscrever" DNA com base em RNA, ficou estabelecida a necessidade de extensão do dogma central da Biologia Molecular para incluir o fluxo da informação genética do RNA para o DNA.



## Variação genética

A **variação transgressiva genética** é a causa das diferenças entre indivíduos devido às modificações nos genes em uma dada população. Entre os seres da mesma espécie, existem grandes variações intrapopulacionais que conferem uma enorme diversidade de aspectos. Dessa forma, os olhos das pessoas podem ser castanhos (claro, médio e escuro), azuis (claro, médio e escuro), cinza, verde, amarelo etc. Os cabelos assumem cores e formas diferentes, como negros, castanhos ou ruivos e lisos, encaracolados ou crespos. Algumas crianças são mais baixas ou mais altas que seus genitores ou qualquer outro ancestral mais remoto.

As espécies de organismos que se reproduzem sexualmente revelam consideráveis variações genéticas. O chamado **polimorfismo** pode se manifestar em um ou mais níveis de fenótipo, dentro e/ou entre as populações.

A variabilidade genética, gerada por mutações gênicas, recombinação genética, cariogamia e segregação independente, representa a fonte primária sobre a qual atua a seleção natural.

## Primeira Lei de Mendel

O monge Gregor Mendel nasceu em 1822, na região de Morávia, que, na época, fazia parte do Império Austro-Húngaro. Ao terminar os estudos, Mendel ingressou no mosteiro agostiniano da cidade de Brünn, atual Brno, na República Tcheca. O mosteiro dedicava-se ao ensino de ciências e à pesquisa científica, o que influenciou Mendel a desenvolver um programa de pesquisa sobre hibridização de plantas.

Entre os anos de 1855 e 1864, ele realizou experiências com ervilhas (*Pisum sativum*) na horta do mosteiro. Em 1865, publicou os resultados a que chegara quanto à herança de variação, apresentando um manuscrito intitulado *Experimentos de hibridização de plantas*, no qual descrevia as teorias que viriam a se chamar Leis de Mendel e, posteriormente, originariam o conceito de gene, complementando a Teoria de Darwin.

Durante 35 anos, as conclusões de Mendel foram arquivadas e esquecidas nas bibliotecas europeias. Posteriormente, compreendeu-se que ele tinha captado a mecânica essencial da genética, ou seja, que reduzidas porções de informação (fatores hereditários) eram passadas de uma geração para a seguinte. Essas parcelas hereditárias viriam a denominar-se **genes**.

### O material biológico e o sucesso de Mendel

Além do método empregado na organização das experimentações e na análise estatística dos dados, o sucesso de Mendel, ao elaborar a base do conhecimento genético moderno, incluiu a escolha da ervilha de jardim (*Pisum sativum*) como material experimental. As sementes dessa planta apresentavam caracteres específicos, ou seja, seus indivíduos possuíam características com variedades bem definidas, sem formas intermediárias, revelando um caso de dominância completa ou total.

Características estudadas por Mendel com base em ervilhas ( <i>Pisum sativum</i> )		
Característica	Dominante	Recessiva
Forma da semente	 Lisa (redonda)	 Rugosa
Cor da semente (cotilédone)	 Amarela	 Verde
Forma da vagem	 Inflada	 Ondulada, comprimida ou constricta
Cor da vagem	 Verde	 Amarela
Cor da flor	 Púrpura	 Branca
Posição da flor no caule	 Axial	 Terminal
Tamanho da planta	 Alta (caule longo)	 Baixa (caule curto)

A escolha da ervilha *Pisum sativum* como material experimental incluiu ainda a sua facilidade de cultivo, pois ocupa pouco espaço e o seu ciclo de vida é curto, o que permite a obtenção de várias gerações em pouco tempo. Além disso, produz uma grande prole, permitindo a análise estatística dos resultados.

Alguns fatores contribuíram para a eficiência dos experimentos, como a concentração de um ou poucos caracteres de cada vez; a execução de cruzamentos controlados; a manutenção de registros numéricos cuidadosos dos resultados; e a sugestão de fatores hereditários, como causas particulares de vários padrões genéticos.

As ervilheiras possuem flores hermafroditas, com ocorrência natural de autopolinização e, portanto, autofecundação, uma vez que os verticilos reprodutores, gineceu (ovário,

estilete e estigma) e androceu (filete, conectivo e anteras), encontram-se circundados por duas pétalas fundidas, formando um compartimento denominado **carena**. Por si só, os grãos de pólen caem no estigma da própria flor. A fecundação, dessa forma, ocorre antes da abertura das pétalas (antese), favorecendo a **cleistogamia**.

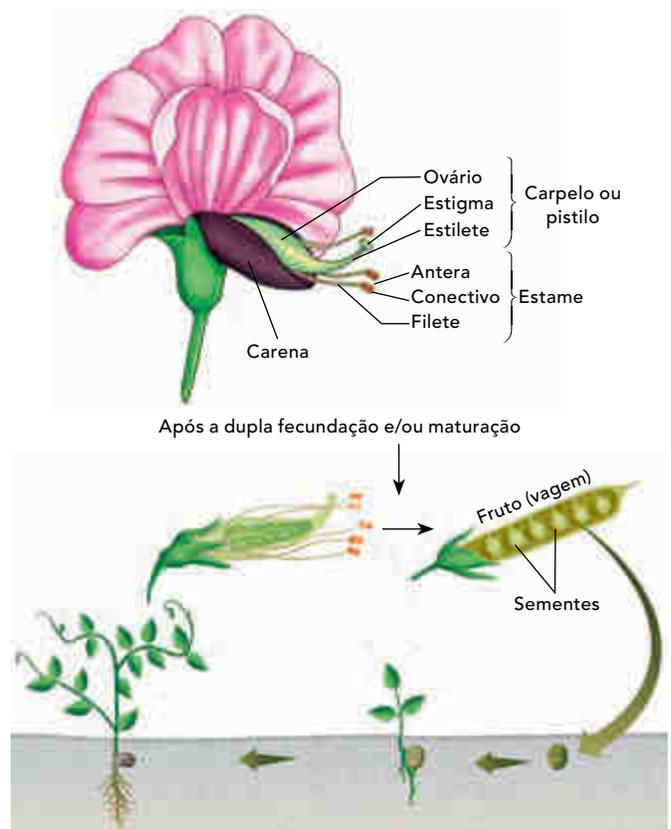
Na reprodução sexuada das angiospermas, por exemplo, a antera produz inúmeros micrósporos, nos quais as células-mãe, diploides, sofrem meiose, originando micrósporos haploides, que germinam e formam os gametófitos masculinos ou microprotalos. O gametófito masculino (grão de pólen) possui duas células: uma vegetativa, responsável pela formação do tubo polínico, e outra germinativa, que origina dois núcleos gaméticos. Com a deiscência (abertura) das anteras, os grãos de pólen são liberados e, quando atingem o estigma das flores, germinam, originando o tubo polínico.

Os carpelos, por sua vez, formam os óvulos. Cada óvulo contém oito núcleos, dos quais três migram para o polo próximo da micrópila (abertura do óvulo), originando três células: uma central, denominada **oosfera**, e duas nas laterais, as **sinérgides**. Três outros núcleos migram para o polo oposto e organizam três células antípodas. Os outros dois núcleos (polares) permanecem na região central do óvulo.

Um dos núcleos espermáticos, o haploide, funde-se com o núcleo da oosfera haploide, formando um zigoto diploide, que originará o embrião. O outro núcleo espermático funde-se aos dois núcleos polares centrais, originando uma célula triploide (3n), a qual, por mitoses sucessivas, origina o endosperma.

Das sementes, surgem plantas idênticas à planta-mãe (plantas puras), ou seja, linhagens cujas características não variam de uma geração para outra.

Flor da ervilha *Pisum sativum*



A disposição de estames e pistilo na flor de ervilha favorece a autopolinização. Das sementes, surgem plantas de ervilha idênticas à planta-mãe, caracterizando, assim, uma linhagem pura.

## Os experimentos de Mendel

A capacidade de Mendel de realizar suas descobertas antes do descobrimento da meiose foi, em parte, devido aos seus métodos experimentais, constituindo um excelente exemplo de preparação, execução e interpretação.

O procedimento experimental de Mendel consistia em cruzar duas linhagens puras de plantas para uma mesma característica. No caso da ervilha, a autofecundação é o processo normal de reprodução. Então, para realizar a fecundação cruzada entre duas variedades puras, Mendel precisou evitar artificialmente essa autofecundação. Para isso, cortava os estames de algumas flores pertencentes às variedades que desejava cruzar antes que amadurecessem. Quando a parte feminina dessas flores ficava madura, Mendel as polinizava com o pólen produzido pelas anteras de outra flor mantida intacta. Com isso, conseguia manter controle absoluto da **geração parental**, ou seja, dos indivíduos que participavam do cruzamento, podendo analisar com maior precisão o comportamento dos caracteres nos descendentes de cada cruzamento.

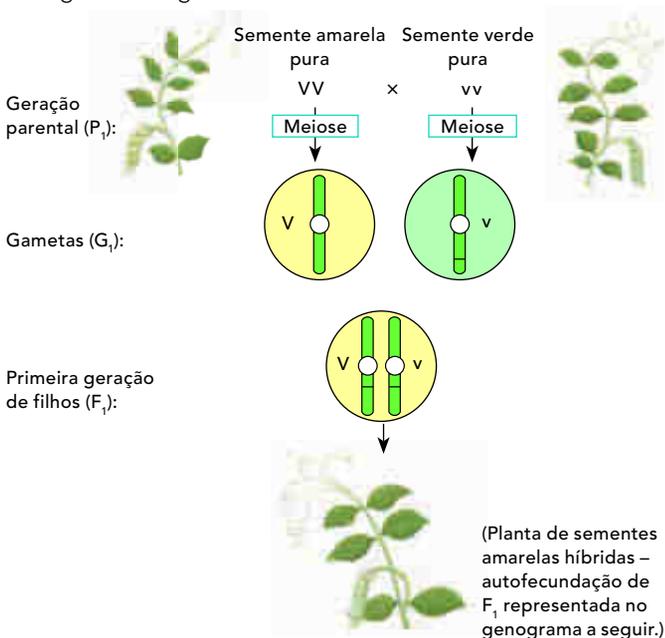
Os descendentes desse primeiro cruzamento foram denominados **geração F<sub>1</sub>**, ou seja, a primeira geração de filhos. Esses indivíduos foram deixados para se autofecundar, produzindo a segunda geração ou **geração F<sub>2</sub>**. Tratando seus dados estatisticamente, Mendel verificou um padrão constante de comportamento na herança dos sete caracteres analisados, o que o levou a conclusões conhecidas atualmente como a **Primeira Lei de Mendel**.

Será utilizada, como exemplo, a característica **cor do albúmen da semente (endosperma)**. O albúmen das sementes maduras é amarelo pálido ou verde.

No quadro a seguir, a letra **V**, maiúscula, simboliza o fator hereditário dominante, cotilédone amarelo, e a letra **v**, minúscula, simboliza o fator hereditário recessivo, cotilédone verde.

Genótipos	<b>VV</b> (Homozigoto dominante – puro)	<b>Vv</b> (Heterozigoto – híbrido)	<b>vv</b> (Homozigoto recessivo – puro)
Fenótipos	Amarelo	Amarelo	Verde

Em um de seus experimentos, Mendel cruzou plantas puras de sementes amarelas com plantas puras de sementes verdes e denominou essa geração parental P<sub>1</sub>, de acordo com o diagrama a seguir.



♀ \ ♂	V	v
V	VV	Vv
v	Vv	vv

As proporções obtidas na geração F<sub>2</sub>:

- Proporção fenotípica – 3 amarelas : 1 verde.
- Proporção genotípica – 1 **VV** : 2 **Vv** : 1 **vv**.

Mendel verificou que esses resultados eram os mesmos para os outros caracteres analisados, e as proporções obtidas não se afastavam significativamente da proporção fenotípica 3 : 1, como se observa no quadro a seguir.

Genitores	Primeira geração	Segunda geração		Proporção
Semente redonda × rugosa	Todos redondos	5 474 redondos	1 850 rugosas	2,96 : 1
Cotilédones amarelos × verdes	Todos amarelos	6 022 amarelos	2 001 verdes	3,01 : 1
Revestimento da semente marrom-cinza × branco	Todos marrom-cinza	705 marrom-cinza	224 brancos	3,15 : 1
Vagem inflada × constricta	Todas infladas	882 infladas	299 constrictas	2,95 : 1
Vagem verde × amarela	Todas verdes	428 verdes	152 amarelas	2,82 : 1
Flores axiais × terminais	Todas axiais	651 axiais	207 terminais	3,14 : 1
Caule longo × curto	Todos longos	787 longos	277 curtos	2,84 : 1
Totais		14 949	5 010	Média 2,98 : 1

## Enunciado da Primeira Lei de Mendel

A Primeira Lei de Mendel, também conhecida como Lei da Segregação dos Fatores, ou Lei da Pureza dos Gametas, pode ser enunciada da seguinte maneira:

As células somáticas contêm fatores hereditários aos pares, específicos para um determinado caráter; esses pares de fatores hereditários segregam-se durante a formação dos gametas, de maneira que cada um dos gametas contém apenas um fator de cada par.

## Algumas situações não previstas por Mendel – Herança intermediária e codominância

Até o momento, foram estudados casos em que um gene (alelo) se manifesta mesmo estando em heterozigose, ou seja, apresentando dominância completa, total ou absoluta. Existem situações em que os heterozigotos apresentam fenótipos diferentes dos parentais, um intermediário entre os homozigotos dominantes e recessivos. Essa situação é chamada **ausência de dominância**, herança intermediária ou dominância incompleta. Outro caso em que não ocorre dominância completa é a codominância. Esses casos serão analisados a seguir.

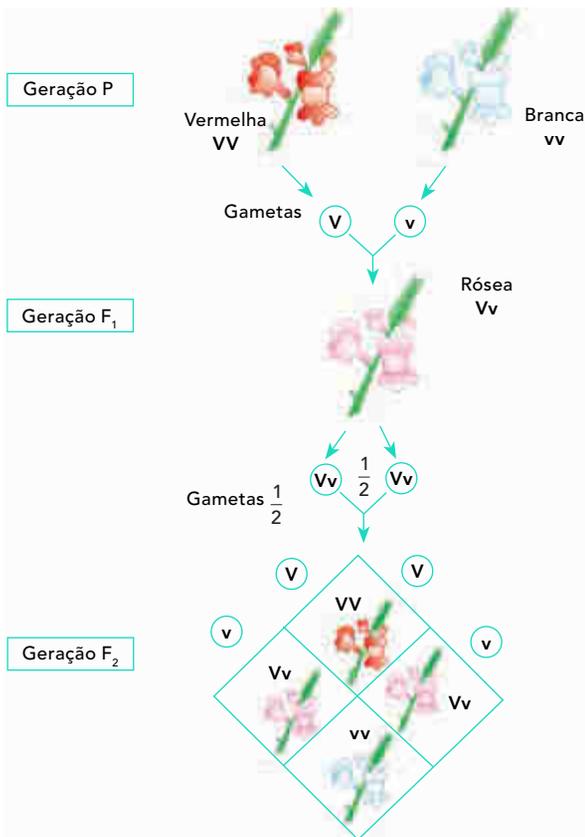
## Herança intermediária

Em experimentos realizados por outros estudiosos, foi verificado que os indivíduos híbridos da geração  $F_1$  apresentavam fenótipo intermediário em relação aos parentais. Quando indivíduos de  $F_1$  eram autofecundados para obter a geração  $F_2$ , a proporção fenotípica era diferente daquela observada por Mendel. Esse tipo de herança, contudo, não invalida a Primeira Lei de Mendel, pois as modificações referem-se às proporções fenotípicas, e não ao mecanismo de herança.

É importante observar que o fenótipo intermediário não representa uma mistura dos fenótipos parentais, dado que os genes que o determinam mantêm suas identidades individuais. Assim, segregam-se na formação de gametas de acordo com a lei mendeliana.

São muitos os casos de herança sem dominância. Um deles é observado na planta maravilha (*Mirabilis* sp.). Essa espécie apresenta flores cuja cor pode ser vermelha ou branca. Cruzando-se as linhagens vermelha e branca, obtêm-se, em  $F_1$ , plantas cujas flores são de cor rósea. Nota-se, portanto, que as flores de  $F_1$  apresentam um fenótipo intermediário entre os tipos parentais.

A autopolinização dos indivíduos de  $F_1$  resulta em uma geração  $F_2$ , na qual 25% das plantas são vermelhas; 50%, róseas; e 25%, brancas, estabelecendo-se a clássica proporção fenotípica 1 : 2 : 1.



- Cor das flores de maravilha: gerações P,  $F_1$  e  $F_2$ , mostrando o fenótipo intermediário exibido pelos heterozigotos.
- Proporção genotípica = 1 **VV** : 2 **Vv** : 1 **vv** e proporção fenotípica = 1 vermelha : 2 róseas : 1 branca.

Comparando-se as proporções genotípicas e fenotípicas do mono-hibridismo com e sem dominância, tem-se:

	Genótipos	Fenótipos
Cor das sementes em ervilhas (dominância)	$\frac{VV}{3} \frac{Vv}{1} \frac{vv}{1}$ 3 : 1	amarelas 3 verde 1
Cor das flores em maravilhas (ausência de dominância)	$\frac{VV}{1} : \frac{Vv}{2} : \frac{vv}{1}$	vermelha 1 róseas 2 branca 1

Da tabela anterior, podem ser extraídas as seguintes conclusões:

- nos casos em que há dominância na geração  $F_2$ , aparecem 2 fenótipos.
- nos casos de ausência de dominância, há, na geração  $F_2$ , 3 fenótipos.
- as proporções genotípicas, em  $F_2$ , são iguais nos dois casos: 1 : 2 : 1.
- quando há dominância, a proporção fenotípica em  $F_2$  é 3 : 1.
- quando há ausência de dominância, a proporção fenotípica em  $F_2$  é 1 : 2 : 1.

## Codominância

Na codominância, o heterozigoto não apresenta um fenótipo intermediário, mas sim os dois fenótipos simultaneamente. É o caso do gado da raça *shorthorn*, que, nos indivíduos homozigotos  $C^R C^R$ , a pelagem é vermelha; nos homozigotos  $C^W C^W$ , a pelagem é branca; e, nos heterozigotos  $C^R C^W$ , pelos brancos misturam-se aos pelos vermelhos, surgindo um fenótipo denominado **ruão** ou **malhado**.

## Cruzamento-teste e retrocruzamento

O cruzamento-teste é um tipo de experimento que serve para descobrir se um indivíduo portador de um caráter dominante, que, devido ao fato de o genótipo homozigoto dominante ter o mesmo fenótipo que o genótipo heterozigoto, é puro ou híbrido. Para isso, basta cruzá-lo com um indivíduo recessivo para a característica em questão. Se é obtido apenas um tipo de descendente (dominante), ele provavelmente será puro; se são obtidos dois tipos de descendentes, estará provado que é híbrido.

Existem três possibilidades para que o acasalamento seja denominado retrocruzamento:

- se a filiação  $F_1$  for cruzada com um de seus genitores.
- se a filiação  $F_1$  for cruzada com indivíduos de genótipo idêntico a um de seus genitores.
- se a filiação  $F_2$ , possuidora do fenótipo dominante (duvidoso), for cruzada com um indivíduo de genótipo recessivo, como um de seus avós, por exemplo.

## Genealogia

A genealogia é uma relação sistemática (feita por meio de palavras ou símbolos) dos ancestrais de um determinado indivíduo. Em outras palavras, é a representação gráfica da herança de uma ou mais características genéticas que ocorrem em certa família, estabelecendo-se como um método abreviado e simples de representação de dados hereditários.

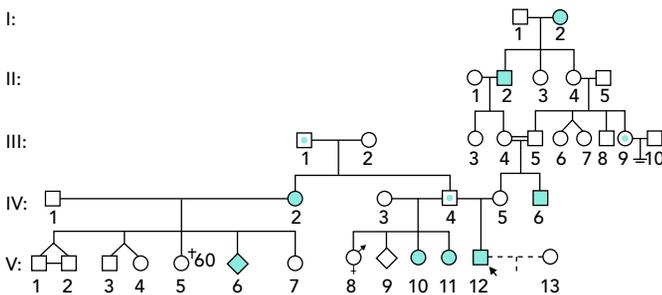
As genealogias permitem uma visão do conjunto das relações de parentesco e de incidência de uma determinada característica hereditária em certa família, assim como contribuem decisivamente na compreensão do tipo de herança (autossômica ou alossômica) de certa característica.

## Montagem de uma árvore genealógica

A montagem de uma genealogia é realizada com base em informações prestadas pelo probando (propósito ou caso-índice), que é o indivíduo da família que primeiramente chama a atenção dos pesquisadores.

A pesquisa sobre a família deve ser cuidadosa, procurando-se abranger o maior número de gerações e a maior parte de seus membros. Na genealogia, deverão estar representados não só os indivíduos afetados, mas, também, os normais, os abortos etc., uma vez que o objetivo principal de sua construção é permitir a identificação do tipo de herança da característica em estudo.

A genealogia representada a seguir foi montada de modo a fornecer variados símbolos que podem ser utilizados na sua construção. A coleta de informações abrange parte de seus membros e relata um caso de aconselhamento genético.



Legenda:

□ – Sexo masculino

○ – Sexo feminino

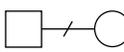
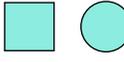
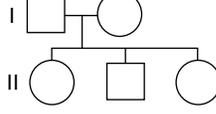
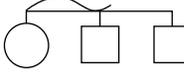
■ ou ● – Sexo masculino e sexo feminino apresentando outro fenótipo para a característica que se está estudando. Quando se trata da análise da ocorrência de determinada doença ou anomalia genética, os indivíduos que apresentam a anomalia são representados por essas figuras cheias e denominados afetados, contrastando com os normais (figuras vazias).

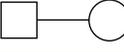
Um homem de 25 anos (V-12), probando\*, é física e mentalmente hurleriano, assim como duas meias-irmãs do rapaz (filhas do primeiro casamento de seu pai) também são afetadas pela doença de Hurler (gravemente malformadas). O pai e o avô do rapaz manifestam contratura de Dupuytren nas mãos.

O indivíduo V-5 faleceu aos 60 anos e era irmã de gêmeos monozigóticos e dizigóticos, respectivamente.

Os indivíduos III-4 e III-5 são primos, e o casal III-9 × III-10 não apresenta descendentes.

\*Probando é o primeiro indivíduo de uma família que busca aconselhamento genético.

Principais símbolos utilizados nos heredogramas	
 ou 	Indivíduo de sexo desconhecido ou não especificado.
 ou 	Intersexo.
 ou  ou 	Aborto ou natimorto.
 ou 	Falecido.
	Acasalamento extramarital.
	Divórcio.
	Adotado para fora da família.
	Adotado para dentro da família.
	Afetado.
 ou 	Gêmeos sem diagnóstico de zigosidade.
	Mulher heterozigota para gene recessivo ligado ao X.
 ou 	Heterozigotos para gene autossômico recessivo.
	Probando, propósito ou caso-índice.
2 ou 3	Número de indivíduos do sexo indicado.
I, II, III etc.	Numeração das gerações (vertical).
1, 2, 3, 4 etc.	Numeração dos indivíduos na geração (horizontal).
	Idade ao falecer.
	Idade à época do exame.
	Família – casal (o homem à esquerda) e irmandade.
	Irmandade cuja ordem de nascimento não é conhecida.

Principais símbolos utilizados nos heredogramas	
	Indivíduo do sexo feminino com genótipos heterozigóticos.
	Traço horizontal simples: casamento não consanguíneo.
	Traço horizontal duplo: casamento consanguíneo (os cônjuges são parentes próximos).
 ou 	Gêmeos univitelinos (originados em um mesmo zigoto).
 ou 	Gêmeos fraternos ou dizigóticos (originados de zigotos diferentes). Não têm o mesmo genótipo.
	Casamento sem descendentes.

## Probabilidades em genética

As teorias de probabilidades, parte importante da estatística, são de fundamental importância para:

- apreciar o funcionamento dos mecanismos genéticos;
- prever a probabilidade de certos resultados de um dado cruzamento;
- estabelecer o quanto uma proporção fenotípica de prole se adapta a um determinado padrão de herança postulado.

### Definição de probabilidade

A probabilidade de um evento ocorrer é definida pelo quociente do número de eventos favoráveis (N) pelo número de eventos possíveis (X), que constituem o espaço amostral.

$$P = \frac{N}{X}$$

Em que:

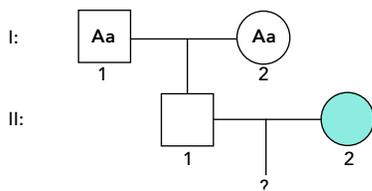
- P = probabilidade desejada;
- N = número de eventos favoráveis ou desejados;
- X = número de eventos possíveis.

### Leis fundamentais da probabilidade

- **Probabilidade de ocorrer eventos independentes (regra do “e” ou da multiplicação)** – É quando a ocorrência de um evento não impede ou interfere na ocorrência do outro. Para o cálculo desse tipo de probabilidade, deve-se multiplicar as probabilidades isoladas de cada evento.
- **Probabilidade de ocorrer eventos mutuamente exclusivos (regra do “ou” ou da soma)** – Em alguns casos, a ocorrência de um evento impede a ocorrência de outro. Assim, para se determinar a possibilidade de ocorrência de tais eventos, deve-se somar as probabilidades isoladas.
- **Probabilidade condicional** – Nos casos de probabilidade condicional, deseja-se obter um resultado que depende de outro previamente conhecido; ou, ainda, trata-se de casos em que não se conhece os genótipos dos ascendentes, que podem ser homocigotos ou heterocigotos.

Como exemplo, analise o problema a seguir.

Um casal normal para a característica “pigmentação da pele” é heterocigoto e tem um filho normal. Se este vier a se casar e ter filho(s) com uma mulher albina, qual a probabilidade de nascer uma criança albina?



Deve-se calcular a probabilidade de II-1 ser heterocigoto, que é de  $\frac{2}{3}$ , e a probabilidade de a criança ser albina, que é de  $\frac{1}{2}$ , e multiplicar os resultados obtidos:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

## Penetrância e expressividade

As diferenças nas condições ambientais ou genéticas podem fazer que indivíduos geneticamente idênticos, em um determinado locus, apresentem fenótipos diferentes. A doença de Alzheimer (DA), por exemplo, é condicionada por fatores genéticos, tratando-se de uma doença autossômica dominante. É, também, influenciada por fatores ambientais, como agentes etiológicos, estando condicionada à toxicidade a agentes infecciosos, ao alumínio, a radicais livres de oxigênio, a aminoácidos neurotóxicos, assim como pode estar relacionada à ocorrência de danos em microtúbulos e proteínas associadas. Além disso, apresenta heterogeneidade genética, com pelo menos cinco ou seis genes principais envolvidos, fora outros provavelmente implicados.

Assim, o conceito de **penetrância** é a porcentagem de indivíduos com um determinado genótipo, que exibem o fenótipo associado àquele genótipo. Um organismo pode ter um genótipo particular, mas não expressar o fenótipo correspondente. A polidactilia, por exemplo, é expressa pelos genótipos **P<sub>-</sub>** (**PP** e **Pp**). A condição normal de cinco dedos é condicionada pelo genótipo homocigoto recessivo **pp**. Os estudos populacionais revelam que a penetrância desse alelo é de 64,9%, ou seja, 35,1% (100 – 64,9) dos portadores desse alelo dominante não apresentam polidactilia, possuindo número normal de dedos.



Mãos de uma pessoa com polidactilia.

O nanismo acondroplástico é outro exemplo de uma anormalidade expressa por um gene dominante, tratando-se de um caso de dominância completa, total ou absoluta. Assim, a porcentagem esperada para a manifestação dessa característica genética nos indivíduos heterocigotos seria de 100%. Entretanto, os estudos populacionais revelam que apenas 80% desses indivíduos são anões. Em 20% dos heterocigotos, o gene não se manifesta. Portanto, a penetrância do gene para o nanismo acondroplástico é de 80%. Por outro lado, a condição polidáctila pode ser penetrante na mão esquerda (6 dedos), e não na direita (5 dedos), ou podem ser penetrante somente nos pés, e não nas mãos.

Determinadas características genéticas variam sua expressão. O conceito de **expressividade** é o grau ou a extensão de um indivíduo. A epiloia, ou esclerose tuberosa, por exemplo, é uma doença mortal que promove regressão progressiva do sistema nervoso central, determinada por um gene dominante. Alguns portadores desse gene expressam a doença em sua forma benigna, que lhes permite a vida até idades avançadas, devido a fatores abióticos ou intrínsecos, ou seja, relacionados à atuação de outros genes.

## Genes letais

Os genes letais podem se manifestar em diferentes estágios da vida humana. Em alguns casos, eles podem levar o indivíduo à morte precoce, seja na fase pré-natal, seja na pós-natal, seja, ainda, anterior ao período de maturidade sexual.

Alguns genes manifestam seus efeitos durante a infância. Distúrbios como a distrofia muscular de Duchenne, a fibrose cística e a doença de Tay-Sachs são exemplos da atuação desses genes na saúde infantil. Outros genes podem se expressar na fase adulta do ser humano. A doença de Huntington, a qual provoca deterioração dos neurônios e consequentes desequilíbrios emocionais, é um exemplo de como os genes letais podem se manifestar em idades mais avançadas do ser humano.

Quando a letalidade do gene é completamente recessiva, o cruzamento entre heterozigotos acarreta uma redução esperada da prole em 25%.

## Aspectos genéticos do funcionamento do corpo humano

Desde o surgimento da vida no planeta Terra, na Era Pré-Cambriana, há 4,6 bilhões de anos, as informações biológicas, contidas nos genes, foram armazenadas nos ácidos nucleicos.

Entre os agentes mutagênicos que afetam os seres terrestres, aquele que tem atuado de modo mais regular e efetivo é a radiação ultravioleta proveniente do Sol. Sabe-se que os raios solares, antes de incidirem nas camadas inferiores da atmosfera terrestre, devem atravessar a camada de ozônio, que absorve a maior parte da radiação ultravioleta. Tal fato torna a vida possível, uma vez que, de outro modo, o efeito dessa radiação teria sido tão drástico que a informação genética não teria se conservado estável ou, ainda, sua ação poderia ser letal para a grande maioria dos seres vivos.

As radiações, principalmente as de alta energia, atuam no DNA, provocando a ionização de alguns de seus átomos, tornando-os muito reativos. Isso promove mudanças de nucleotídeos ou rompimento de ligações químicas que determinam mutações gênicas ou cromossômicas, devido à formação de novos arranjos moleculares ou estruturais.

As mutações gênicas alteram a “qualidade” do DNA, mudando, por exemplo, uma base nitrogenada na sequência de nucleotídeos, o que pode levar à modificação na proteína que esse gene produz, alterando o fenótipo e promovendo anomalias. Essas mutações, sejam elas espontâneas, sejam elas induzidas, ocorrem ao acaso. Dessa forma, a pesquisa sobre a genética humana tem sido aprofundada principalmente na área da transmissão de genes que promovem perturbações metabólicas, anatômicas e fisiológicas ou deficiências em seus portadores.

## Agentes mutagênicos

Os agentes que induzem mutações podem ser físicos, químicos ou biológicos. Os físicos incluem as radiações ionizantes de alta energia, tais como raios X, raios gama, nêutrons e partículas alfa e beta, bem como a radiação não ionizante de baixa energia (ultravioleta). Cada uma delas induz mutações devido à sua ação sobre o DNA.

A radiação ionizante (raios X) produz espécies químicas altamente reativas, os radicais livres, os quais podem alterar bases do DNA para formas não reconhecíveis pela DNA-polimerase ou, então, segmentar o esqueleto açúcar-fosfato, promovendo anormalidades cromossômicas.

As mutações espontâneas ocorrem sem influência externa e alteram permanentemente o genoma. Elas surgem quando alguns agentes químicos alteram covalentemente as bases nucleotídicas ou adicionam grupamentos às bases, fazendo com que o DNA celular se replique erroneamente. Nesse último caso, por exemplo, o benzopireno, um dos componentes da fumaça do cigarro, adiciona um grupamento químico à guanina, tornando-a não disponível para o pareamento de bases. Quando a DNA-polimerase encontra essa guanina modificada, insere qualquer uma das outras bases nitrogenadas e uma mutação ocorre.

As mutações induzidas ocorrem com influência externa e promovem alterações permanentes no DNA. Elas surgem quando a DNA-polimerase erra na replicação, por exemplo, inserindo T (timina) em oposição à G (guanina), ou ainda quando não ocorre, durante a meiose, a disjunção cromossômica, promovendo aneuploidias.

## Poluição radioativa

Os produtos radioativos podem ser lançados no meio ambiente por intermédio de explosões atômicas, da água utilizada para resfriamento de reatores de usinas nucleares ou dos detritos orgânicos gerados por essas usinas.

O Japão, um dos países que mais aderiram ao uso de energia nuclear, passou a sofrer com os transtornos causados por um tsunami que, em 2011, danificou várias usinas por todo o país e causou a explosão da usina nuclear de Fukushima. Esse desastre tornou-se o maior desde o acidente na usina de Chernobyl em 1986.

O iodo radioativo ( $I^{129}$ ) é um exemplo de substância que é resultado de acidentes radioativos. Ele possui meia-vida de 10 milhões de anos, enquanto o iodo ( $I^{131}$ ) tem meia-vida de 8 dias e aloja-se, em especial, na glândula tireóidea.

**Meia-vida** é o intervalo de tempo no qual metade de um conjunto de átomos radioativos perde a capacidade de emitir radioatividade.

A glândula tireóidea situa-se no plano mediano do pescoço, envolvendo a porção frontal da traqueia, expandindo-se na região basal da laringe, com dois lobos, unidos por uma fita variável de tecido glandular, o istmo. Seus dois principais hormônios são o tri-iodotironina ( $T_3$ ) e a tiroxina ( $T_4$ ), ambos derivados da tirosina e com iodo na sua constituição.

Essa glândula tireóidea desempenha papel fundamental na homeostase do organismo humano, auxiliando na manutenção da pressão sanguínea, do ritmo cardíaco, do tônus muscular, das funções sexuais e da atividade metabólica celular. O iodo radioativo, além de reduzir a atividade da glândula tireóidea, acarreta processos de cancerização nessa estrutura.

As neoplasias malignas têm potencial ameaçador de crescimento rápido, invasão, destruição de estruturas contíguas e disseminação pelo corpo. O surgimento, crescimento e progressão do câncer em órgãos vitais favorece a quebra do equilíbrio orgânico, promovendo a perda do equilíbrio homeostático, podendo ser incompatível com a vida.

## Mutação gênica

As mutações gênicas são processos que produzem genes diferentes do tipo comum ao organismo, como resultado de mudanças dentro da estrutura dos genes, podendo ser mapeadas em um ponto específico.

Os eventos mutacionais ocorrem aleatoriamente, a qualquer momento, em células das linhagens **somática** e **germinativa**. As mutações em células da linhagem somática não são transmitidas para os descendentes, ao contrário das mutações que ocorrem em células da linhagem germinativa.

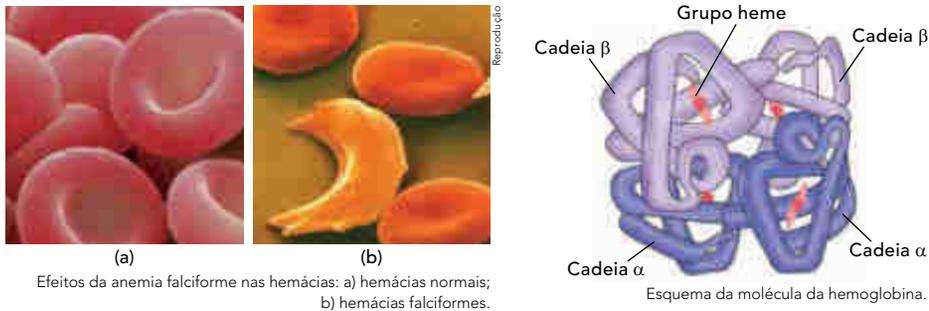
Os organismos vivos revelam uma tendência a sofrer alteração de uma geração para a outra. As mutações que ocorrem são aleatórias e espontâneas, provocando variabilidade genética. A seleção natural é positiva e favorece a sobrevivência dos indivíduos que dispõem de certas características favoráveis para enfrentar as alterações ambientais contínuas. Por outro lado, organismos são eliminados, indicando uma seleção natural negativa.

As variações anatômicas são diferenças morfológicas entre os genitores e sua prole ou entre indivíduos de uma população, podendo apresentar-se externamente ou em qualquer um dos sistemas do organismo, sem prejuízos funcionais para o indivíduo. Em Genética, no que se refere a variações descontínuas, uma determinada característica é encontrada, em uma população, sob duas ou mais formas distintas, denominadas **fenótipos**. As variantes descontínuas raras denominam-se **mutantes**, enquanto o fenótipo mais comum ou padrão na natureza denomina-se **selvagem**. As mutações, provocadas por agentes mutagênicos, como radiações por certas substâncias químicas, podem também estar relacionadas à replicação e à construção do DNA.

## Anemia falciforme

A hemoglobina encontra-se nas hemácias e é a proteína responsável pelo transporte de oxigênio no sangue. Cada molécula de hemoglobina combina-se com quatro moléculas de  $O_2$  formando a oxiemoglobina ( $HbO_2$ ). Esse oxigênio é transportado pelo sangue e liberado nos tecidos, nos quais será utilizado para a produção de energia sob a forma de **ATP** (trifosfato de adenosina).

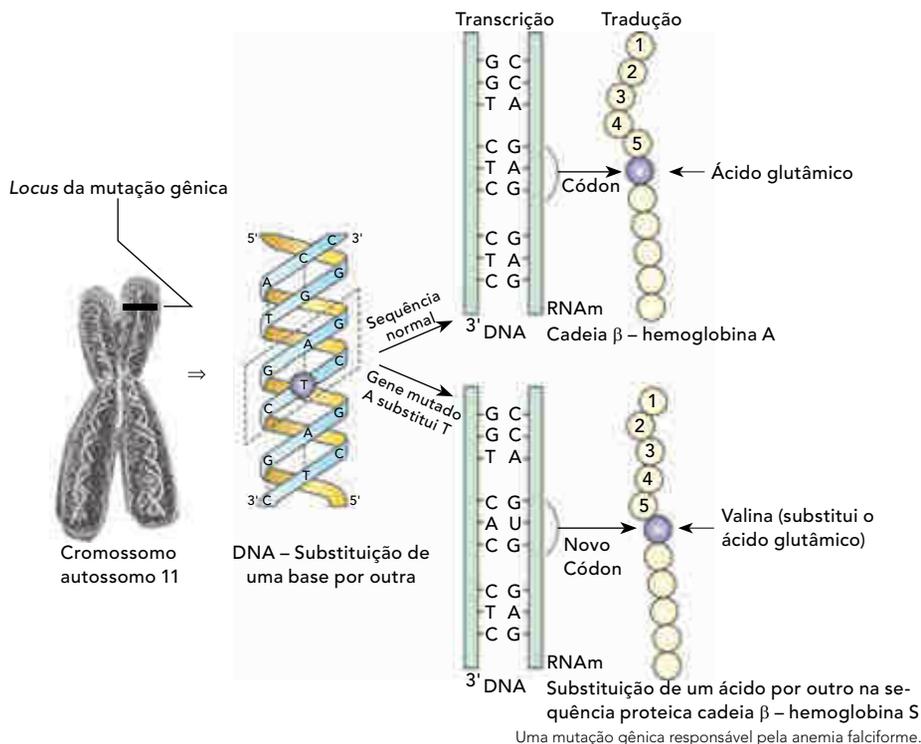
Contudo, uma anomalia, chamada **anemia falciforme**, altera a capacidade transportadora dessa molécula. Trata-se de um distúrbio de caráter hereditário, cujo gene, localizado no cromossomo 11, afeta a molécula de hemoglobina (Hb). No entanto, para que a doença se manifeste, é necessária a presença de 2 genes defeituosos.



Efeitos da anemia falciforme nas hemácias: a) hemácias normais; b) hemácias falciformes.

O gene da molécula de DNA que dirige a síntese da cadeia é modificado em um ponto preciso, havendo somente um par de bases que sofre alteração: a timina (T), presente no gene normal, é substituída pela adenina (A) no gene mutado. Essa modificação pontual provoca a alteração da mensagem genética. O novo códon formado introduz um aminoácido diferente na cadeia proteica, o que provoca a formação de hemoglobina S. As pessoas homocigotas normais têm um tipo de hemoglobina (A), e os anêmicos têm o tipo (S), revelando um caso de codominância.

A substituição do ácido glutâmico pela valina, na posição seis da cadeia  $\beta$ , é determinante da anemia falciforme, uma afecção dos glóbulos vermelhos que provoca obstrução vascular seguida de necrose.

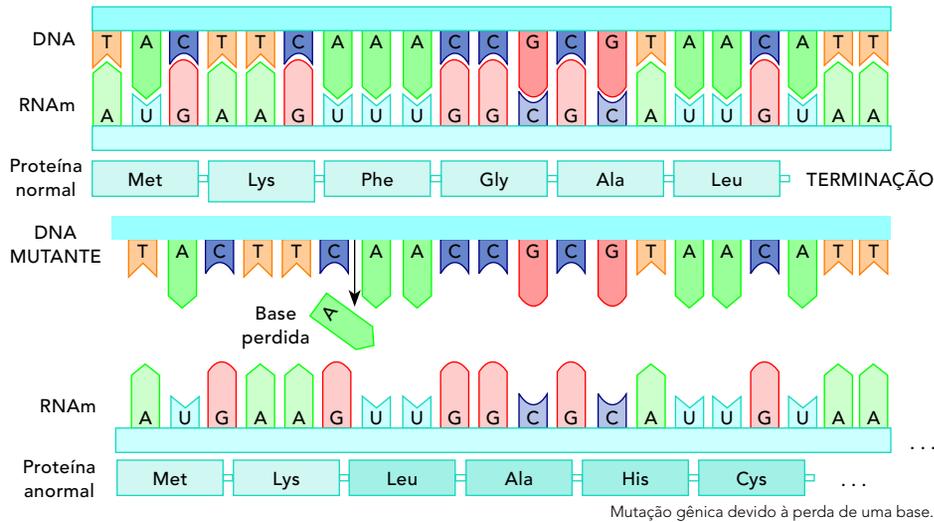


Uma mutação gênica responsável pela anemia falciforme.

Quanto à presença ou ausência da anemia falciforme, o alelo  $Hb^A$  é dominante ( $Hb^A > Hb^S$ ). Relativo à forma das hemácias, ocorre dominância incompleta ou parcial e, em relação à hemoglobina em si, há uma codominância. Assim, os três genótipos revelam fenótipos diferentes:

- **$Hb^A Hb^A$**  – Homozigoto normal. As hemácias têm forma de disco bicôncavo.
- **$Hb^A Hb^S$**  – Heterozigoto, não manifestam habitualmente problemas, desde que a tensão de oxigênio no sangue seja normal. As hemácias, em ambientes normalmente oxigenados, apresentam a forma típica, assumindo a forma de foice apenas em ambientes com falta de oxigênio.
- **$Hb^S Hb^S$**  – Homozigoto com anemia falciforme. As hemácias têm a forma de foice, verificando-se um transporte deficiente de oxigênio. Além disso, devido à forma angulosa, as hemácias podem bloquear vasos sanguíneos finos. Cerca de 80% dos indivíduos morrem antes de atingir a idade adulta.

Ocorrem, ainda, mutações gênicas devido à perda ou inserção de nucleotídeos. Muitas vezes, a sequência de códons fica alterada, o que, conseqüentemente, determina a formação de uma proteína diferente.

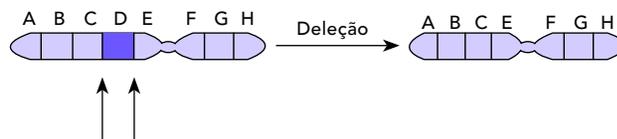


## Mutações cromossômicas

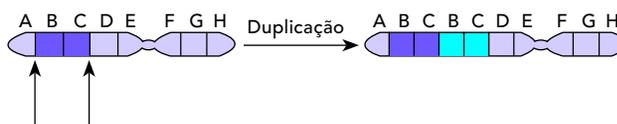
Alguns acidentes genéticos são causados por alterações em nível cromossômico. A partir delas, o cariótipo fica alterado, comportando ou segmentando cromossomos em excesso ou de maneira defeituosa. Há dois tipos fundamentais de mutações cromossômicas: as **estruturais** e as **numéricas**.

### Mutações cromossômicas estruturais

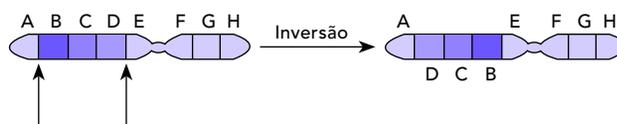
- **Deleção ou deficiência** – É a remoção de um segmento cromossômico e dos genes que nele existem devido a quebras. As deleções muito acentuadas podem ser letais, visto que a perda de muitos genes altera profundamente as condições metabólicas do indivíduo.



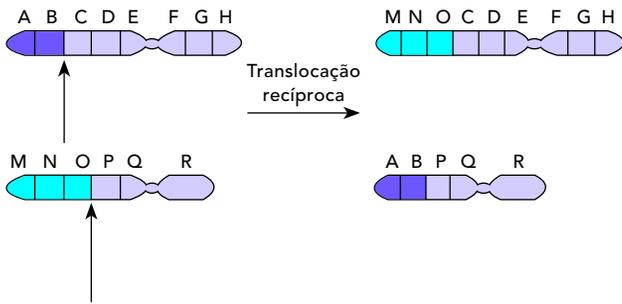
- **Duplicação** – Ocorre quando há formação de um ou mais segmentos adicionais, em particular, em um conjunto cromossômico.



- **Inversão** – Trata-se de uma mutação cromossômica na qual é removido um segmento cromossômico, girando-o 180° e reinserindo-o no mesmo local.



► **Translocação** – É a recolocação de um segmento cromossômico para uma posição diferente no genoma. Na translocação recíproca, há uma troca mútua de segmentos entre cromossomos não homólogos.



### Mutações cromossômicas numéricas

As **mutações cromossômicas numéricas** são alterações que envolvem o número de cromossomos, tomando como referência a condição normal das células diploides ( $2n$ ) da linhagem somática humana (dissomia), ou seja, a ocorrência de dois cromossomos homólogos compondo cada par. As mutações cromossômicas englobam as **aneuploidias** e as **euploidias**.

As aneuploidias ocorrem quando as meioses originam gametas com números de cromossomos intermediários entre o número haploide e o diploide ou com perda de um ou mais cromossomos, diferindo do tipo selvagem em parte do conjunto cromossômico. Geralmente, as aneuploidias são consequências de erros na separação de cromátides na anáfase, caracterizando uma situação denominada **não disjunção cromossômica**.

A condição aneuploide  $2n - 1$  denomina-se **monossomia**, uma vez que apenas uma cópia de algum cromossomo específico de um par autossômico ou alossômico está presente. A perda de dois cromossomos de um mesmo par denomina-se **nulissomia**, indicada como  $2n - 2$ . O aneuploide  $2n + 1$  revela o acréscimo de um cromossomo em um determinado par, constituindo uma trissomia. O aneuploide  $2n + 2$  revela uma tetrassomia.

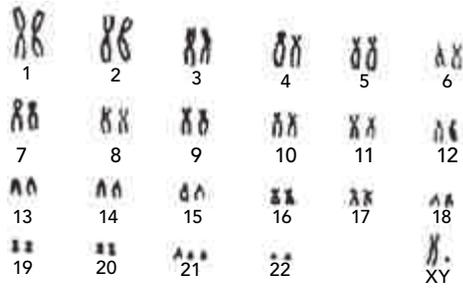
Nas euploidias, ocorre perda ou acréscimo de um conjunto ou mais de  $n$  cromossomos. Os tipos de euploidia que apresentam mais de dois conjuntos cromossômicos denominam-se **poliploides**. Os tipos poliploides denominam-se triploides ( $3n$ ), tetraploides ( $4n$ ), hexaploides ( $6n$ ) e haploides ( $n$ ).

### Anomalias cromossômicas humanas relacionadas à não disjunção dos cromossomos autossômicos

#### Síndrome de Down ou trissomia do par 21

Corresponde a uma alteração numérica (aneuploidia) com três exemplares do cromossomo designado pelo número 21. Trata-se de uma manifestação da não disjunção do par de cromossomos 21 durante a meiose.

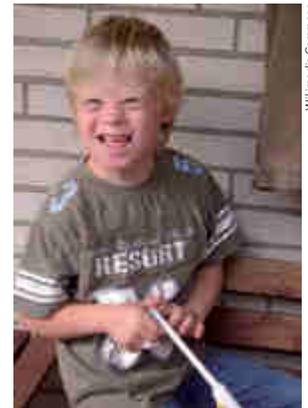
Cariótipo: 47, XX ou XY, 21



Cariótipo que caracteriza a síndrome de Down.

#### Características fenotípicas

Os portadores da síndrome de Down apresentam alguns sinais característicos, como língua protrusa (para fora da boca) ou fissurada, dentição irregular, baixa estatura, orelhas com implantação baixa, pescoço alado e adiposo, braquidactilia, mãos com uma única linha palmar e olhos oblíquos com uma prega cutânea na pálpebra superior.

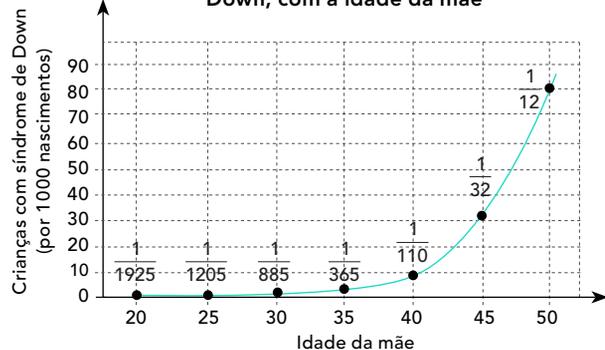


Criança com síndrome de Down.

Pessoas com essa anomalia possuem desenvolvimento cerebral deficiente, cardiopatias congênitas em 50% dos casos, genitais externos pouco desenvolvidos, criptorquia ocasional e pelve estreita.

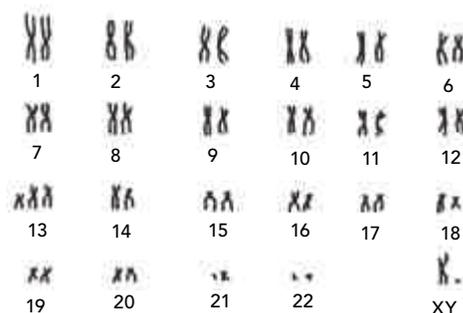
Trata-se de uma aneuploidia com frequência 1-2/1000 nascimentos. À medida que a idade da mãe aumenta, a frequência de casos cresce.

Variação do número de casos de síndrome de Down, com a idade da mãe



#### Síndrome de Patau

Cariótipo: 47, XX ou XY, 13



Cariótipo que caracteriza a síndrome de Patau.

## Características fenotípicas

As crianças com síndrome de Patau apresentam baixa expectativa de vida (45% delas chegam ao óbito antes de completar 1 mês de vida), microcefalia (acarretando retardo mental e motor), micrognatia, microftalmia, lábio e/ou palato fendido, orelhas malformadas e de baixa implantação, cardiopatias congênicas em 88% dos casos, defeitos no rim e no trato digestório.

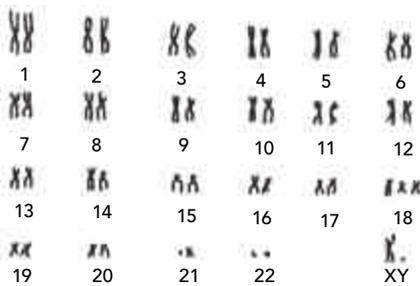


Reprodução

É uma anomalia cromossômica do tipo aneuploidia e apresenta frequência de 1/4000 a 1/15000, sendo associada à idade materna avançada.

## Trissomia E, trissomia 18 ou síndrome de Edwards

Cariótipo: 47, XX ou XY, 18



Cariótipo que caracteriza a síndrome de Edwards.

## Características fenotípicas

As pessoas com a aneuploidia do par autossômico 18 (trissomia) apresentam baixa expectativa de vida (30% atingem o óbito antes de 1 mês de vida e 10% antes de 1 ano); os mosaicos, indivíduos com tecidos contendo dois ou mais tipos de células geneticamente distintas, apresentam maior longevidade, podendo chegar à vida adulta.



Reprodução

Pessoas afetadas por essa síndrome possuem micrognatia e/ou retrognatia, palato ogival, lábio e/ou palato fendido, orelhas dismórficas e de baixa implantação, cardiopatias congênicas em 99% dos casos, pelve pequena, genitais externos anormais (criptorquidia e/ou hérnia inguinal nos meninos, hipertrofia do clitóris com hipoplasia dos grandes lábios nas meninas) e mãos fortemente fechadas.

## Trissomia do cromossomo 8

Cariótipo: 47, XX ou XY, 8

Os indivíduos que possuem essa aneuploidia têm expectativa de vida regular, apresentam retardo mental variável, testa alta e saliente, micrognatia, orelhas dismórficas e de baixa implantação, anomalias vertebrais, ombros estreitos, cardiopatias congênicas em torno de 50% dos casos, criptorquidia e cintura pélvica estreita.

## Trissomia do cromossomo 9

Cariótipo: 47, XX ou XY, 9

Os indivíduos que apresentam essa aneuploidia têm retardo mental variável, micro e braquicefalia moderada, "ar preocupado", boca assimétrica, orelhas dismórficas, tórax afunilado, cardiopatias congênicas em 50% dos casos, hipogonadismo, palma das mãos muito longas para o tamanho dos dedos, deslocamentos deformantes dos joelhos, cotovelos e tornozelos.

## Trissomia do cromossomo 22

Cariótipo: 47, XX ou XY, 22

Os indivíduos portadores dessa anomalia apresentam expectativa de vida reduzida (poucos ultrapassam o período de lactação), retardo mental variável, microcefalia, palato fendido, micrognatia, orelhas dismórficas, angulosas e de baixa implantação, cardiopatias congênicas em 2/3 dos casos e mãos com polegares anormais (largos ou mal posicionados).

## Monossomia 4p

Cariótipo: 46, XX ou XY, 4p

Os indivíduos que possuem deleção do braço curto do cromossomo 4 apresentam retardo mental grave, retardo neuromotor e do crescimento, convulsões, hipotonia, microcefalia, cabelos com baixa implantação na nuca, ptose palpebral, palato fendido esporádico, micrognatia, cardiopatias congênicas em 40% dos casos, pés tortos, dedos e unhas malformados.

## Monossomia 18p

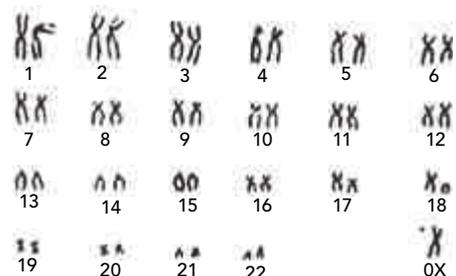
Cariótipo: 46, XX ou XY, 18p

Os indivíduos com deleção do braço curto do cromossomo 18 apresentam retardo mental variável, convulsões, autismo, microcefalia, orelhas grandes e dismórficas e de baixa implantação, tórax largo, hérnias, pernas afastadas e tronco inclinado para a frente.

## Anomalias cromossômicas humanas relacionadas à não disjunção dos cromossomos alossomos

### Síndrome de Turner

Cariótipo: 45, XO



Cariótipo característico da síndrome de Turner.

## Características fenotípicas

Trata-se de uma aneuploidia em que o indivíduo se apresenta com uma constituição cromossômica  $2n - 1$ , diz-se monossômico; 77% dos indivíduos originam-se por não disjunção na meiose paterna.

Os indivíduos são do sexo feminino, entretanto, os ovários são rudimentares e, geralmente, não funcionam; apresentam infantilismo sexual, estatura baixa, pescoço alado (em geral, há uma aba de pele que liga o pescoço aos ombros) e apresentam anomalias cardíacas em 35% dos casos. Embora sua inteligência seja quase normal, algumas de suas funções cognitivas específicas são deficientes.

Apresentam cromatina X negativa, dificuldades de percepção espacial, imaturidade emocional, tórax largo (em forma de escudo ou barril), ptose palpebral, mamas pouco desenvolvidas e amenorreia primária.

A frequência da síndrome de Turner é de 1/2500 a 1/6000 recém-nascidos.

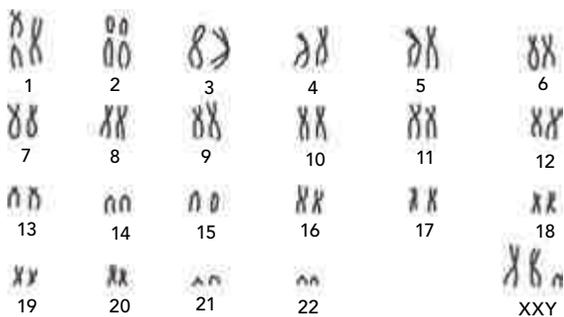
Geralmente, as mulheres que possuem essa anomalia são estéreis, embora pelo menos um nascimento normal e várias gestações tenham sido relatadas em prováveis portadoras.



Características de portadoras da síndrome de Turner: pescoço alado, baixa implantação dos cabelos na região da nuca, face triangular, tórax em barril, mamas pouco desenvolvidas.

## Síndrome de Klinefelter

Cariótipo: 47, XXY

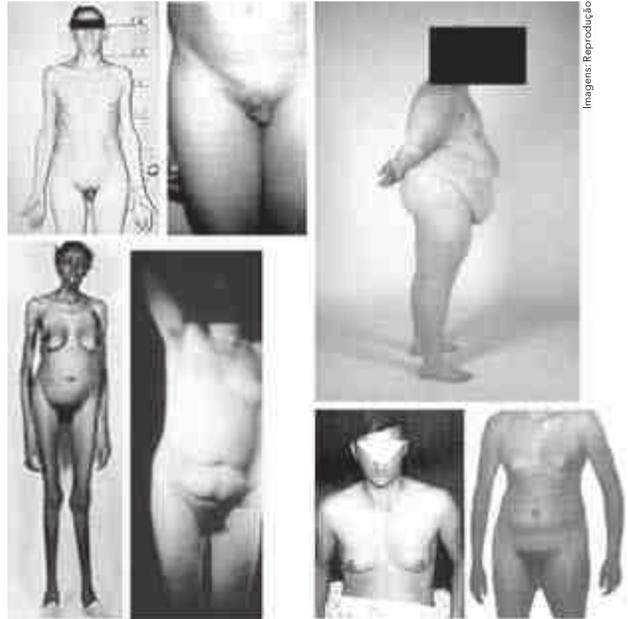


Cariótipo característico da síndrome de Klinefelter.

## Características fenotípicas

Os indivíduos atingidos por essa anomalia originam-se por não disjunção na meiose materna em 60% dos casos, sendo 15% mosaicos (46, XY/47, XXY). Eles apresentam cromatina X positiva, desenvolvimento intelectual com deficiências específicas (dificuldades para falar, ler e escrever, baixa memória de curto prazo, desatenção, falta de coordenação motora), passividade, dificuldade em organizar as rotinas diárias, inconstância, comportamento sociopatológico, estatura baixa, membros curtos e ginecomastia (um certo desenvolvimento dos seios, com típicas características de intersexualidade).

Os indivíduos klinefelterianos apresentam, ainda, pelos pubianos com padrão feminino, ausência de barba e pelos no corpo, azoospermia, oligospermia e infertilidade.



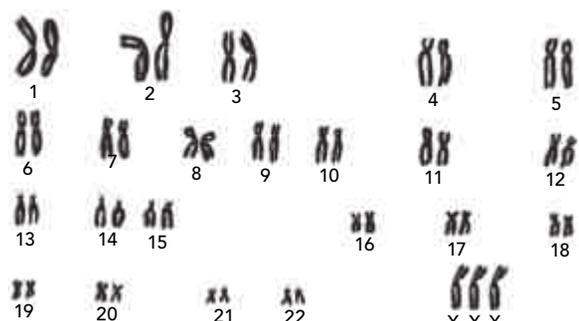
Características de portadores da síndrome de Klinefelter: comprimento dos membros superiores maior que a distância tronco encefálica, obesidade, corpo enuicoide, pênis pequeno, pouca pilosidade com distribuição pubiana do tipo feminino, ginecomastia e sinostose rádio-ulnar. Nas duas últimas fotos, são mostrados hipodesenvolvimento e sinostose rádio-ulnar. Nas duas últimas fotos, são mostrados hipodesenvolvimento e criptorquidia, observados mais frequentemente em pacientes com cariótipos 48, XXXY ou 49, XXXXY, segundo Beiguelman.

## Ausência de X (YO)

A ausência do cromossomo X é incompatível com a vida. Os genes existentes nesse cromossomo são indispensáveis para a sobrevivência do indivíduo.

## Síndrome do Triplo X (XXX) ou mulheres poli-X

Cariótipo: 47, XXX



O cariótipo de um portador da síndrome do Triplo X.

Em 1959, foi relatado o primeiro caso conhecido de um indivíduo triplo-X, isto é, 47, XXX. Essa pessoa era claramente feminina no fenótipo sexual normal, mas, com a idade de 22 anos, apresentava genitália externa infantil e pronunciado subdesenvolvimento de genitália interna e mamas. Tinha um pouco de retardamento mental.

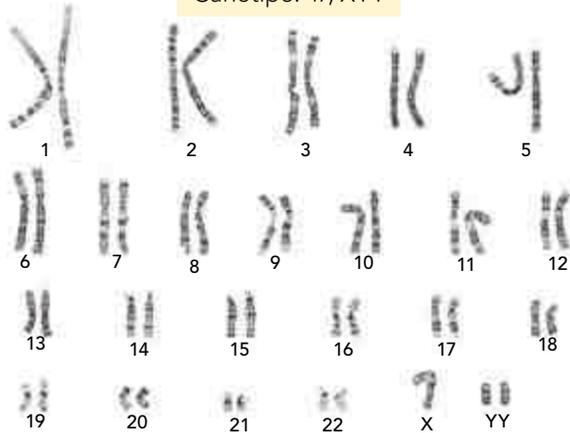


Indivíduo com a síndrome do Triplo X, demonstrando fenótipo masculino com um QI 50 (raciocínio lento) aos 24 anos.

Desde então, foram descritas mais mulheres XXX, e avalia-se que entre 1 em 1000 e 1 em 2000 de nascimentos femininos vivos é triplo-X. Algumas mulheres XXX são essencialmente normais, mas outras possuem retardo mental e/ou mostram anormalidades de caracteres sexuais secundários. Aparentemente, todas são férteis, mas, entre mais de 30 filhos de mães triplo-X, todos eram XX ou XY, (49, XXXXX); as manifestações são semelhantes às dos indivíduos triplo-X, porém bem mais pronunciadas. Em geral, conforme aumenta o número de cromossomos X, mais reduzida é a inteligência.

### Síndrome do Duplo Y (XYY)

Cariótipo: 47, XYY



Cariótipo de um indivíduo portador da síndrome do Duplo Y.

Os portadores dessa anomalia são todos masculinos fenotipicamente e, em geral, são férteis, com altura média igual a 1,80 m. Na puberdade, crescem mais rápido que a média e revelam histórico grave de acne facial durante a adolescência. Eles apresentam também anormalidades na genitália.

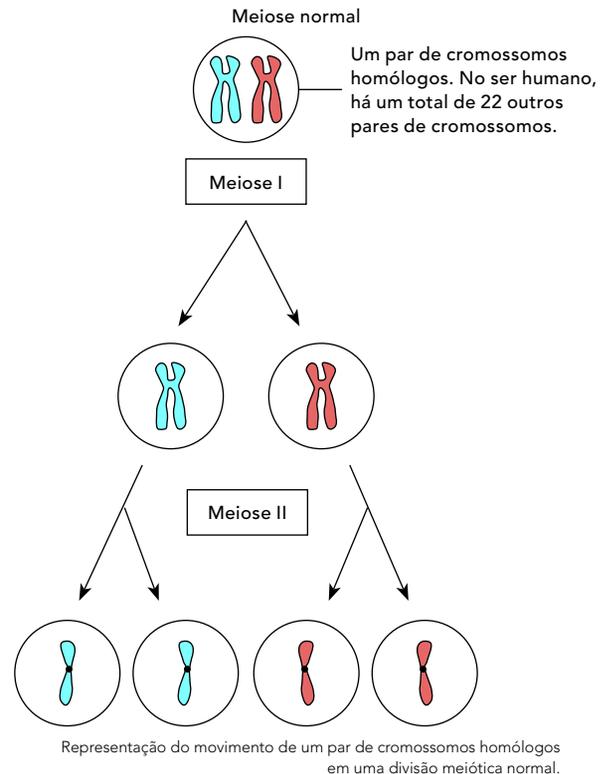
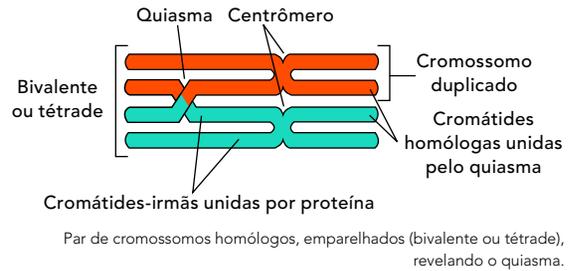


Muito se discute sobre a hipótese de indivíduos XYY terem elevado potencial criminoso, alguns com personalidade retraída. Contudo, muitos homens XYY têm ajustamento social satisfatório.

### A disjunção e a não disjunção na meiose

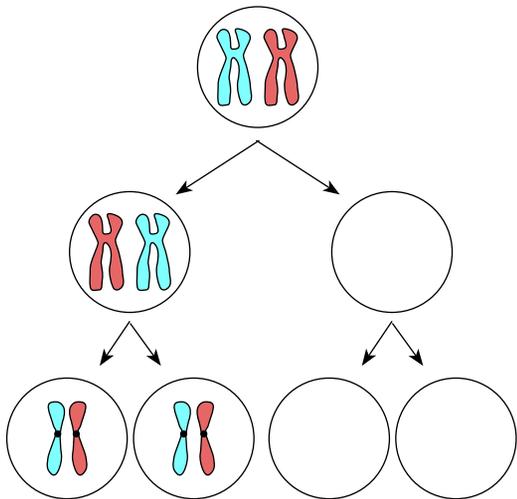
A reprodução sexuada envolve a produção de gametas e sua posterior união. A **gametogênese** ocorre em células da linhagem germinativa. Os gametas contêm número haploide (n) de cromossomos; porém, originam-se de células diploides (2n): o espermatócito I ou o ovócito I, da linhagem germinativa. Obviamente, o número de cromossomos tem que ser reduzido à metade durante a gametogênese. O processo de redução denomina-se **meiose**. Geralmente, durante a meiose, os cromossomos são distribuídos sem erros para as células-filhas.

Dessa forma, a **disjunção** é a separação normal dos cromossomos homólogos ou cromátides para os polos opostos durante as divisões celulares.



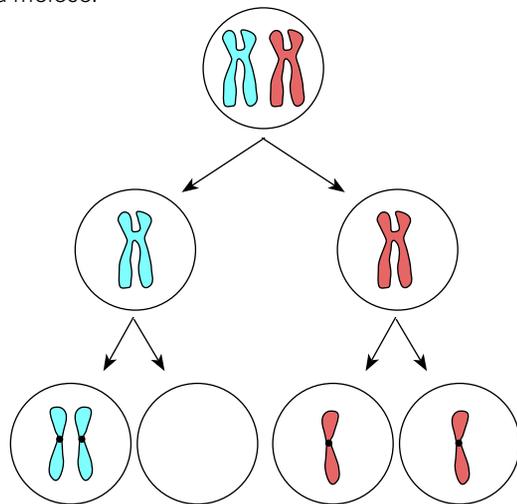
A **não disjunção** origina, na meiose, as aneuploidias, ou seja, a perda ou o acréscimo de um ou mais cromossomos nos gametas. A não disjunção é um erro de disjunção, e, como consequência, dois cromossomos ou cromátides se deslocam para um polo e nenhum cromossomo para o outro polo. Isso resulta em uma célula-filha com um cromossomo a mais e outra com um cromossomo a menos, responsáveis pela produção de células aneuploides.

Os experimentos sugerem que uma das razões para a não disjunção pode ser a ausência do quiasma. As cromátides homólogas unem-se pelo ponto em que ocorre a permutação ou *crossing-over*. Cada ponto caracteriza um quiasma, estrutura que mantém os cromossomos homólogos unidos até que as fibras do fuso os separe na anáfase I. Na metáfase I, o fuso tende a separar os cromossomos homólogos, e os quiasmas resistem a essa separação até a anáfase I, promovendo a correta distribuição dos cromossomos homólogos entre as células-filhas. Geralmente, cada par de cromossomos homólogos apresenta, na prófase I, pelo menos uma permutação, que, se comprometida, dá origem às não disjunções.



Situação em que não ocorre a disjunção do par cromossomal na primeira divisão meiótica.

Ocasionalmente, a não disjunção ocorre na segunda divisão da meiose.



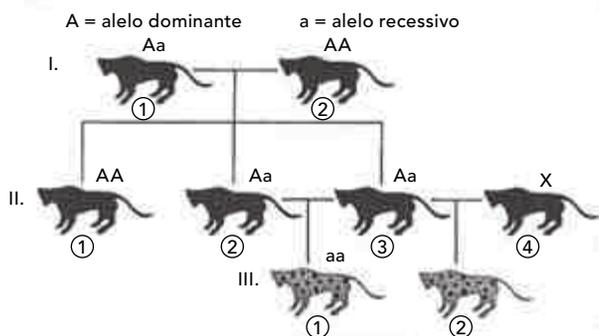
Representação de não disjunção na meiose II.



### Atividades para sala

1. Gregor Mendel fundou um enfoque lógico e experimental para a hereditariedade e propôs a Teoria da Herança Particulada, segundo a qual as características são determinadas por unidades discretas ou fatores distintos, que são separados e recombinados em cada geração. Mendel apresentou o conceito de gene (mas não a palavra) em 1865. Atualmente, tais fatores são denominados genes alelos.

O heredograma a seguir revela uma combinação de alelos ao longo das gerações de onças.

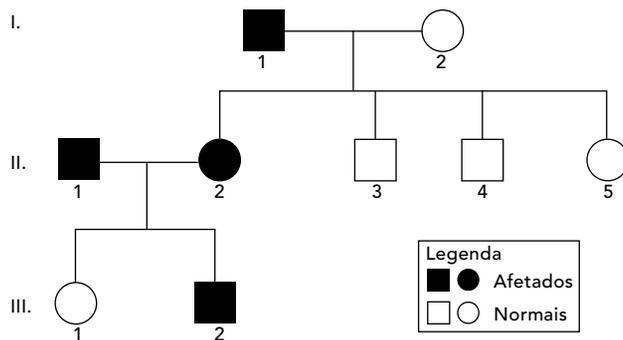


A partir desse heredograma, podemos concluir corretamente que

- a onça III-2 é homocigótica recessiva, cujos alelos expressam suas características em homocigose e em heterocigose.
  - a prole do cruzamento entre híbridos e homocigotos dominantes pode expressar a característica recessiva.
  - a onça II-4 é homocigótica dominante, portanto, um indivíduo puro.
  - a característica apresentada é um caso de herança intermediária, incompleta ou parcial.
  - os cruzamentos consanguíneos aumentam a possibilidade de expressão de caracteres recessivos.
2. A doença de Alzheimer (DA), descrita pelo neuropatologista alemão Alois Alzheimer, é uma afecção neurodegenerativa progressiva e irreversível de aparecimento insidioso, que acarreta perda da memória e diversos distúrbios cognitivos. Em geral, a DA de acometimento tardio, de incidência em torno de 60 anos de idade, ocorre de forma esporádica, enquanto que a DA de acometimento precoce, com incidência em torno de 40 anos, apresenta recorrência familiar [...] e diversos agentes etiológicos, como fatores abióticos.

*Revista Brasileira de Psiquiatria, v. 21, São Paulo, out. 1999. (adaptado)*

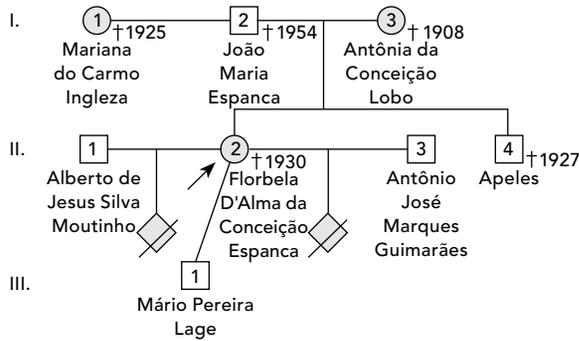
O heredograma a seguir revela uma família em que há indivíduos afetados pela DA.



Considerando o texto e o heredograma, assinale a alternativa correta.

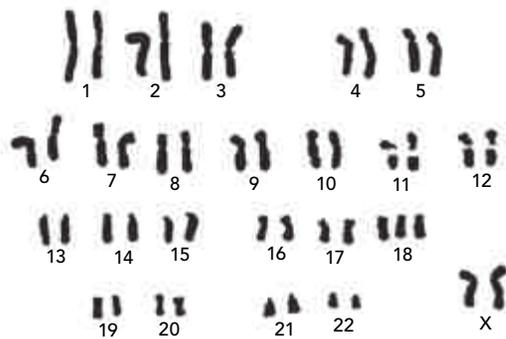
- O indivíduo III-2 produz dois tipos diferentes de gametas.
  - Os indivíduos II-3 e II-4 têm o mesmo genótipo, ou seja, são heterocigotos.
  - O fenótipo normal é devido a um gene dominante, pois há mais indivíduos normais afetados no heredograma.
  - O padrão de herança da DA é monogênico autossômico dominante, condicionado por um gene, não relacionado ao sexo, o qual se manifesta, inclusive, nos heterocigotos, por ser dominante.
  - A DA é condicionada apenas por fatores genéticos.
3. Um heredograma (árvore genealógica) é uma representação com símbolos de dados hereditários e das relações de parentescos em famílias. Um membro de uma família, que primeiro chama a atenção de um geneticista, é denominado probando, propósito ou caso-índice, como o indivíduo II-2, indicado pelo símbolo (♂).

O heredograma a seguir apresenta a família da poeta Florbela Lobo D'Alma da Conceição Espanca, cujo nascimento foi marcado pelo inopinado, o incomum, o dramático, o ineditismo, o escuso e o orfanado.



De acordo com a análise do heredograma, podemos concluir corretamente que

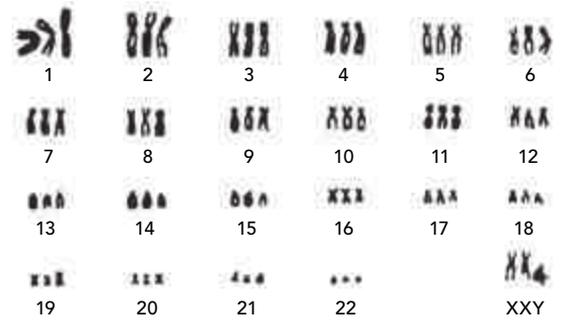
- o indivíduo I-2 é pai de II-3.
  - os indivíduos I-2 e I-3 tiveram três filhos.
  - a poeta sofreu dois abortos e tem um único irmão.
  - Antônia da Conceição Lobo é avó materna de III-1.
  - o heredograma revela casamentos consanguíneos.
4. Alguns acidentes genéticos são devidos a alterações em nível cromossômico. O cariótipo fica alterado, comportando cromossomos ou segmentos cromossômicos em excesso, com diminuição ou defeito. A imagem a seguir revela os cromossomos de uma criança que possui um defeito cromossômico.



Analise o cariótipo e assinale a alternativa que contempla, respectivamente, a aneuploidia e o sexo nesse indivíduo.

- Síndrome de Down; feminino.
  - Síndrome de Down; masculino.
  - Síndrome de Edwards; feminino.
  - Síndrome de Turner; feminino.
  - Síndrome de Klinefelter; masculino.
5. As mutações cromossômicas numéricas consistem na alteração do número de cromossomos, podendo ser efetuadas durante a meiose, devido à não disjunção dos homólogos, e podem se dividir em euploidias e aneuploidias. Considerando as mutações cromossômicas que ocorrem nos seres humanos, reflita sobre as informações e assinale a proposição correta.
- O espermatozoide com o ovócito secundário forma um zigoto XXXY, cujo desenvolvimento determina a síndrome de Turner.
  - A nulissomia, a trissomia, a monossomia e a tetrassomia são exemplos de euploidia.
  - O espermatozoide com o ovócito II forma um zigoto XO, cujo desenvolvimento determina a síndrome de Klinefelter.
  - A síndrome de Patau se traduz pela presença de um cromossomo a mais no par autossômico 21.
  - O fenômeno de não disjunção de cromossomos pode ocorrer tanto na espermatogênese como na ovogênese.

6. As mutações cromossômicas não originam novas versões de genes, mas contribuem para o aparecimento de novas combinações gênicas. O cariótipo a seguir foi obtido a partir de células diploides de uma pessoa e revela

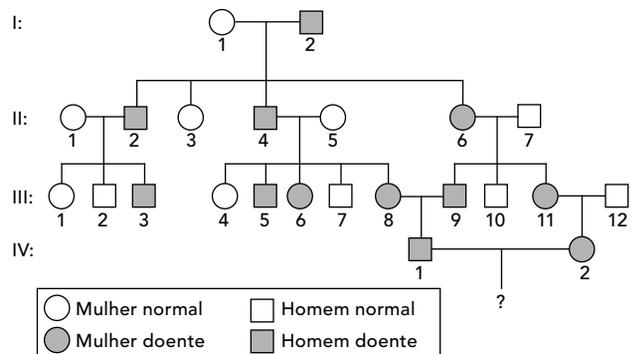


- mais de duas guarnições cromossômicas, caracterizando uma euploidia, denominada triploidia.
- um desequilíbrio cromossômico denominado trissomia ( $2n + 1$ ), um tipo de aneuploidia que pode resultar em óbito.
- uma monossomia, resultado da não disjunção na mitose ou na meiose como falha casual de um processo celular básico.
- os múltiplos fenótipos que constituem a síndrome de Down, em que as mulheres podem ser férteis, mas os homens nunca se reproduzem.
- uma euploidia denominada triploidia, normalmente encontrada nas células eucariontes, com efeito benéfico na evolução dos organismos animais e vegetais.

### Atividades propostas

1. A doença de Huntington (DH) é uma anomalia autossômica cujo gene se manifesta em homocigose e em heterocigose e tal manifestação ocorre na fase adulta, com progressiva perda do controle motor e problemas psiquiátricos, como demência e distúrbios afetivos.

A genealogia a seguir revela a herança, por quatro gerações, do alelo responsável pela doença de Huntington em uma família.



Com base na análise do heredograma, analise as proposições.

- Ocorre atavismo (herança ancestral) na família em uma única geração.
- A probabilidade de IV-1 ser heterocigoto é de  $\frac{1}{2}$ .
- A probabilidade de o próximo descendente do casal III-11  $\times$  III-12 ser anômalo e do sexo masculino é de 25%.

- IV. A probabilidade de o casal IV-1 × IV-2 vir a ter descendente normal é de  $\frac{1}{4}$ .
- V. Todos os indivíduos representados como não afetados pela doença são homocigotos recessivos para o caráter em questão.

Estão corretas as proposições

- a) I e III.                      c) III e V.                      e) II e V.  
 b) II e IV.                      d) I e IV.

2. Como você encara as coisas? Otimistas tendem a prestar mais atenção em imagens de chocolates e evitam figuras de aranhas; pessimistas fazem o contrário.

Normalmente, as pessoas se mostram divididas em relação à percepção de acontecimentos bons e ruins. Uma variação genética comum pode estar por trás dessas tendências para o otimismo ou pessimismo. Cientistas da University of Essex, na Inglaterra, investigaram a serotonina, um neurotransmissor ligado ao humor, e estudaram a preferência de várias pessoas em relação a diferentes tipos de imagens. Pessoas que tinham apenas a versão longa do gene para a proteína transportadora de serotonina – que controla os níveis do neurotransmissor nas células do cérebro – tendiam a prestar atenção em figuras agradáveis (como imagens de chocolates), enquanto evitavam as negativas (como fotografias de aranhas). As pessoas que tinham a forma curta do gene apresentaram preferências opostas. Esses estudos ajudam a explicar por que algumas pessoas são menos suscetíveis à ansiedade e depressão. Além disso, esses resultados podem levar a terapias que ajudem algumas pessoas a ver o lado bom das coisas.

*Scientific American Brasil, ano 7, n. 85, jun. 2009.*

Com base no texto, e considerando a versão longa do gene como sendo um alelo que se manifesta em homocigose, bem como a versão curta como um alelo que se expressa apenas em homocigose, responda à seguinte questão.

Qual a probabilidade de um casal de indivíduos híbridos, otimistas, vir a gerar uma filha otimista?

- a)  $\frac{1}{2}$                       c)  $\frac{3}{8}$                       e) 0  
 b)  $\frac{1}{4}$                       d)  $\frac{1}{16}$

3. Entra em cena o OX513A, que foi criado pela Universidade de Oxford, na Inglaterra. Ele é idêntico ao *Aedes aegypti* – exceto por dois genes modificados, colocados pelo ser humano. Um deles faz as larvas do mosquito brilharem sob uma luz especial (para que elas possam ser identificadas pelos cientistas). O outro é uma espécie de bomba-relógio, que mata os filhotes do mosquito. A ideia é que ele seja solto na natureza, se reproduza com as fêmeas de *Aedes* e tenha filhotes defeituosos – que morrem muito rápido, antes de chegar à idade adulta, e por isso não conseguem se reproduzir. Com o tempo, esse processo vai reduzindo a população da espécie, até extingui-la. Recentemente, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, um órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia, aprovou o mosquito e o Brasil se tornou o primeiro país do mundo a permitir a produção em grande escala do OX513A – que agora só depende de uma última liberação da Anvisa.

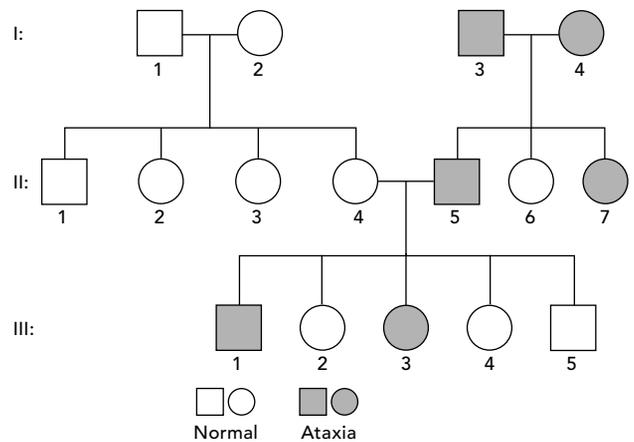
O OX513A já foi utilizado em testes na Malásia, nas Ilhas Cayman (no Caribe) e em duas cidades brasileiras: Jacobina e Juazeiro, ambas na Bahia. Deu certo. Em Juazeiro, a população de *Aedes aegypti* caiu 94% após alguns meses de

tratamento com os mosquitos transgênicos. Em Jacobina, 92%. As outras formas de combate, como mutirões de limpeza, campanhas educativas e visitas de agentes de saúde, continuaram sendo realizadas. “Nós não paramos nenhuma ação de controle. Adicionamos mais uma técnica”, diz a bióloga Margareth Capurro, da USP, coordenadora técnica das experiências. Há indícios de que o mosquito transgênico funciona, mas ele também tem seu lado polêmico.

Para garantir que toda prole herde o gene transgênico letal, os mosquitos transgênicos apresentam este gene em

- a) heterocigose.                      d) pleiotropia.  
 b) homocigose.                      e) codominância.  
 c) hemizigose.

4. Ataxia representa a perda da coordenação dos movimentos musculares voluntários, além de uma grande variedade de distúrbios neurodegenerativos. Pode afetar os dedos, as mãos, os pés, os movimentos dos olhos ou do corpo como um todo. O heredograma a seguir representa uma ataxia espinocerebelar de manifestação tardia.



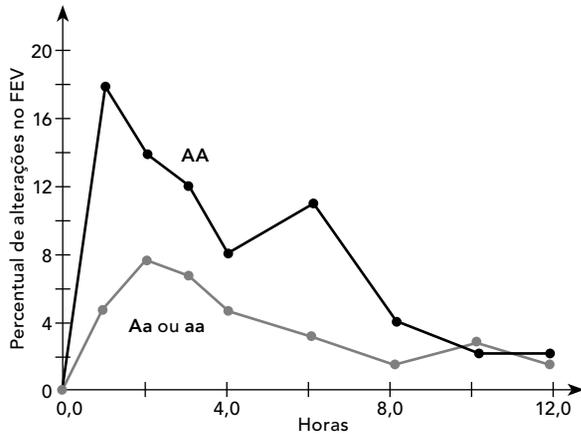
Em relação à herança em questão, assinale a alternativa correta.

- a) A família do casal I-3 e I-4 permite concluir que a genealogia trata de herança com caráter recessivo.  
 b) Os indivíduos II-3 e II-4 podem ter genótipos diferentes para essa herança.  
 c) Dos 16 indivíduos dessa genealogia, o único que não pode ter seu genótipo definido é o indivíduo II-6.  
 d) Os indivíduos III-1 e III-3 são heterocigotos para essa herança.  
 e) Nessa genealogia, os indivíduos de fenótipo normal podem ter genótipo homocigoto ou heterocigoto.
5. (ENEM) A fenilcetonúria é uma doença hereditária autossômica recessiva, associada à mutação do gene PAH, que limita a metabolização do aminoácido fenilalanina. Por isso, é obrigatório, por lei, que as embalagens de alimentos, como refrigerantes dietéticos, informem a presença de fenilalanina em sua composição. Uma mulher portadora de mutação para o gene PAH tem três filhos normais, com um homem normal, cujo pai sofria de fenilcetonúria devido à mesma mutação no gene PAH encontrada em um dos alelos da mulher.

Qual a probabilidade de a quarta criança gerada por esses pais apresentar fenilcetonúria?

- a) 0%                                      d) 50%  
 b) 12,5%                                  e) 75%  
 c) 25%

6. Uma das medidas da função respiratória é representada pelo volume expiratório forçado (FEV). Certos fármacos, como o albuterol, interferem na capacidade expiratória dos seres humanos. A sensibilidade do organismo humano à ação desse fármaco é determinada geneticamente. O gráfico a seguir representa o efeito de uma única aplicação de albuterol no volume expiratório forçado de indivíduos normais que apresentam características genéticas diferentes.



Considerando a sensibilidade de indivíduos geneticamente distintos frente uma única aplicação do albuterol, é possível afirmar que

- os indivíduos heterozigotos e homozigotos recessivos apresentam maior alteração do volume expiratório forçado.
- a capacidade expiratória dos indivíduos heterozigotos, após 12 horas, é menor que dos homozigotos recessivos.
- a variação da sensibilidade ao fármaco independe do tempo e das características genéticas dos indivíduos.
- o efeito do fármaco sobre o volume expiratório forçado é maior nos indivíduos homozigotos dominantes que nos heterozigotos.
- a sensibilidade ao fármaco nos indivíduos homozigotos recessivos e nos heterozigotos aumenta com o tempo após uma única aplicação.

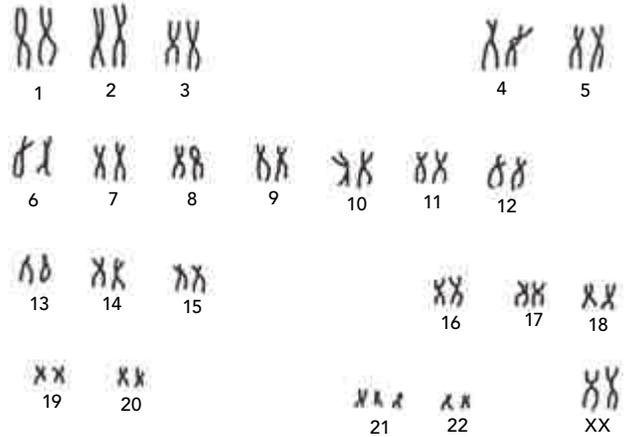
7. A fenilcetonúria (PKU) é uma doença metabólica caracterizada pela ausência de uma enzima responsável por transformar o aminoácido fenilalanina em tirosina. O aminoácido se acumula nos tecidos e dele derivam outras substâncias como o ácido fenilpirúvico e o ácido fenil-láctico. O excesso desses compostos provoca desenvolvimento anômalo do sistema nervoso, de modo que o QI dos afetados pela PKU costuma ficar em torno de 20, caracterizando, assim, uma deficiência mental acentuada. Pessoas com PKU também costumam ter menos melanina que o normal, já que o metabolismo da fenilalanina está relacionado à produção desse pigmento. Em maternidades, o teste para a fenilcetonúria é rotineiro (teste do pezinho). Uma dieta é mantida até os 6 anos de idade, quando o desenvolvimento neurológico se completa. A partir daí, a alimentação é normal. Trata-se de uma doença autossômica, cujo gene somente se expressa em homozigose.

Em relação à fenilcetonúria, analise as proposições e assinale a correta.

- Crianças com a doença são nutridas com uma dieta rica em fenilalanina: fornece-se ao bebê a quantidade necessária para o crescimento.
- Não há tratamento para a fenilcetonúria.
- A fenilcetonúria é condicionada por gene dominante.
- A fenilalanina, embora não seja utilizada na produção

de proteínas celulares, serve como matéria-prima precursora de outras substâncias.

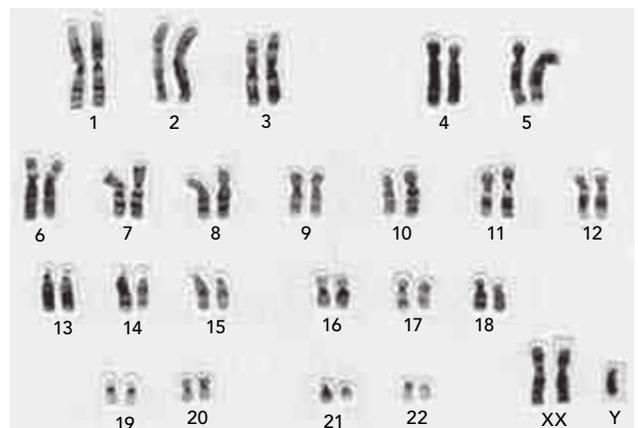
- Um casal normal tem uma criança fenilcetonúrica. A probabilidade de esse casal vir a ter outra criança afetada é de 25%.
8. O cariótipo de um ser humano pode apresentar alterações no número e na estrutura dos cromossomos. O cariótipo a seguir é exemplo disso.



Marque a alternativa que corresponde ao cariótipo apresentado.

	Anomalia	Fórmula cariotípica	Sexo	Alteração
a)	Síndrome de Patau	47, XY, +13	Masculino	Translocação
b)	Síndrome de Down	47, XX, +21	Feminino	Trissomia
c)	Síndrome de Turner	45, XO	Feminino	Monossomia
d)	Síndrome de Down	47, XY, +21	Masculino	Trissomia
e)	Síndrome de Patau	47, XX, +13	Feminino	Trissomia

9. Em um laboratório de citogenética, o geneticista deparou-se com o idiograma obtido do cariótipo de uma criança, mostrado a seguir.



Disponível em: <<http://www.ghente.org>>.

Observando-se esse idiograma, é correto afirmar que essa criança apresenta o fenótipo de

- um menino com síndrome de Klinefelter.
- uma menina com síndrome de Klinefelter.
- um menino com síndrome de Down.
- um menino com síndrome de Turner.
- uma menina com síndrome de Turner.

10. No início do desenvolvimento, todo embrião humano tem estruturas que podem se diferenciar tanto no sistema reprodutor masculino quanto no feminino. Um gene do cromossomo Y, denominado SRY (sigla de *sex-determining region of the Y*), induz a formação dos testículos. Hormônios produzidos pelos testículos atuam no embrião, induzindo a diferenciação das outras estruturas do sistema reprodutor masculino e, portanto, o fenótipo masculino.

Suponha que um óvulo tenha sido fecundado por um espermatozoide portador de um cromossomo Y com uma mutação que inativa completamente o gene SRY. Com base nas informações fornecidas, pode-se prever que o zigoto

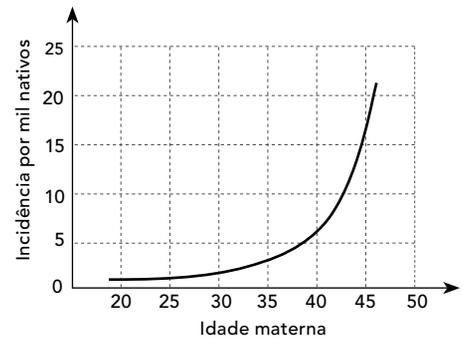
- será inviável e não se desenvolverá em um novo indivíduo.
- se desenvolverá em um indivíduo cromossômica (XY) e fenotipicamente do sexo masculino, normal e fértil.
- se desenvolverá em um indivíduo cromossômica (XY) e fenotipicamente do sexo masculino, mas sem testículos.
- se desenvolverá em um indivíduo cromossômica do sexo masculino (XY), mas com fenótipo feminino.
- se desenvolverá em um indivíduo cromossômica (XX) e fenotipicamente do sexo feminino.

11. A síndrome de Down é uma anomalia cromossômica frequentemente observada em seres humanos. Apesar das alterações morfológicas e anatômicas, os indivíduos afetados podem aprender a cuidar de si, a ler e a praticar atividades manuais. A maioria dos indivíduos com essa síndrome cromossômica é muito afetuosa e prestativa.

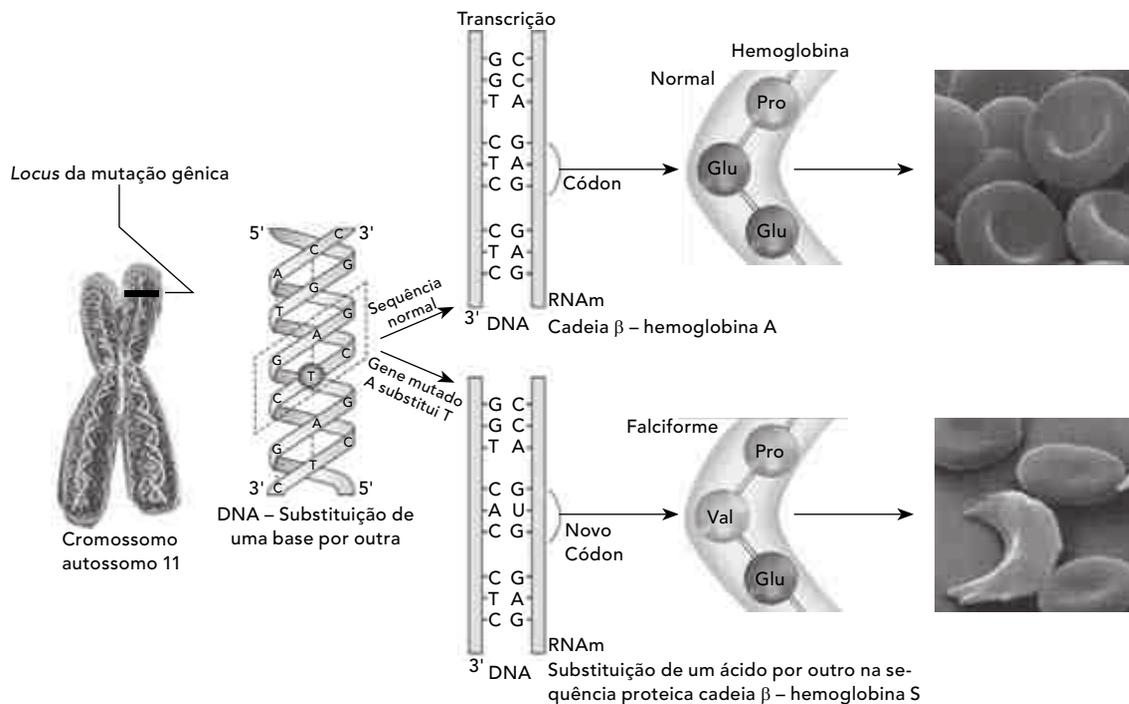
O gráfico ao lado revela a incidência de SD correlacionada à idade materna.

Com base nas informações desse gráfico, analise as afirmativas sobre a correlação entre o nascimento de crianças com síndrome de Down e a idade materna e assinale a alternativa correta.

- A frequência diminui com a idade avançada.
- A frequência esperada aos 25 anos é cerca de 0,5%.
- A incidência aos 35 anos é, aproximadamente, a metade da incidência aos 50 anos.
- A incidência aos 45 anos é, aproximadamente, duas vezes maior que aos 40 anos.
- Mesmo a incidência sendo baixa, ainda há possibilidade de ocorrência da trissomia aos 20 anos.



12. A saúde de pessoas com a doença das células falciformes é comprometida. Nessa doença, a hemoglobina alterada deforma-se em baixa tensão de gás oxigênio, o que reduz a eficiência do transporte do oxigênio pelo sangue, causando os sintomas da doença, tais como anemia recorrente e fortes dores musculares.



Com base no exposto, quanto ao genótipo de um indivíduo heterozigoto para a anormalidade das células falciformes, após a verificação se há ou não dominância em nível molecular entre os alelos da hemoglobina, assinale a alternativa correta.

- O genótipo é  $Hb^S Hb^S$ ; trata-se de dominância completa ou total.
- O genótipo é  $Hb^A Hb^A$ ; trata-se de herança intermediária ou parcial.
- O genótipo é  $Hb^A Hb^S$ ; trata-se de codominância.
- O genótipo é  $Hb^A Hb^A$ ; não há dominância.
- O genótipo é  $Hb^A Hb^S$ ; há dominância.

## Grupos sanguíneos, transplantes e doenças autoimunes

Os genes são responsáveis por determinar a síntese de proteínas. Conseqüentemente, os diferentes alelos de um gene são sequências de DNA levemente diferentes, localizadas no mesmo *locus*, resultando em produtos proteicos também levemente diferentes. Alelos diferentes existem porque qualquer gene está sujeito a mutações gênicas.

O alelo específico de um gene pode ser definido como o tipo selvagem ou padrão e estar presente na maior parte dos organismos de uma dada espécie, originando um fenótipo esperado. Outros alelos do mesmo gene, denominados **mutantes**, podem expressar um fenótipo diferente. Ambos alelos, selvagem e mutante, localizam-se no mesmo *locus* e são herdados segundo o padrão das leis de Mendel. Séries de três ou mais formas alternativas de um mesmo gene, localizado no mesmo *locus* em cromossomos homólogos e interagindo, dois a dois, na determinação de um caráter, denominam-se **alelos múltiplos** ou **polialelia**.

De acordo com o sistema ABO, a interação entre alelos pode ser percebida na identificação de grupos sanguíneos. Eles são determinados por três alelos de um gene que revela vários tipos de interação para produzir os quatro fenótipos possíveis (A, B, AB e O). O sistema Rh, por outro lado, é um caso de dominância completa entre alelos, podendo ser positivo ou negativo.

### Herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO

A herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO inclui três alelos principais:  $I^A$ ,  $I^B$  e  $i$ , cujos *loci* se localizam no cromossomo 9. O gene  $I^A$  determina a produção de aglutinogênio A, o gene  $I^B$  determina a produção do aglutinogênio B e o gene  $i$  não produz aglutinogênio A nem B.

A relação de dominância entre esses genes pode ser expressa da seguinte maneira:

$$(I^A \equiv I^B) > i$$

#### Take note

- Os genes  $I^A$  e  $I^B$  são codominantes; assim, cada um expressa o seu efeito e sintetiza as duas substâncias.
- Os genes  $I^A$  e  $I^B$  são dominantes em relação a  $i$ .

#### Possíveis fenótipos e genótipos no sistema ABO

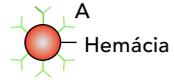
Fenótipos	Genótipos
A	$I^A I^A, I^A i$
B	$I^B I^B, I^B i$
AB	$I^A I^B$
O	$ii$

## Aglutinogênios e aglutininas no sistema ABO

Na membrana das hemácias humanas, podem ser encontradas glicoproteínas específicas denominadas **antígenos**. As pessoas do grupo A apresentam um antígeno denominado aglutinogênio A; pessoas do grupo B, o antígeno aglutinogênio B; as pessoas do grupo AB apresentam os dois antígenos; e as pessoas do grupo O não apresentam nem A nem B, assim, devido à ausência dos dois antígenos, pode-se dizer que esse grupo é zero ou O.

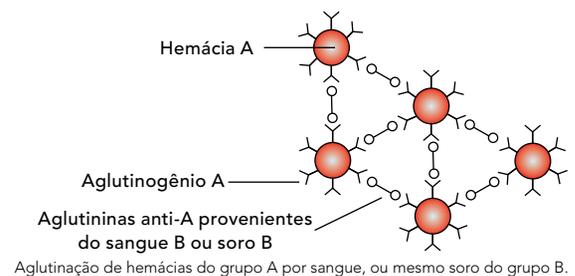
No plasma sanguíneo, estão presentes proteínas específicas denominadas **aglutininas**, que atuam como anticorpos e são divididas em dois tipos: anti-A e anti-B. As pessoas portadoras de sangue tipo A possuem aglutinina anti-B; as portadoras de sangue tipo B possuem aglutinina anti-A; as pessoas pertencentes ao grupo de sangue tipo AB são desprovidas de quaisquer aglutininas; as pessoas portadoras de sangue tipo O possuem aglutininas anti-A e aglutininas anti-B.

O quadro a seguir mostra os fenótipos sanguíneos e os aglutinogênios e aglutininas correspondentes.

Grupos sanguíneos fenótipos	Aglutinogênios	Aglutininas
A	 Hemácia A	Anti-B ou $\beta$
B	 Hemácia B	Anti-A ou $\alpha$
AB	 Hemácia AB	Ausência de anti-A e anti-B
O	 Hemácia O	Anti-A e anti-B

## Noção de reação antígeno-anticorpo e transfusões de sangue

Cada aglutinina existente no plasma sanguíneo não pode estar presente no sangue que possui o aglutinogênio correspondente; caso contrário, seria desencadeada uma reação de aglutinação na qual se formariam grumos (coágulo de pequena proporção) no sangue, correspondentes às hemácias aglutinadas.



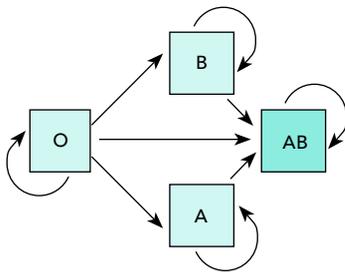
Aglutinação de hemácias do grupo A por sangue, ou mesmo soro do grupo B.

Nos mecanismos que conduzem à incompatibilidade sanguínea, é fundamental o conhecimento prévio do tipo sanguíneo de doadores e receptores para evitar qualquer tipo de acidente envolvendo transfusões sanguíneas. Por exemplo:

pessoas de sangue tipo A não podem doar sangue para pessoas com tipo sanguíneo B ou O, uma vez que no plasma dos receptores existem aglutininas anti-A. Sangue tipo A poderá ser doado para receptores de tipo A ou AB, uma vez que não existe aglutinina anti-A no seu plasma.

Por outro lado, indivíduos de tipo sanguíneo O são **doadores universais**, uma vez que não possuem nenhum dos aglutinogênios nas hemácias. Aqueles que são do tipo AB, por não possuírem aglutinina anti-A ou anti-B, atuam como **receptores universais**. Nesse caso, é comum que surja uma dúvida: se for introduzido sangue tipo A (que possui aglutinina anti-B) em um receptor AB, haverá reação de aglutinação? A resposta é não, uma vez que o volume transfundido é pequeno. A tendência, portanto, é haver uma diluição das aglutininas no grande volume sanguíneo do receptor ou, ainda, a sua retenção nos tecidos, tornando improvável a ocorrência de aglutinação.

O esquema a seguir mostra todas as possibilidades de doação de sangue dos diversos grupos.



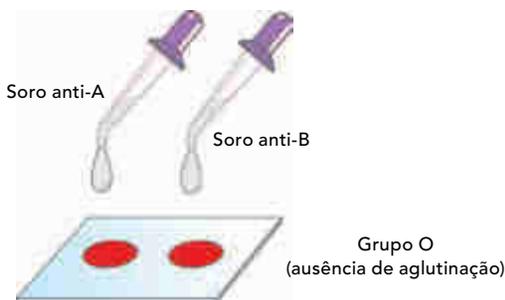
Nas transfusões de sangue, leva-se em conta apenas o efeito do plasma sanguíneo do receptor sobre as hemácias do doador, visto que a ação contrária entre as hemácias do receptor e o plasma sanguíneo do doador pode ser desprezada, atendendo-se ao pequeno volume de sangue do doador em relação ao do receptor, ou seja, a sua diluição.

### Determinação dos grupos sanguíneos ABO

O grupo sanguíneo de uma pessoa é determinado verificando-se a existência ou não de aglutinação das hemácias, quando seu sangue é misturado com soros portadores de aglutininas. Para tanto, procede-se da seguinte maneira:

- Coleta-se o sangue cujo grupo sanguíneo se deseja determinar; em seguida, colocam-se duas gotas desse sangue sobre uma lâmina para microscopia.
- Sobre uma das gotas de sangue, aplica-se uma gota de soro contendo aglutininas anti-A; sobre a outra gota de sangue, aplica-se uma gota de soro com aglutininas anti-B.

Não havendo aglutinação em nenhuma das duas gotas de sangue, o indivíduo pertence ao grupo O.



Havendo aglutinação nas duas gotas de sangue, o indivíduo é do grupo AB.



Havendo aglutinação apenas na gota de sangue onde se aplicou o soro anti-A, o indivíduo é do grupo A.



Havendo aglutinação apenas na gota de sangue onde se aplicou o soro anti-B, o indivíduo é do grupo B.



### Doenças autoimunes

Nos casos de autoimunidade, o organismo passa a não reconhecer o que é seu, tratando células e órgãos como fatores estranhos que devem ser destruídos. Assim, o corpo pode destruir suas próprias células por meio de seus anticorpos.

As doenças autoimunes mais preocupantes, pelo número crescente de casos, são:

- **Diabetes tipo I** – O sistema imune ataca e destrói as células das ilhotas de Langerhans do pâncreas, produtoras do hormônio **insulina**. O diabetes tipo I ou juvenil desenvolve-se antes dos 40 anos de idade e é causado pela redução acentuada de células beta do pâncreas.
- **Tireoidite** – Afeta células da glândula tireóide, produtora do hormônio tiroxina.
- **Esclerose múltipla** – Nesse caso, é destruída a bainha de mielina (desmielinização) dos neurônios do cérebro e da medula, promovendo sério e progressivo comprometimento das funções neuromusculares e sensoriais.
- **Vitiligo** – Os anticorpos atacam os melanócitos, provocando o aparecimento de manchas brancas na pele.
- **Lúpus eritematoso sistêmico** – Todos os órgãos do corpo podem ser atacados.
- **Artrite reumatoide** – Há um enrijecimento das articulações dos dedos e punhos, provocado pelo ataque às células da membrana sinovial.

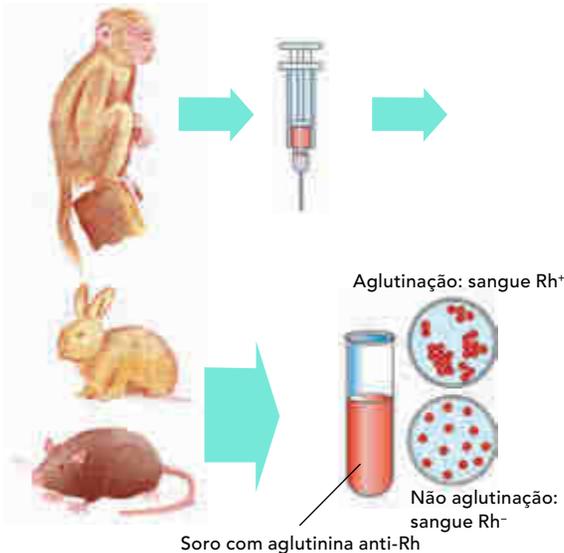
### Sistema Rh e eritroblastose fetal

#### Determinação genética dos tipos sanguíneos do sistema Rh

Os grupos sanguíneos do sistema Rh são condicionados por dois alelos (**R** e **r**) com dominância completa. Pessoas portadoras de pelo menos um alelo dominante, com genótipos **RR** ou **Rr**, apresentam o fator Rh em suas hemácias e têm, portanto, fenótipo Rh<sup>+</sup>; pessoas homocigóticas recessivas (**rr**) não têm fator Rh e apresentam fenótipo Rh<sup>-</sup>.

Os possíveis genótipos e os seus respectivos fenótipos para esse par de genes serão:

Genótipo	Fenótipo
RR, Rr	Rh <sup>+</sup>
rr	Rh <sup>-</sup>



O primata *rhesus* (*Macaca mulatta*) e a descoberta do sistema Rh. Injetado em ratos ou coelhos, o sangue desse macaco provoca, nesses animais, a síntese de aglutininas anti-Rh. O soro contendo aglutininas anti-Rh extraído dos coelhos ou dos ratos, quando misturado com o sangue humano, pode provocar a aglutinação das hemácias, indicando a presença do fator Rh no sangue; nesse caso, diz-se que a pessoa é Rh<sup>+</sup>. Quando o fator Rh está ausente, as hemácias não se aglutinam e diz-se que a pessoa é Rh<sup>-</sup>.

### O sistema Rh e a doença hemolítica de recém-nascidos (DHRN)

A descoberta do fator Rh na espécie humana veio explicar a origem de uma doença que pode afetar crianças recém-nascidas, denominada eritroblastose fetal.

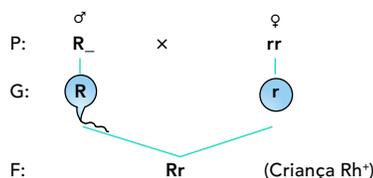
Essa enfermidade caracteriza-se pela destruição das hemácias da criança (hemólise), que tem, como consequência, uma forte anemia. Um outro aspecto da doença, que motivou o seu nome, é a presença de hemácias jovens (eritroblastos) na circulação sanguínea do doente. Os eritroblastos, nas pessoas saudáveis, encontram-se, normalmente, no interior da medula óssea, que é o local onde as hemácias são produzidas.

A eritroblastose fetal pode ocasionar a morte da criança recém-nascida ou do feto durante a gestação. Entretanto, nos casos de sobrevivência, estas recuperam-se totalmente após algum tempo.

Investigações levadas a cabo por Levine revelaram que, em cerca de 90% dos casos dessa doença, as crianças afetadas eram Rh<sup>+</sup> e suas mães Rh<sup>-</sup>. Portanto, poderia haver alguma relação entre os dois fatos.

Esses estudos levaram à conclusão de que as hemácias dos filhos eram atacadas e destruídas por anticorpos produzidos pelas mães durante a gravidez, sendo possível, inclusive, a identificação desse anticorpo.

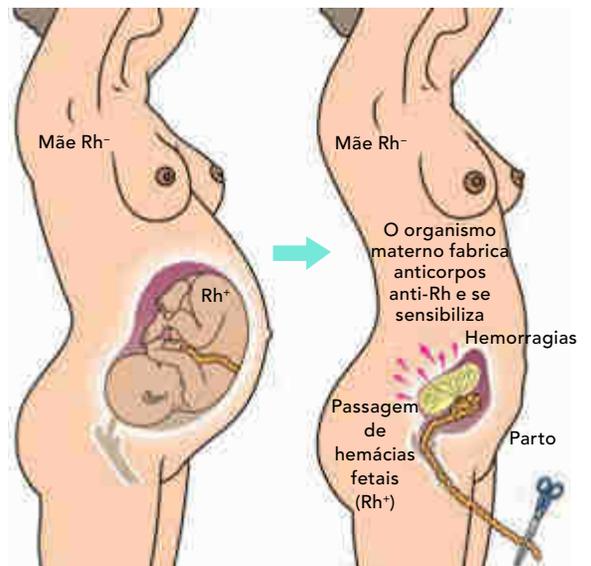
Uma mulher Rh<sup>-</sup>, casada com um homem Rh<sup>+</sup>, poderá gerar uma criança Rh<sup>+</sup>, de acordo com o diagrama:



A explicação para a origem da eritroblastose fetal ou doença hemolítica do recém-nascido (DHRN) revela que as mulheres portadoras de sangue Rh<sup>-</sup> não possuem, normalmente, as aglutininas anti-Rh. No entanto, quando recebem sangue Rh<sup>+</sup>, tornam-se sensibilizadas. Uma mulher Rh<sup>-</sup> é sensibilizada quando recebe transfusão de sangue Rh<sup>+</sup> ou quando gera uma criança Rh<sup>+</sup>. Nesse último caso, durante a gravidez e, principalmente, na hora do parto, ocorrem rupturas da placenta que permitem a passagem das hemácias da criança (Rh<sup>+</sup>) para a circulação materna. As hemácias da criança (Rh<sup>+</sup>) estimulam a mãe (Rh<sup>-</sup>) a produzir anticorpos anti-Rh e a adquirir memória imunitária.

Como a produção de aglutininas (anticorpos) ocorre de forma relativamente lenta, então, ao se fazer transfusão de sangue de um doador Rh<sup>+</sup> para um receptor Rh<sup>-</sup>, não deverá ocorrer uma aglutinação significativa das hemácias doadas. No caso de gravidez, os anticorpos (anti-Rh) maternos formam-se, também, lentamente, não atingindo o feto que os provocou, mas sim os seguintes, desde que também sejam Rh<sup>+</sup>. Assim, se a próxima criança gerada for Rh<sup>+</sup>, os anticorpos anti-Rh, já presentes na mãe, atravessam a placenta, destruindo hemácias fetais, o que provoca uma anemia hemolítica profunda, ocasionando dificuldade no transporte de oxigênio devido à destruição maciça de glóbulos vermelhos.

#### Primeira gravidez



#### Segunda gravidez



A partir da hemoglobina das hemácias destruídas, ocorre aumento da síntese de **bilirrubina**, uma substância que passa a se acumular na pele, conferindo ao recém-nascido um aspecto amarelo-esverdeado, situação denominada **icterícia**, desencadeada quando os capilares do fígado ficam entupidos com os restos de hemácias, e a bile é absorvida pelo sangue. Os eritrócitos danificados não transportam oxigênio corretamente e se assemelham às células imaturas da medula.

A doença hemolítica do recém-nascido é caracterizada, ainda, por um aumento do volume do fígado e do baço (hepatoesplenomegalia), edema do corpo devido à retenção de líquidos, e pela produção de eritroblastos pelo bebê. Essa produção ocorre devido à destruição das hemácias, o que leva o bebê a tentar produzir mais hemácias; estas são lançadas no sangue na forma imatura de eritroblastos. Antes que os eritroblastos consigam originar hemácias maduras, eles são destruídos pelos anticorpos anti-Rh; dessa forma, o sangue do bebê afetado não possui hemácias, somente eritroblastos.

### A prevenção da eritroblastose fetal

Para evitar esse tipo de problema, tem-se recorrido à prática de injetar na mãe, imediatamente após o parto ou poucos dias antes do fim da primeira gravidez, soro contendo anticorpos anti-Rh, o chamado RhoGAM. Esses anticorpos destruirão possíveis hemácias que passaram para o sangue materno, impedindo a ocorrência de contato entre as hemácias fetais e as células do sistema imunológico da mãe. Com isso, evita-se a sensibilização da mãe, e, na segunda gestação, o feto não fica sujeito à doença hemolítica. Os anticorpos existentes no soro injetado duram pouco tempo no organismo materno e não constituem nenhum risco para futuras gestações. É fundamental lembrar que, nos casos em que a mãe e o feto pertencem ao mesmo tipo sanguíneo quanto ao fator Rh, não há incompatibilidade sanguínea, e, como consequência, inexistente o risco de eritroblastose fetal.

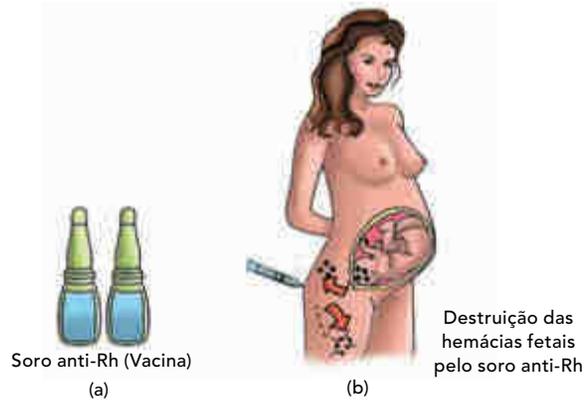


A injeção de uma quantidade padronizada de anti-Rh na circulação materna logo após o parto destruirá as hemácias fetais, impedindo que haja a sensibilização da mãe.

De modo geral, a eritroblastose fetal se manifesta a partir da segunda gravidez. Existe, porém, uma situação em que, mesmo na primeira gestação, a doença pode ocorrer: se a mãe, por algum motivo, recebeu transfusão de sangue Rh<sup>+</sup> em algum momento de sua vida, com certeza estará sensibilizada ao fator Rh. Nesse caso, anticorpos já existentes em decorrência dessa sensibilização cruzam a barreira placentária, podendo provocar hemólise de hemácias fetais logo na primeira gravidez.

### Tratamento da eritroblastose fetal

O tratamento é feito pela substituição do sangue Rh<sup>+</sup> do filho por sangue Rh<sup>-</sup>. Sem hemácias Rh<sup>+</sup>, os anticorpos anti-Rh perdem o efeito e desaparecem. Quando o bebê voltar a produzir suas próprias hemácias Rh<sup>+</sup>, depois de cerca de 120 dias, os anticorpos anti-Rh já terão desaparecido do sangue do bebê, e não haverá mais problemas.



A injeção de anticorpos anti-Rh (a) é erroneamente chamada de vacina anti-Rh. Na verdade, trata-se de um soro anti-Rh. Os anticorpos anti-Rh aplicados na mãe (b) irão destruir rapidamente as hemácias fetais que passaram para sua circulação, antes que seu sistema imunitário as reconheça.

### Incompatibilidade de sistema ABO entre mãe e filho – Imunidade natural à eritroblastose fetal

Se houver incompatibilidade de sistema ABO entre mãe e filho, a eritroblastose não ocorre. Isso porque, quando ocorrem as microrrupturas na placenta e as hemácias Rh<sup>+</sup> do filho passam para a mãe, os anticorpos do sistema ABO destroem essas hemácias Rh<sup>+</sup> antes de haver sensibilização do sistema imune materno para que este produza anticorpos anti-Rh.

Se a mãe possuir tipo sanguíneo A e o filho B, por exemplo, a aglutinina anti-B da mãe destrói as hemácias B<sup>+</sup> do filho antes de o corpo materno ser sensibilizado pelo fator Rh das hemácias do filho.

### Transplante de órgãos

Os enxertos de tecidos e transplantes de órgãos podem ser **autólogos**, quando o tecido ou órgão é transplantado para o mesmo indivíduo; **isólogos**, quando o transplante provém de um gêmeo idêntico; **homólogos**, quando realizados entre indivíduos diferentes, porém da mesma espécie; e **heterólogos**, quando realizados entre espécies diferentes.

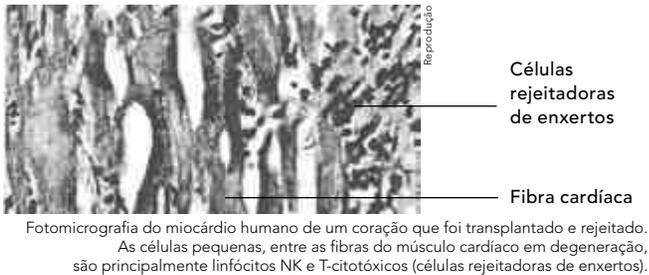
O sistema imunitário distingue as moléculas próprias do organismo das moléculas estranhas, por meio da presença na superfície celular do complexo de histocompatibilidade (MHC, do inglês, *major histocompatibility complex*), também conhecido como antígeno de histocompatibilidade (HLA, do inglês, *human leukocyte*). Essa nomenclatura ocorre devido a sua descoberta nos leucócitos do sangue. De acordo com as moléculas que os constituem, distinguem-se duas classes de MHC.

O MHC I está presente em todas as células, enquanto o MHC II é de distribuição mais restrita, sendo encontrado nas células que apresentam antígenos, como os macrófagos, linfócitos B, células dendríticas e células de Langerhans da epiderme. As moléculas do MHC II constituem um sistema intracelular para colocar o complexo MHC II + peptídeo na membrana das células que contêm antígenos, na qual eles são "inspecionados" por linfócitos T.

Os MHCs têm uma estrutura que é única para cada pessoa, e esse é o principal motivo pelo qual enxertos e órgãos transplantados são rejeitados, exceto quando feitos entre gêmeos univitelinos (gêmeos idênticos), que possuem constituição molecular e MHCs idênticos. Os transplantes homólogos contêm células cujas membranas possuem MHC I, que é estranho ao hospedeiro, sendo reconhecidas e tratadas como

tais. A rejeição dos órgãos transplantados deve-se principalmente à atividade dos linfócitos NK (*natural killer*, assassino natural, em inglês) e citotóxicos, que penetram no órgão e destroem suas células.

Os transplantes autólogos e isólogos se adaptam com facilidade, desde que se estabeleça uma circulação sanguínea eficiente. Nesses casos, não há rejeição, pois as células transplantadas são geneticamente semelhantes às do receptor e apresentam os mesmos MHCs em suas superfícies. O organismo reconhece as células transferidas como sendo iguais às suas (mesmos MHCs) e, portanto, não desenvolve uma resposta imunitária.



## A Segunda Lei de Mendel ou di-hibridismo

Depois da formação da **Lei da Segregação dos Fatores** ou **Lei da Pureza dos Gametas**, Mendel prosseguiu os estudos, passando a examinar, de forma simultânea, o processo de transmissão de dois ou mais diferentes pares de "fatores" (genes) ao longo das gerações das ervilhas *Pisum sativum*.

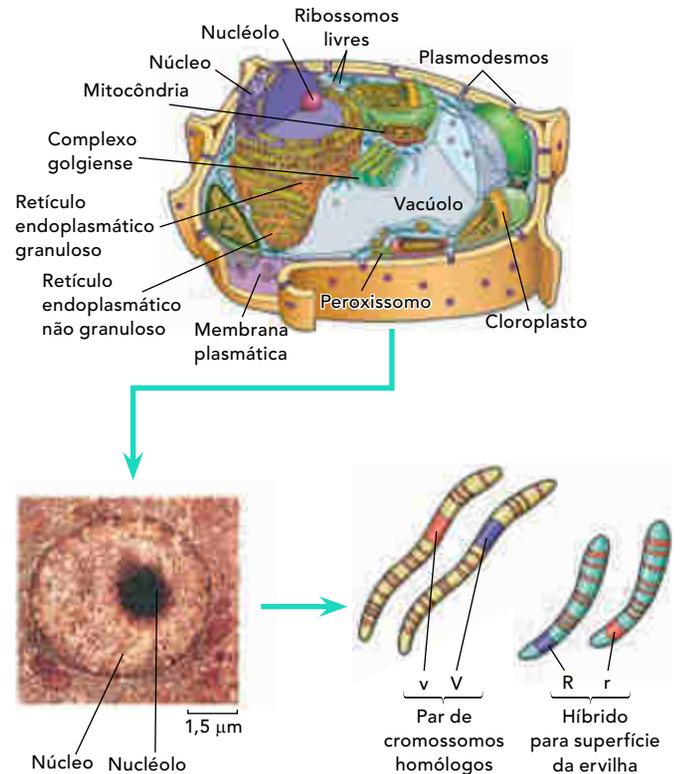
Dependendo da quantidade de pares de genes envolvidos, essa transmissão denomina-se di-hibridismo, tri-hibridismo e assim por diante. Durante cerca de três anos, Mendel realizou uma série de experimentos, e foi com base na interpretação das transmissões de "fatores" que ele estabeleceu as regras que compõem a **Lei da Segregação Independente**.

### Células diploides e Segunda Lei de Mendel

Em cada espécie de ser vivo, o número de cromossomos é constante, visto que, durante a gametogênese, esse número é reduzido à metade. A fecundação restabelece a diploidia. Assim, diferentemente dos gametas, as células somáticas são **diploides** (2n), ou seja, nessas células, os cromossomos ocorrem aos pares. Dessa maneira, há dois cromossomos de cada tipo, sendo que os de um mesmo par possuem mesmo tamanho e forma, e são denominados **cromossomos homólogos**.

A posição de um gene no cromossomo denomina-se **locus** ou **locus gênico** (no plural, *loci*). Os dois genes situados na mesma posição relativa de cromossomos homólogos denominam-se **genes alelos**, ou simplesmente **alelos**, e expressam a mesma característica. Os genes alelos ocorrem aos pares nas células diploides.

Embora controlem o mesmo tipo de característica, esses genes podem condicionar efeitos diferentes. Na ervilha *Pisum sativum* (2n = 14), ocorrem sete pares de cromossomos homólogos. Em um deles, está o gene que determina a cor da semente. Um dos cromossomos pode ter o gene que expressa a cor amarela, e o cromossomo homólogo a ele pode ter o gene que expressa a cor verde. Em outro par de cromossomos homólogos, são encontrados os alelos responsáveis pela forma da semente (lisa ou rugosa).



Célula da ervilha *Pisum sativum* com dois pares de cromossomos homólogos representados e um par de genes alelos destacado em cada um.

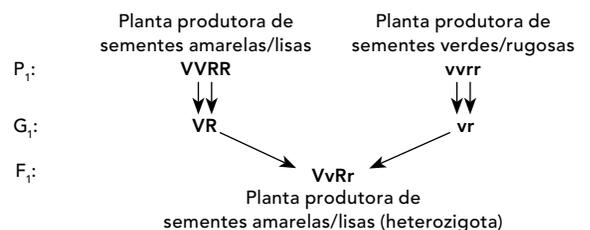
Um indivíduo puro para determinado caráter apresenta o mesmo gene nos dois cromossomos do par de homólogos, e o indivíduo híbrido possui genes diferentes.

A ilustração anterior revela que o gene **V** é alelo do gene **v**, e o gene **R** é alelo do **r**. Assim, os genes alelos não são necessariamente idênticos.

A **Segunda Lei de Mendel**, ou **Lei da Segregação Independente**, é válida somente quando os pares de genes não formarem grupo **linkage**, ou seja, não estiverem ligados, portanto não fazendo parte do mesmo cromossomo.

### Lei da Segregação Independente dos genes

Mendel cruzou ervilhas puras para semente amarela e para superfície lisa (caracteres dominantes) com ervilhas de semente verde e superfície rugosa (caracteres recessivos). Constatou que F<sub>1</sub> era totalmente constituída por indivíduos com sementes amarelas lisas, o que já se esperava, uma vez que esses caracteres são dominantes e os pais eram puros.



Ao provocar a autofecundação do indivíduo F<sub>1</sub>, o cientista observou que a geração F<sub>2</sub> era composta de quatro tipos de sementes: amarelo-lisa, 9/16; amarelo-rugosa, 3/16; verde-lisa, 3/16; verde-rugosa, 1/16.

Da autofecundação de plantas  $F_1$  resultou:

**VvRr** × **VvRr**

Gametas: **VR Vr vR vr**    **VR Vr vR vr**

1/4 1/4 1/4 1/4    1/4 1/4 1/4 1/4

Montando o quadro de cruzamentos, tem-se:

		Amarelo-lisa × Amarelo-lisa <b>VvRr</b>			
		Gametas masculinos			
		VR	Vr	vR	vr
Gametas femininos	VR	Amarelo-lisa <b>VVRR</b>	Amarelo-lisa <b>VVRr</b>	Amarelo-lisa <b>VvRR</b>	Amarelo-lisa <b>VvRr</b>
	Vr	Amarelo-lisa <b>VVRr</b>	Amarelo-rugosa <b>VVrr</b>	Amarelo-lisa <b>VvRr</b>	Amarelo-rugosa <b>Vvrr</b>
	vR	Amarelo-lisa <b>VvRR</b>	Amarelo-lisa <b>VvRr</b>	Verde-lisa <b>vvRR</b>	Verde-lisa <b>vvRr</b>
	vr	Amarelo-lisa <b>VvRr</b>	Amarelo-rugosa <b>Vvrr</b>	Verde-lisa <b>vvRr</b>	Verde-rugosa <b>vvrr</b>
		Geração $F_2$			

A **proporção genotípica** esperada em  $F_2$  é:

**VVRR** = 1/16      **VvRr** = 4/16      **Vvrr** = 1/16  
**VVRr** = 2/16      **vvRR** = 1/16      **Vvrr** = 2/16  
**VvRR** = 2/16      **vvRr** = 2/16      **vvrr** = 1/16

A **proporção fenotípica** em  $F_2$  é de 9:3:3:1, obtida quando ocorre o cruzamento entre dois indivíduos duplo-heterozigotos para duas características independentes, ou seja, 9 com a classe fenotípica amarelo-lisa, 3 com a classe amarelo-rugosa, 3 com o fenótipo verde-liso e uma casa apenas caracterizando o fenótipo verde-rugoso.

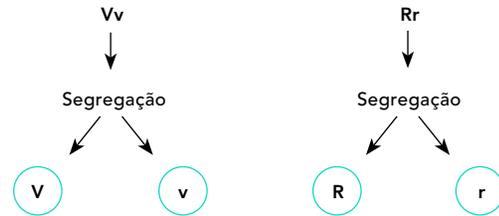
Os fenótipos amarelo-liso e verde-rugoso já eram conhecidos; os tipos amarelo-rugoso e verde-liso, porém, não estavam presentes na geração paterna, nem na  $F_1$ . O aparecimento desses fenótipos, por meio da recombinação de caracteres paternos e maternos, permitiu a Mendel concluir que a herança da cor era independente da herança da superfície da semente. O par de fatores para cor se distribuía entre os filhos sem influir na distribuição do par de fatores para superfície. Essa é a Segunda Lei de Mendel, também chamada **Lei da Recombinação** ou **Lei da Segregação Independente**.

Com base nesse e em outros experimentos, Mendel levantou a hipótese de que, na formação dos gametas de plantas híbridas, os alelos para a cor da semente (**V/v**) segregam-se independentemente dos alelos que condicionam a forma da semente (**R/r**). Ou seja, um gameta portador do alelo **V** pode conter tanto o alelo **R** como o alelo **r**, com iguais chances. O mesmo ocorre com os gametas portadores do alelo **v**, que podem receber tanto o alelo **R** como o alelo **r**, com iguais chances.

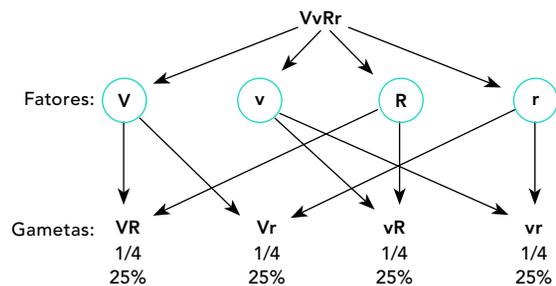
A relação fator/característica pode ser assim esquematizada:

- **V** → Fator que determina cor amarela da semente.
- **v** → Fator que determina cor verde da semente.
- **R** → Fator que determina forma lisa da semente.
- **r** → Fator que determina forma rugosa da semente.

Utilizando o di-híbrido **VvRr** como exemplo, os fatores para as duas características estão juntos no indivíduo, separando-se (segregando-se), porém, independentemente, quando ocorre a formação dos gametas.



Os gametas recebem um fator de cada par. Assim, a probabilidade de o fator **V** acompanhar o **R** na formação de um gameta é a mesma que seria obtida se **V** acompanhasse o fator **r**. O mesmo acontece com o fator **v** em relação aos fatores **R** e **r**, visto que a segregação é independente. Logo, a combinação dos fatores durante a formação dos gametas ocorre ao acaso. Pode-se esquematizar os tipos de gametas produzidos pelo indivíduo **VvRr** da seguinte forma:



## Enunciado da Segunda Lei de Mendel

Em um cruzamento em que estejam envolvidos dois ou mais caracteres, os fatores que determinam cada um desses caracteres se separam (se segregam), de forma independente, durante a formação dos gametas (meiose), distribuindo-se independentemente para os gametas, onde se agrupam ao acaso, formando todas as combinações possíveis.

### Determinação do número e dos tipos de gametas produzidos de acordo com a Segunda Lei de Mendel

Para calcular o número de gametas produzidos por um indivíduo, de acordo com a Segunda Lei de Mendel, usa-se a seguinte expressão:

$2^n$  → em que **n** é o número de pares de genes em heterozigose, ou o número de caracteres portadores de genótipos híbridos.

Assim, um indivíduo **VvRr** apresenta dois genótipos heterozigotos: **Vv** e **Rr**, e produz, portanto, quatro tipos diferentes de gametas ( $2^n = 2^2 = 4$ ).



## Determinação da frequência das classes genotípicas

Para a determinação da frequência das classes genotípicas, analisam-se os caracteres independentes, e multiplicam-se as frequências para os aspectos desejados. Observe um exemplo prático no exercício a seguir.

Exercício resolvido

1. Dado o cruzamento **AaBbCcpp** × **AabbccPp**, qual será a frequência (ou probabilidade) de nascer um indivíduo de genótipo **aaBbCcpp**?

Resolução:

Cruzamentos	Frequência na geração
Aa × Aa	P(aa) = 1/4
Bb × bb	P(Bb) = 1/2
Cc × cc	P(Cc) = 1/2
pp × Pp	P(pp) = 1/2

Portanto, a probabilidade de nascer um indivíduo com o genótipo em questão será calculada pela multiplicação das probabilidades:

$$P = \frac{1}{4}(aa) \cdot \frac{1}{2}(Bb) \cdot \frac{1}{2}(Cc) \cdot \frac{1}{2}(pp) = \frac{1}{32}$$

## Determinação da frequência das classes fenotípicas

Para a determinação da frequência das classes fenotípicas, os caracteres independentes são analisados, e, em seguida, as frequências para os aspectos desejados são multiplicadas, como no exemplo a seguir.

Exercício resolvido

1. Considerando o cruzamento amarela, lisa, axial (**AaLLPp**) × amarela, rugosa, terminal (**Aaℓℓpp**), qual será a frequência da classe verde, lisa, terminal na geração?

Resolução:

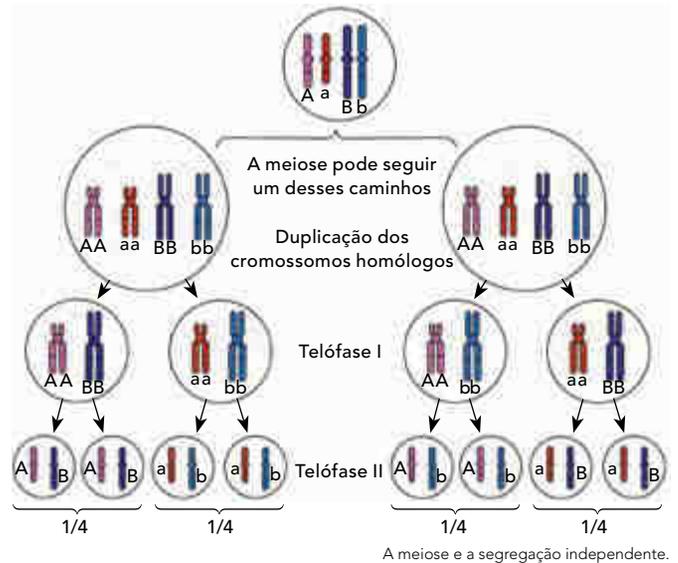
Cruzamentos	Probabilidades
Aa × Aa	P(verde) = 1/4
LL × ℓℓ	P(lisa) = 1
Pp × pp	P(terminal) = 1/2

$$P(\text{verde, lisa, terminal}) = \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

## O significado celular da Segunda Lei de Mendel

A Lei da Segregação Independente, postulada por Mendel após suas experiências com duas características ao mesmo tempo, pode ser compreendida, também, pela observação do que ocorre com os cromossomos na meiose. Ela só é válida para o caso em que os genes, para as diferentes características, estejam localizados em cromossomos diferentes.

O esquema a seguir começa com uma célula com constituição genética **AaBb** (portanto, di-híbrida). Perceba que os genes **A** e **a** estão em um par de homólogos, enquanto **B** e **b** estão em outro par. Os cromossomos homólogos podem separar-se durante a meiose de duas maneiras diferentes que dependem apenas do acaso.



Assim, em algumas meioses, o cromossomo com o gene **A** pode segregar-se junto com o cromossomo que carrega **B**; nesse caso, os cromossomos que levam **a** e **b** separam-se juntos. Porém, dependendo de como os cromossomos arrumam-se nas fibras do fuso, é igualmente provável **A** seguir com **b**, e **a**, com **B**. Se o número de células da meiose for muito grande, aproximadamente metade delas seguirá o primeiro caminho, e a outra metade, o segundo; os gametas (ou esporos) formados serão de quatro tipos: **AB**, **ab**, **Ab** e **aB** em igual proporção. Como qualquer um dos genes **a** passa com qualquer um dos genes **b**, fala-se em segregação independente.

Os dois caminhos apresentados são igualmente possíveis; assim, quando um grande número de células sofre meiose, formam-se quatro tipos de gametas em igual proporção.



## Atividades para sala

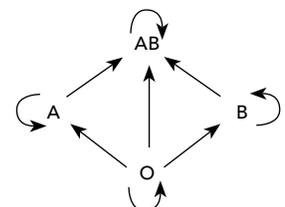
1. (ENEM) Antes de técnicas modernas de determinação de paternidade por exame de DNA, o sistema de determinação sanguínea ABO foi amplamente utilizado como ferramenta para excluir possíveis pais. Embora restrito à análise fenotípica, era possível concluir a exclusão de genótipos também. Considere que uma mulher teve um filho cuja paternidade estava sendo contestada. A análise do sangue revelou que ela era do tipo sanguíneo AB e o filho do tipo sanguíneo B.

O genótipo do homem, pelo sistema ABO, que exclui a possibilidade de paternidade desse filho é

- a) **I<sup>A</sup>I<sup>A</sup>**.                      c) **I<sup>B</sup>I<sup>B</sup>**.                      e) **ii**.  
 b) **I<sup>A</sup>i**.                        d) **I<sup>B</sup>i**.

2. (ENEM) O quadro a seguir refere-se aos grupos sanguíneos humanos e seus respectivos genótipos, e o esquema seguinte representa as possibilidades de doação entre esses diferentes grupos.

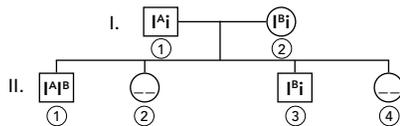
Grupos sanguíneos	Genótipos
A	I <sup>A</sup> I <sup>A</sup> ou I <sup>A</sup> i
B	I <sup>B</sup> I <sup>B</sup> ou I <sup>B</sup> i
AB	I <sup>A</sup> I <sup>B</sup>
O	ii



Um casal tem três filhos, sendo um do grupo A, outro do grupo B e o terceiro do grupo O. Considerando-se somente o sistema ABO para fins de transfusão sanguínea, a probabilidade de o casal dar à luz uma menina que no futuro possa doar sangue para todos seus irmãos é de

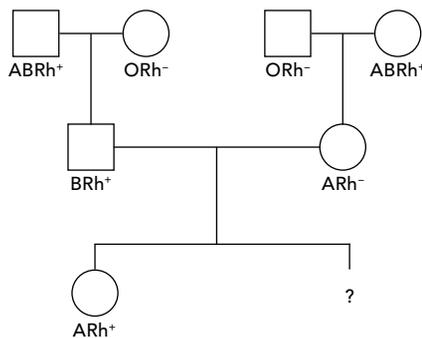
- a) 75,0%
- b) 50,0%
- c) 37,5%
- d) 25,0%
- e) 12,5%

3. Os grupos sanguíneos humanos ABO são determinados por três alelos de um gene que mostra vários tipos de interação para produzir os quatro fenótipos do sistema ABO. A série alélica inclui três alelos:  $I^A$ ,  $I^B$  e  $i$ . Sobre esse assunto, considere o heredograma a seguir e assinale a proposição correta.



- a) Os filhos são do grupo sanguíneo AB, A, B e O.
- b) O indivíduo II-2 é portador dos três diferentes alelos do mesmo gene.
- c) A probabilidade de o indivíduo II-4 ser doador universal é 100%.
- d) O filho mais novo não pode ter o mesmo grupo sanguíneo do pai.
- e) A probabilidade de o indivíduo II-2 ser do grupo sanguíneo A é  $\frac{1}{4}$ .

4. O heredograma a seguir revela um casal (II-1 x II-2) preocupado com a possibilidade de gerar descendentes com eritroblastose fetal, pois a mãe (II-2) não tomou as devidas precauções, como a prática de injetar soro contendo anticorpos anti-Rh.



Desconsiderando a influência do sistema ABO, qual a probabilidade da próxima criança apresentar risco de manifestar a eritroblastose fetal?

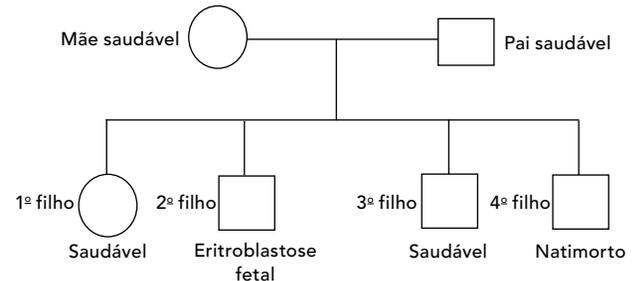
- a)  $\frac{1}{4}$
- b)  $\frac{1}{8}$
- c)  $\frac{1}{16}$
- d)  $\frac{1}{2}$
- e) Zero

5. Uma mulher recebeu, antes de se casar, uma transfusão sanguínea de seu pai, que é Rh positivo ( $R_{-}$ ). Quando se casou, teve o primeiro filho normal, mas o segundo filho teve a doença hemolítica do recém-nascido (DHRN), ou eritroblastose fetal.

Considerando essas afirmações, pode-se afirmar corretamente que

- a) o primeiro filho do casal é  $Rh^{+}$  e tem o mesmo genótipo do pai.
- b) o segundo filho do casal tem o mesmo fenótipo da mãe.
- c) a chance de uma terceira criança do casal vir a ter DHRN é de 100%.
- d) o marido e o pai da mulher têm o mesmo fenótipo e o mesmo genótipo.
- e) a mulher é  $Rh^{+}$  e poderá ter outro filho com DHRN se receber uma transfusão sanguínea de sangue  $Rh^{-}$ .

6. Considere que um único par de genes  $R$  e  $r$ , sendo  $R > r$ , condicione o caráter genético fator Rh e que uma família revele o seguinte histórico em relação ao caráter fator Rh.



A análise da árvore genealógica que revela os genótipos para a característica em questão está indicada na alternativa:

	Pai	Mãe	1º filho	2º filho	3º filho	4º filho
a)	Rr	rr	Rr	Rr	rr	Rr
b)	Rr	Rr	rr	Rr	Rr	rr
c)	Rr	RR	RR	RR	Rr	Rr
d)	Rr	Rr	rr	Rr	Rr	Rr
e)	Rr	rr	rr	Rr	Rr	Rr

7. Para determinada espécie de planta, a cor das pétalas e a textura das folhas são duas características monogênicas de grande interesse econômico, já que as plantas com pétalas vermelhas e folhas rugosas atingem alto valor comercial. Para evitar o surgimento de plantas com fenótipos indesejados nas plantações mantidas para fins comerciais, é importante que os padrões de herança dos fenótipos de interesse sejam conhecidos. A simples análise das frequências fenotípicas obtidas em cruzamentos controlados pode revelar tais padrões de herança. No caso em questão, do cruzamento de duas linhagens puras (homozigotas), uma composta por plantas de pétalas vermelhas e folhas lisas ( $P_1$ ) e outra, por plantas de pétalas brancas e folhas rugosas ( $P_2$ ), foram obtidas 900 plantas. Cruzando as plantas de  $F_1$ , foi obtida a geração  $F_2$ , cujas frequências fenotípicas são apresentadas no quadro adiante.

Cruzamento	Descendentes
$P_1 \times P_2$	900 plantas com pétalas vermelhas e folhas lisas ( $F_1$ )
$F_1 \times F_1$	900 plantas com pétalas vermelhas e folhas lisas; 300 plantas com pétalas vermelhas e folhas rugosas; 300 plantas com pétalas brancas e folhas lisas; e 100 plantas com pétalas brancas e folhas rugosas ( $F_2$ )

Com base nessas informações e em seus conhecimentos de Genética, assinale a alternativa correta.

- a) A cor vermelha da corola da flor é determinada por um alelo recessivo.
  - b) O fenótipo rugoso das folhas é determinado por alelo dominante.
  - c) A probabilidade de di-híbridos em  $F_2$  é de 25%.
  - d) As plantas com corola vermelha e folhas lisas de  $F_1$  produzem dois tipos diferentes de gametas.
  - e) As plantas com pétalas brancas e folhas rugosas apresentam genótipo **B\_R\_**.
8. Um biólogo apaixonado por Botânica efetuou o cruzamento entre duas variedades de uma angiosperma e obteve, em  $F_1$ , descendentes que produzem frutos carnosos com maior quantidade de polpa extraída do mesocarpo, maior vigor híbrido, longevidade, produtividade e alta resistência a pragas.
- Considerando-se que essas características genéticas foram determinadas pelo conjunto de genes **AaBBCcDdEE** e que todos apresentam segregação independente, o número de tipos diferentes de gametas que essa angiosperma pode produzir é
- a) 5.
  - b) 8.
  - c) 10.
  - d) 16.
  - e) 32.
9. Um estudante do curso de Ciências Biológicas, interessado em compreender melhor a Genética, resolveu estudar, em sua família, três características de herança autossômica monogênica, conforme discriminadas adiante e constituindo-se em casos de segregação independente.

Característica	Padrão de herança		Autossômica – O gene se expressa em homozigose e em heterozigose		Autossômica – o gene se manifesta somente em homozigose	
	Capaz de enrolar	Incapaz de enrolar	Presença	Ausência	Preso ou aderido	Solto ou livre
Capacidade de enrolar a língua em "U"						
Furo no queixo						
Posição do lobo da orelha						

Imagens: Shutterstock

O pai do estudante enrola a língua em "U", apresenta furo no queixo e lobo da orelha livre, sendo um tri-híbrido. Já sua mãe, é duplo-heterozigótica para as duas primeiras características genéticas e tem lobo da orelha preso ou aderido.

Qual a probabilidade de o referido casal vir a ter um próximo descendente trirrecessivo, independentemente do sexo?

- a)  $\frac{1}{8}$
- b)  $\frac{1}{16}$
- c)  $\frac{1}{32}$
- d)  $\frac{1}{64}$
- e)  $\frac{3}{8}$

### Atividades propostas

1. O teste de DNA é utilizado na identificação de pessoas, sendo de grande valia no reconhecimento de paternidade. Em um caso de investigação de paternidade, realizaram-se exames para identificação de grupos sanguíneos do sistema ABO (zero) e análise de DNA. A tabela a seguir revela os resultados parciais da análise de grupos sanguíneos (ABO) do menino, de sua mãe e do suposto pai e de duas sequências de DNA do menino e do suposto pai, correspondentes a um segmento localizado em um autossomo e outro no alossomo X.

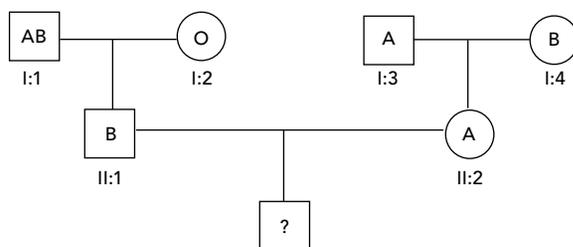
Exames	Resultados obtidos		
	Menino	Mãe	Suposto pai
Grupos sanguíneos (ABO) – Fenótipos	O	A	B
Sequência de DNA localizada em um cromossomo não sexual (autossomo)	A T A C C C C T G G A C C A T  T A T G G G G A C C T G G T A	—	A T A C C C C T G G A C C A T  T A T G G G G A C C T G G T A
Sequência de DNA localizada no alossomo X	C G C A T T C G G A A G C G T  G C G T A A G C C T T C G C A	—	A A A G C T A C G T T C C A T  T T T C G A T G C A A G G T A

Considerando a análise da tabela, conclui-se que

- os resultados do sistema ABO (zero) excluem a possibilidade de o homem ser o pai da criança, enquanto a análise do DNA é desnecessária.
  - os resultados dos grupos sanguíneos não excluem a possibilidade de o homem ser o pai da criança, enquanto a sequência de DNA do cromossomo sexual X exclui.
  - os resultados dos grupos sanguíneos e de DNA não excluem a possibilidade de o homem ser o pai da criança.
  - os três resultados foram necessários para confirmar que o homem é, realmente, o pai da criança.
  - os resultados de DNA contradizem os resultados dos grupos sanguíneos.
2. A análise de grupos sanguíneos é uma maneira simples de se esclarecer casos de paternidade duvidosa. Esse tipo de teste permite provar, em alguns casos, que determinada pessoa não pode ser o pai de uma criança, o que ocorre em apenas uma das situações a seguir. Baseado nas informações apresentadas, assinale a alternativa correta.
- Mulher do grupo A, homem do grupo A, criança do grupo O.
  - Mulher do grupo A, homem do grupo B, criança do grupo O.
  - Mulher do grupo B, homem do grupo AB, criança do grupo O.
  - Mulher do grupo AB, homem do grupo A, criança do grupo B.
  - Mulher do grupo O, homem do grupo A, criança do grupo A.
3. Os grupos sanguíneos foram descobertos há pouco mais de 100 anos e ficou evidente, pelos estudos realizados, que são determinados geneticamente como um caráter mendeliano. No sistema ABO, um indivíduo que pertença ao grupo AB apresenta dois alelos distintos, ou seja, os alelos **A** e **B**. O indivíduo O é recessivo e herda de cada um dos seus genitores um alelo. Os indivíduos A e B podem ser homocigotos ou heterocigotos.

CARVALHO, R. B. Sinal verde para as transfusões. *Memória Hoje*, FAPERJ, 2009.

O heredograma apresentado a seguir mostra o fenótipo de cada um dos componentes de uma família para o sistema ABO.



Com base nas informações contidas no texto, é possível afirmar que a probabilidade de o indivíduo III:1 apresentar tipo sanguíneo O será de

- 100%.
- 75%.
- 33%.
- 25%.
- 15%.

4. Na tabela a seguir, são mostrados os genótipos e fenótipos possíveis, considerando-se os alelos **I<sup>A</sup>**, **I<sup>B</sup>** e **i** determinantes dos grupos sanguíneos do sistema ABO no ser humano.

Genótipos	Fenótipos (grupos sanguíneos)
1  2	A
3  4	B
5	AB
6	O

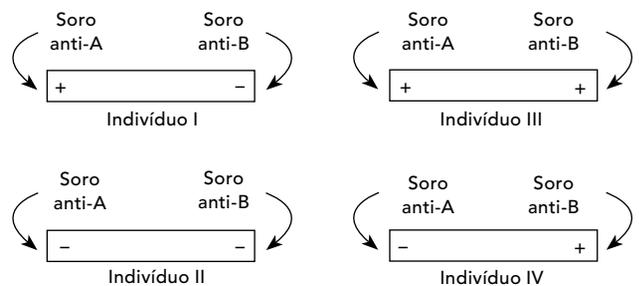
De acordo com a tabela, analise as proposições a seguir.

- Todos os descendentes de um casal de genótipo tipo 2 serão do grupo A e apresentarão em suas hemácias o aglutinogênio A.
- Indivíduos do grupo sanguíneo B de genótipo 3 ou 4 apresentam, na membrana de suas hemácias, aglutinogênio B e, no plasma, aglutinina anti-A.
- Os descendentes de um casal (genótipo 5) do grupo sanguíneo AB serão fenotipicamente AB e, como têm em seus genótipos os alelos **I<sup>A</sup>** e **I<sup>B</sup>**, apresentam, na membrana de suas hemácias, os antígenos A e B.
- Indivíduos do grupo sanguíneo O de genótipo 6 apresentam aglutinogênios A e B no plasma, mas não têm aglutininas anti-A e anti-B na membrana de suas hemácias.

Está(ão) correta(s) apenas

- II.
- I e IV.
- II e IV.
- II e III.
- Em um hospital, há um homem necessitando de uma transfusão de emergência. Sabe-se que ele pertence ao grupo sanguíneo A e que, no hospital, há quatro indivíduos que se ofereceram para doar sangue.

Foi realizada a determinação de grupos sanguíneos do sistema ABO dos quatro indivíduos, com a utilização de duas gotas de sangue de cada um deles, que, colocadas em uma lâmina, foram, em seguida, misturadas aos soros anti-A e anti-B. Os resultados são apresentados a seguir.



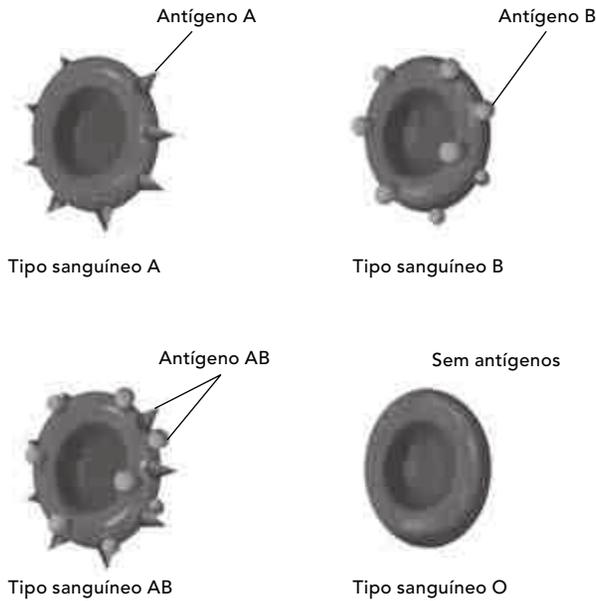
Observação:

O sinal + significa aglutinação de hemácias; O sinal - significa ausência de aglutinação.

Com base nos resultados observados, poderão doar sangue ao referido homem os indivíduos

- I e II.
- I e III.
- II e III.
- II e IV.
- III e IV.

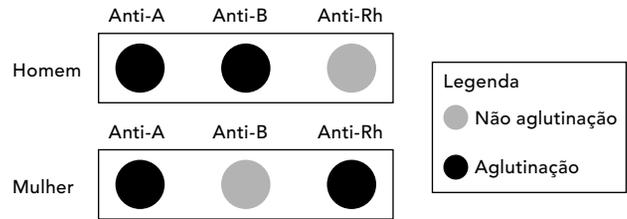
6. Um conhecido exemplo de alelos múltiplos são os alelos envolvidos na determinação dos grupos sanguíneos do sistema ABO. Os tipos sanguíneos relacionam-se a características do sangue que envolvem a presença ou ausência de dois tipos de substâncias: uma delas localiza-se nos glóbulos vermelhos e é chamada de **aglutinogênio** (antígeno), e a outra localiza-se no plasma sanguíneo e é chamada **aglutinina** (anticorpo). A presença ou ausência dos aglutinogênios nos glóbulos vermelhos é determinada pelos alelos  $I^A$ ,  $I^B$  ou  $i$ . Um indivíduo do grupo O não possui aglutinogênio; logo, apresenta aglutininas, enquanto o indivíduo do grupo AB possui os dois antígenos, mas é destituído de aglutinina. Os indivíduos dos grupos A e B possuem aglutinogênios e aglutininas diferentes. O esquema seguinte mostra a distribuição dos antígenos nos glóbulos vermelhos dos quatro tipos distintos do sistema sanguíneo ABO.



Considerando as informações contidas nos textos, a transfusão de sangue do tipo AB para uma pessoa do tipo B

- pode ser realizada sem problemas, porque os glóbulos vermelhos do doador não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-A, presentes no sangue do receptor.
- pode ser realizada sem problemas, porque os glóbulos vermelhos do doador não possuem antígenos que possam interagir com anticorpos anti-B, presentes no sangue do receptor.
- pode ser realizada sem problemas, porque, apesar de os glóbulos vermelhos do doador apresentarem antígenos A e B, o sangue do receptor não possui anticorpos contra eles.
- não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-B, presentes no sangue do receptor, podem reagir com antígenos B, presentes nos glóbulos vermelhos do doador.
- não deve ser realizada, pois os anticorpos anti-A, presentes no sangue do receptor, podem reagir com os antígenos A, presentes nos glóbulos vermelhos do doador.

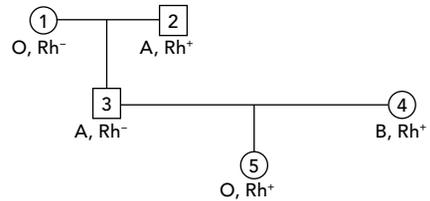
7. Na espécie humana, a tipagem sanguínea e o fator Rh são características hereditárias, sendo o sistema ABO um exemplo típico de polialelia. Seguindo o sistema ABO, o fator Rh e os estudos genéticos, analise a genealogia a seguir.



A ilustração representa o resultado da tipagem sanguínea de um casal. Sabendo que a mulher é filha de pai pertencente ao tipo O, Rh<sup>-</sup>, a probabilidade de esse casal ter uma criança pertencente ao tipo AB, Rh<sup>+</sup> é de

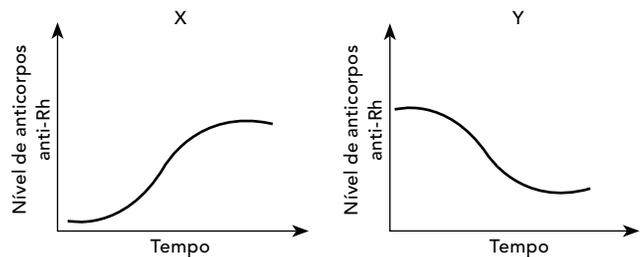
- $\frac{1}{4}$ .
- $\frac{1}{6}$ .
- $\frac{1}{8}$ .
- $\frac{1}{2}$ .
- 1.

8. O heredograma a seguir revela os tipos sanguíneos de cada indivíduo.



Assinale a alternativa correta.

- O casal 3 × 4 não poderá ter filhos com eritroblastose fetal.
  - O indivíduo 2 é certamente homocigoto para o grupo sanguíneo ABO.
  - A mulher 4 não pode ser filha de mãe Rh<sup>-</sup>.
  - O indivíduo 3 pode ter um irmão receptor universal.
  - O casal 3 × 4 tem 50% de probabilidade de ter outra criança pertencente ao grupo O.
9. Os dois gráficos a seguir representam as quantidades de anticorpos anti-Rh presentes no sangue de uma mulher (Rh<sup>-</sup>) em gestações distintas.



Pela observação dos gráficos e considerando que essa mulher teve um filho em cada gestação e nunca recebeu transfusão de sangue, é correto concluir que

- em X, a mãe transferiu anticorpos anti-Rh para o primeiro filho Rh<sup>-</sup>, o qual teve eritroblastose fetal.
- em X, a mãe foi sensibilizada com o sangue Rh<sup>+</sup> do segundo filho, o qual não teve eritroblastose fetal.
- em Y, a mãe transferiu anticorpos anti-Rh para o segundo filho Rh<sup>+</sup>, o qual teve eritroblastose fetal.
- em Y, a mãe foi sensibilizada com o fator Rh<sup>-</sup> do primeiro filho, o qual não teve eritroblastose fetal.
- em X, a mãe transferiu anticorpos anti-Rh para o primeiro filho, cujo genótipo é homocigoto recessivo.

**10. Australiana muda de grupo sanguíneo após transplante**

A australiana Demi-Lee Brennan, 15, mudou de grupo sanguíneo, O Rh<sup>-</sup>, e adotou o tipo sanguíneo de seu doador, O Rh<sup>+</sup>, após ter sido submetida a um transplante de fígado, informou a equipe médica do hospital infantil de Westmead, Sydney. A garota tinha nove anos quando fez o transplante. Nove meses depois, os médicos descobriram que havia mudado de grupo sanguíneo, depois que as células-tronco do novo fígado migraram para sua medula óssea. O fato contribuiu para que seu organismo não rejeitasse o órgão transplantado.

Folha Online, 24 jan. 2008.

Sobre esse fato, pode-se dizer que a garota

- a) não apresentava aglutinogênios anti-A e anti-B em suas hemácias, mas depois do transplante passou a apresentá-los.
- b) apresentava aglutininas do sistema ABO em seu plasma sanguíneo, mas depois do transplante deixou de apresentá-las.
- c) apresentava o fator Rh, mas não apresentava aglutininas anti-Rh em seu sangue, e depois do transplante passou a apresentá-las.
- d) quando adulta, se engravidar de um indivíduo de tipo sanguíneo Rh<sup>-</sup>, poderá gerar uma criança de tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>.
- e) quando adulta, se engravidar de um indivíduo de tipo sanguíneo Rh<sup>+</sup>, não corre o risco de gerar uma criança com eritroblastose fetal.

**11.** Uma bebê britânica sobreviveu após ter sido submetida a 11 transfusões de sangue ainda no útero da mãe e a outras duas após seu nascimento prematuro. Jasmine Tanner, que hoje tem 1 ano e três meses, foi afetada pela doença hemolítica perinatal (ou eritroblastose fetal), na qual anticorpos da mãe destroem as células sanguíneas do bebê, podendo levá-lo à anemia e até à morte por insuficiência cardíaca. A mãe de Jasmine, a enfermeira Melanie Tanner, obteve o diagnóstico de incompatibilidade sanguínea com o feto às nove semanas de gestação. Durante 16 semanas, ela teve de se submeter quinzenalmente a um procedimento para que fosse injetado sangue no cordão umbilical, o que trazia um risco de aborto espontâneo. Jasmine nasceu prematuramente e foi imediatamente transferida para uma incubadora e ainda submetida a outras duas transfusões. Hoje, segundo a família, o único sinal do sofrimento pelo qual Jasmine passou são algumas pequenas cicatrizes deixadas em sua barriga pelas injeções.

Disponível em: <<http://www.g1.globo.com>>. Acesso em: 25 jul. 2011. (adaptado)

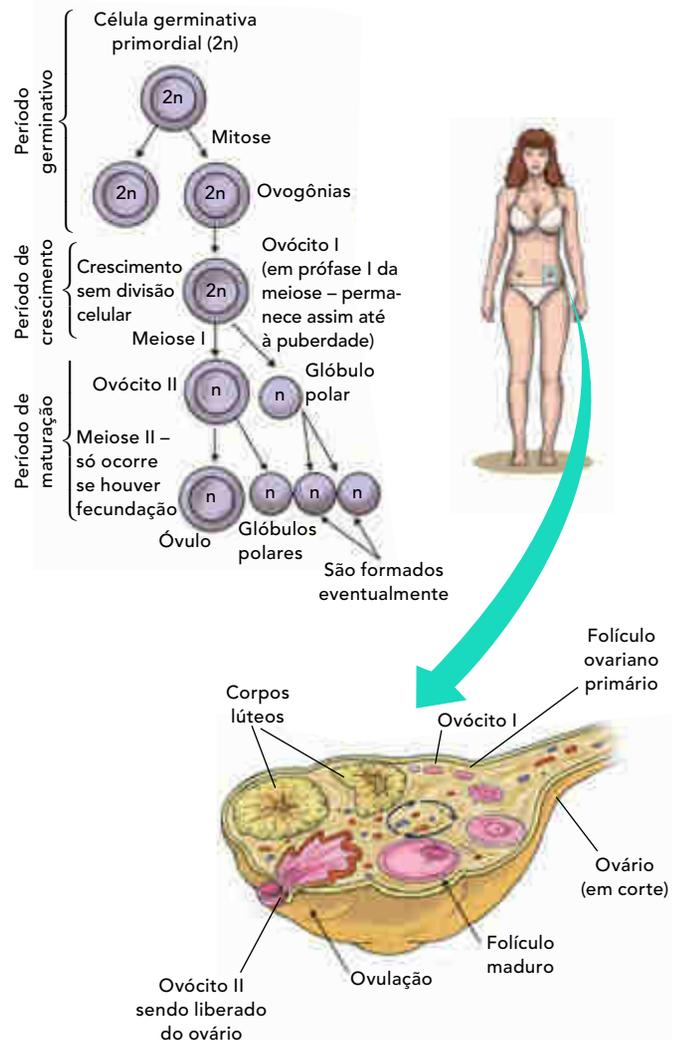
Em relação ao caso de Jasmine, pode-se inferir que

- a) as transfusões sanguíneas alteraram seu genótipo, o que resultou em uma mutação que permitiu sua sobrevivência.
- b) a incompatibilidade sanguínea se deve ao fato de os anticorpos presentes no sangue do bebê promoverem a ruptura dos glóbulos vermelhos maternos.
- c) a incompatibilidade reside no fato de determinados anticorpos presentes no sangue da mãe passarem pela placenta e promoverem lise nas células vermelhas do sangue do bebê.
- d) a incompatibilidade reside no fato de mãe e filha apresentarem o mesmo grupo sanguíneo, o que resulta em lise nos glóbulos sanguíneos do bebê.
- e) as transfusões alteram o fenótipo e o genótipo do bebê, resultando, portanto, em alteração benéfica, o que determinou sua sobrevivência.

**12.** Na eritroblastose fetal, ocorre a destruição de hemácias, o que pode levar recém-nascidos à morte. Por isso, a tipagem sanguínea, realizada no acompanhamento de saúde materno-infantil, feita na mãe e na criança, diminuiria os casos dessa incompatibilidade sanguínea relacionada à presença do fator Rh. Essa tipagem proporcionaria ao médico a informação necessária, logo após o parto, sobre

- a) a adoção da injeção de soro anti-Rh na mãe, nos casos que forem pertinentes, evitando distúrbios na saúde dos futuros filhos e óbitos desnecessários.
- b) o genótipo do pai, da mãe e da criança, a fim de aconselhar o casal sobre a possibilidade de gerar descendentes com distúrbios genéticos.
- c) o aumento da sensibilização da mãe, devido à presença de antígenos no sangue do filho que passam para o sangue da mãe, a qual deve receber a vacina.
- d) a aplicação do soro contendo anticorpos anti-Rh, a qual ocorre quando uma mulher Rh<sup>+</sup>, casada com um homem Rh<sup>-</sup>, tem filhos Rh<sup>+</sup>.
- e) futuros abortos, pois a eritroblastose fetal é um distúrbio genético destituído de cura e tratamento.

**13.** Nos animais, há dois tipos de gametogênese, a espermatogênese e a ovogênese ou ovulogênese. Este último tipo está representado adiante.

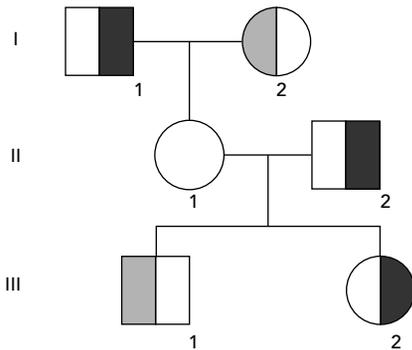


No ovário, cada ovócito está contido em um folículo. A cada ciclo menstrual, um desses folículos inicia a maturação, formando o ovócito II. O folículo, depois que eliminou o ovócito II, transforma-se no corpo lúteo (ou corpo amarelo), que secreta hormônios relacionados ao ciclo menstrual. Depois, o corpo lúteo regride. Todo esse processo é controlado por hormônios, como estrógeno, progesterona, entre outros.

Considerando o resultado da primeira divisão meiótica, de uma célula feminina, qual é o genótipo do embrião formado a partir da fecundação do ovócito II (**Ab**) por um espermatozoide de um genitor recessivo para os dois pares de genes recessivos considerados?

- a) **Aabb**                      c) **aaBb**                      e) **A\_B\_**  
 b) **AaBb**                      d) **A\_bb**

14. Miopia e fenilcetonúria decorrem da ação de genes recessivos autossômicos (a fenilcetonúria resulta da incapacidade de transformar fenilalanina em tirosina). Com base nos dados fornecidos no heredograma a seguir, determine a probabilidade de o casal II-1 × II-2 ter uma terceira criança do sexo masculino e normal para as duas características em questão.



= Fenilcetonúrico e normal para a visão  
 = Normal para fenilcetonúria e míope  
 = Normal para as duas características

- a)  $\frac{3}{8}$                       c)  $\frac{3}{16}$                       e)  $\frac{1}{2}$   
 b)  $\frac{1}{16}$                       d)  $\frac{3}{24}$

15. Mendel analisou cruzamentos entre ervilheiras levando em conta dois tipos de características simultaneamente (di-hibridismo) e concluiu que o aparecimento dos recombinantes provava que a transferência dos caracteres é independente. A tabela a seguir mostra as características relacionadas com três pares de genes alelos autossômicos que se segregam independentemente de acordo com a Segunda Lei de Mendel.

Característica	Alelo dominante	Alelo recessivo
Habilidade manual	<b>C</b> (destro)	<b>c</b> (canhoto)
Visão	<b>M</b> (normal)	<b>m</b> (míope)
Sensibilidade à PTC (feniltiocarbamida)	<b>I</b> (sensível)	<b>i</b> (insensível)

Considerando o cruzamento ( $\sigma$ ) **CcMmIi** × ( $\varphi$ ) **ccMMii** e desconsiderando a possibilidade de ocorrência de mutações, pode-se afirmar que o casal em questão

- a) não tem probabilidade de ter filhos míopes.  
 b) não tem probabilidade de ter filhos com habilidade com a mão esquerda.

- c) não tem probabilidade de ter filhos insensíveis à PTC.  
 d) tem 25% de probabilidade de ter filhos destros, míopes e insensíveis à PTC.  
 e) tem 50% de probabilidade de ter um filho destro, de visão normal e sensível à PTC.

16. Um fazendeiro ganhou de um amigo dois pés de ervilha. Os dois pés davam ervilhas amarelas e lisas. Ao cruzar esses dois pés de ervilha, ele obteve variedades diferentes, diferenciando-se na cor (verde ou amarela) e textura (lisa ou rugosa). Ao colocar suas novas ervilhas para vender, ele notou que suas ervilhas verdes e enrugadas vendiam mais que as ervilhas amarelas ou lisas. Infelizmente, essas ervilhas verdes e enrugadas foram produzidas em menor quantidade em relação às ervilhas amarelas ou lisas. Após uma rápida observação, ele resolveu separar os preços das ervilhas de acordo com a sua quantidade no estoque. A ervilha verde e enrugada passou a custar 15 vezes mais do que as outras variedades de ervilha. Em compensação, o fazendeiro colocou a variedade mais comum em promoção. Qual é a variedade de ervilha mais comum considerando sua cor (verde ou amarela) e textura (lisa ou enrugada) e qual é a sua proporção em relação à variedade mais rara?

- a) Verde e lisa, 3:1.  
 b) Amarela e enrugada, 3:1.  
 c) Verde e lisa, 9:1.  
 d) Amarela e lisa, 9:1.  
 e) Amarela e enrugada, 9:1.

17. Na ervilha *Pisum sativum*, a característica genética "tamanho alto" é determinada por gene que se manifesta em homozigose e em heterozigose, assim como pela posição axial (ao longo do caule) da flor. Os fenótipos "variedade anã" e "flores terminais" (na ponta do caule) são expressos por genótipos homozigotos recessivos. Uma variedade de ervilhas com caráter alto puro e flores terminais é cruzada com uma variedade anã e flores axiais puras, e os di-híbridos são autofecundados. Qual é a probabilidade de descendentes com caráter alto e flores axiais?

- a)  $\frac{1}{16}$                       d)  $\frac{6}{16}$   
 b)  $\frac{2}{16}$                       e)  $\frac{9}{16}$   
 c)  $\frac{3}{16}$

18. Em cães, latir ou não latir durante a corrida são características definidas por um par de genes alélicos. O mesmo ocorre para os caracteres "orelhas eretas" ou "orelhas caídas". Latir enquanto corre e possuir orelhas eretas são características dominantes, enquanto não latir durante a corrida e possuir orelhas caídas são características recessivas. Considere o cruzamento entre um casal de cães heterozigotos para ambos os pares de alelos. Nesse caso, a probabilidade de que nasçam filhotes que latem enquanto correm e que possuem orelhas caídas é, aproximadamente, de

- a)  $\frac{9}{16}$                       d)  $\frac{1}{8}$   
 b)  $\frac{3}{16}$                       e)  $\frac{3}{8}$   
 c)  $\frac{1}{16}$

## Noções básicas de *linkage*; A genética do sexo e determinação genética do sexo na espécie humana; Pleiotropia e interação gênica

### Linkage ou ligação fatorial ou genes em ligação ou sintonia

O modelo proposto por Watson e Crick para a estrutura do DNA explica a regularidade de sua composição química, as propriedades biológicas no que se refere à sua replicação nas mitoses das células da linhagem somática e seu papel na continuidade da vida. Na década de 1950, determinou-se a proporção das bases nitrogenadas que compõem as moléculas de DNA de várias espécies e evidenciou-se que ocorre emparelhamento entre as bases nitrogenadas e que estas formam pares de mesmo tipo em todas as espécies, evidenciando a universalidade da estrutura do DNA.

O DNA é depositário dos genes, cuja definição vai além da ideia de uma sequência linear de DNA para a síntese proteica, pois, por meio dos genes, há controle dos processos de diferenciação celular, morfogênese e, indiretamente, do metabolismo celular por meio do controle da síntese de enzimas. O conjunto de todo material genético de uma espécie, com exceção de certos vírus, são as moléculas de DNA. Na espécie humana, o tamanho estimado do genoma, medido pelo número de pares de bases (pb) é de 3 400 000 000, com um número descrito de 459 114 proteínas, o que sugere que, em uma espécie cujo valor diploide é 46, o número de genes é superior ao número de cromossomos, de modo que cada cromossomo possui em torno de 30 mil genes que codificam proteínas. Entretanto, há, entre os genes dos eucariontes, como o *Homo sapiens*, sequências de nucleotídeos repetidos e trechos formados por sequências de bases nitrogenadas que não codificam proteínas. Assim, genes que controlam diversos fenótipos se situam no mesmo par de cromossomos homólogos.

O *linkage* foi inicialmente descrito pelos geneticistas britânicos William Bateson, Edith Rebecca Saunders e Reginald Punnett com o objetivo de se obter resultados semelhantes aos atingidos por Gregor Mendel e com o intuito de provar que as leis mendelianas poderiam ser aplicadas a outros seres vivos, além da ervilha da espécie *Pisum sativum*; entretanto, ao se realizar cruzamentos entre di-híbridos, a prole resultante não apresentava a proporção fenotípica de 9 : 3 : 3 : 1, havendo uma proporção maior de indivíduos com fenótipos parentais. Com base nisso, Thomas H. Morgan, utilizando como modelo experimental a mosca da espécie *Drosophila melanogaster*, comprovou a ocorrência da ligação gênica (*linkage*), o que possibilitou avanços na engenharia genética, a compreensão da permuta de segmentos de cromátides não irmãs de cromossomos homólogos, a construção de mapas gênicos, além de servir como base genética para o Projeto Genoma Humano.

### Definição de *linkage*

Na herança di-híbrida, um cruzamento-teste produz quatro classes fenotípicas na prole em uma proporção de 1 : 1 : 1 : 1. Entretanto, é possível observar desvios dessa proporção

fenotípica nos casos em que pares de genes revelam *locus* no mesmo cromossomo, já que o número de genes por espécie excede, consideravelmente, o número de pares de cromossomos.

Dessa forma, pode-se compreender que *linkage* ou **ligação gênica** é o fenômeno biológico em que dois ou mais pares de alelos se localizam no mesmo par de homólogos. Assim, todos os genes transportados em um dado par de autossomos constituem um **grupo de ligação**, e deve-se esperar que sejam herdados em bloco, desde que não ocorra *crossing-over*. Portanto, entre os pares de alelos, há uma ligação ou um *linkage*.

Com base no conhecimento das técnicas de *linkage*, iniciou-se a compreensão para o detalhamento dos mapas cromossômicos, auxiliando no entendimento adequado dos fatores mais fortemente relacionadas à mortalidade infantil, na compreensão das trocas ocasionais de partes dos cromossomos no processo de *crossing-over* produzindo cromossomos gaméticos com combinações alélicas diferentes das combinações parentais, proporcionando maior variabilidade genética, e na identificação dos quiasmas como manifestações visíveis dos *crossings*, o que permite recombinação entre os genes.

### Método de Morgan e a ocorrência do *linkage*

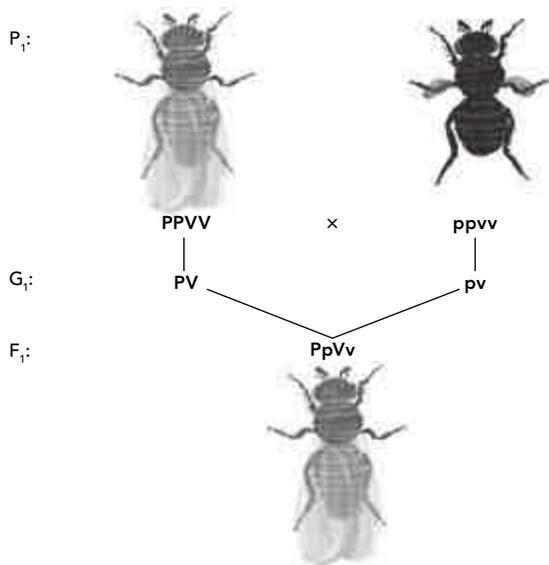
Thomas Hunt Morgan (1866-1945) encontrou um desvio nas proporções fenotípicas da Lei da Segregação Independente quando estudava dois genes autossômicos em *Drosophila melanogaster*. As moscas do gênero *Drosophila* são pouco exigentes ao estudo científico: seu ciclo de vida é curto, pois completa o ciclo vital, de ovo a ovo, em um período de 10 a 14 dias.

Cada fêmea põe cerca de 300 ovos, existindo cerca de 5000 genes ligados em um indivíduo  $2n = 8$ , fato importante para demonstrar que os genes estão contidos nos cromossomos.

Para entender melhor o trabalho de Morgan, usa-se seu experimento que trata do cruzamento entre uma linhagem de moscas com olhos vermelhos (tipo selvagem) e uma linhagem mutante de olhos brancos (cada genitor e cada prole contém cerca de 20000 genes). Há centenas de mutantes conhecidos. Algumas mutações, por exemplo, são conhecidas como **letais dominantes sensíveis ao calor**; os heterozigotos são tipo selvagem a 20 °C, mas atingem o óbito se a temperatura for elevada para 30 °C.

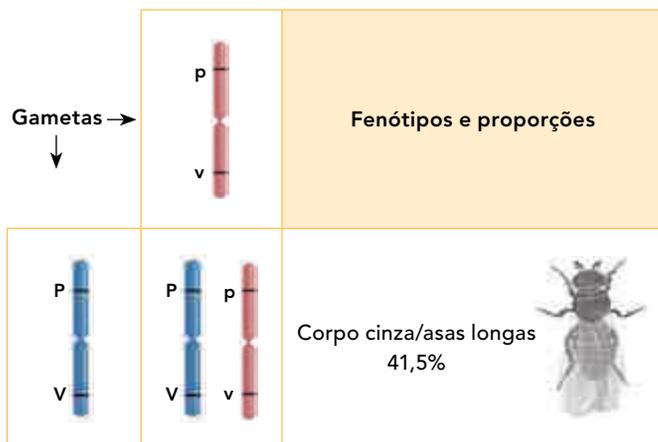
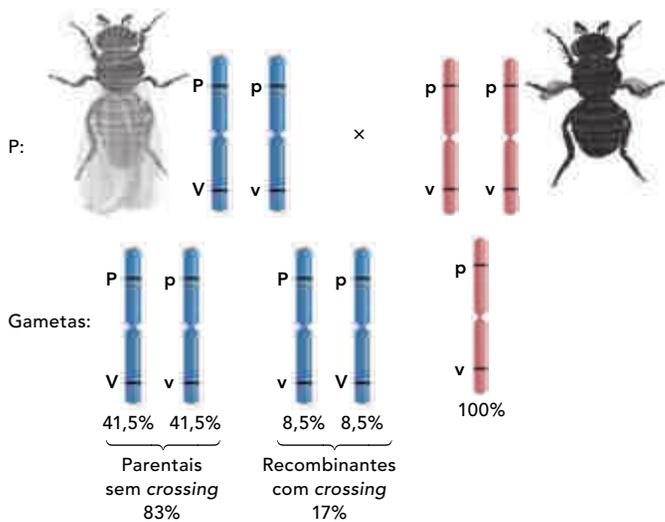
As drosófilas apresentam diferenças marcantes em relação aos tipos originais, denominados selvagens (cinza).

Para demonstrar o fenômeno do *linkage*, Morgan cruzou drosófilas selvagens de corpo cinza e asas longas (**PPVV**) com mutantes de corpo preto e asas curtas, também denominadas vestigiais (**ppvv**). Todos os descendentes de  $F_1$  apresentaram corpo cinza e asas longas, além de serem di-híbridos (**PpVv**).



Em seguida, Morgan promoveu o cruzamento-teste dos descendentes  $F_1$ , ou seja, os descendentes de  $F_1$  foram cruzados com duplo-recessivos, supondo duas situações distintas:

1ª) Quando fêmeas de corpo cinza e asas normais duplo-heterozigotas ( $PpVv$ ) de  $F_1$  são submetidas ao cruzamento-teste, sendo, portanto, cruzadas com machos de corpo preto e asas vestigiais ( $ppvv$ ).



Gametas →		Fenótipos e proporções
		Corpo preto/asas vestigiais 41,5%
		Corpo cinza/asas vestigiais 8,5%
		Corpo preto/asas longas 8,5%

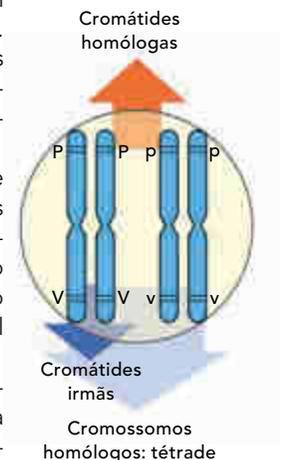
Perceba que o resultado obtido não apresenta a proporção fenotípica como seria esperado pela Lei da Segregação Independente. A prole é constituída de descendentes com as seguintes porcentagens:

- 41,5% cinza com asas normais ( $PpVv$ );
- 41,5% pretos com asas vestigiais ( $ppvv$ );
- 8,5% cinza com asas vestigiais ( $Ppvv$ );
- 8,5% pretos com asas normais ( $ppVv$ ).

O *linkage* foi parcial ou incompleto, ou seja, nas células que realizam meiose durante a gametogênese, ocorreu o *crossing-over*, e, nesse caso, os tipos recombinantes, diferentes dos parentais, aparecem com frequência menor (8,5%), o que se explica pelo fato de que somente duas das quatro cromátides da tétrade participam da permutação ou *crossing-over*. Assim, durante a meiose das fêmeas de *Drosophila*, podem ocorrer permutações entre cromátides homólogas do cromossomo II.

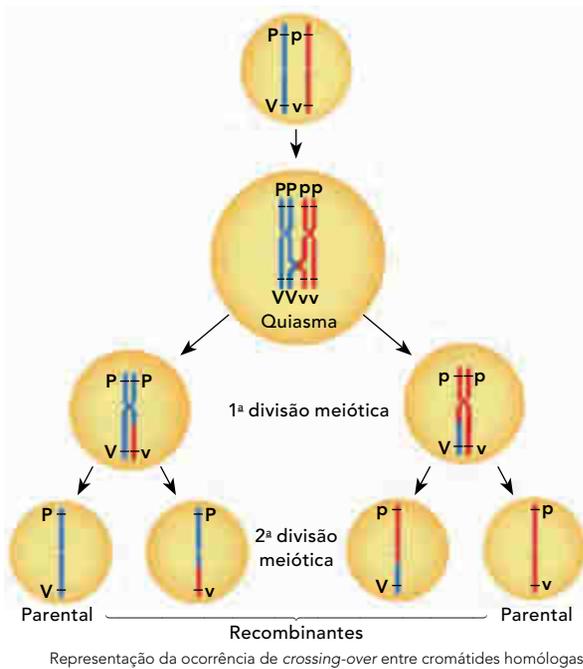
Aprófase I meiótica caracteriza-se pelo pareamento de cromossomos homólogos. Durante esse pareamento, os dois cromossomos vão se justapondo estreitamente um ao outro em toda a sua extensão – tal processo é denominado *sinapse*.

Os cromossomos homólogos, então, formam uma estrutura composta por dois cromossomos emparelhados, sendo cada cromossomo constituído por duas cromátides, a *tétrade*.

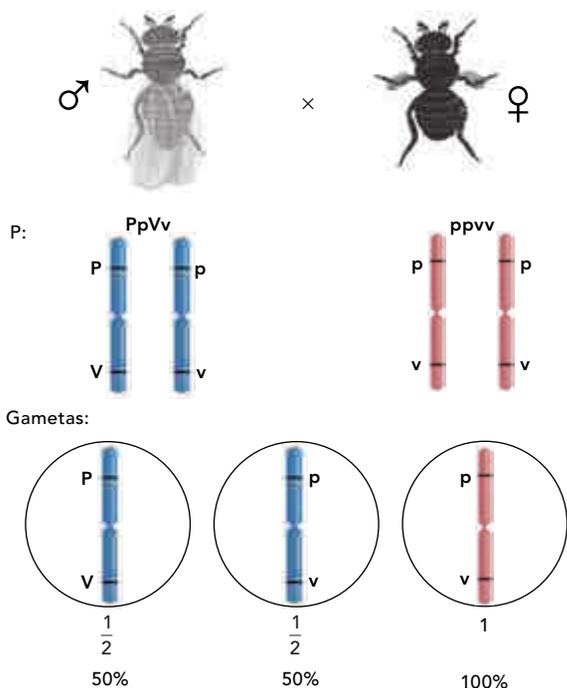


Durante a formação da tetrade, seções das cromátides dos diferentes pares, muitas vezes, sobrepõem-se ou se emaranham, formando os **quiasmas**. A formação dos quiasmas pode ser seguida pela ruptura dos cromossomos, com subsequente intercâmbio dos segmentos resultantes, entre cromátides maternas e paternas. Esse processo é denominado *crossing-over* ou intercâmbio de frações cromossômicas.

A permutação (*crossing-over*) ocorre na fase de paquíteno ou no final da fase de zigoteno da meiose I e tem grande importância biológica, pois promove maior variedade de gametas, aumentando a variabilidade genética nas células da linhagem germinativa resultantes da meiose.



2ª) Quando machos de corpo cinza e asas normais duplo-heterozigotos (**PpVv**) de F<sub>1</sub> são cruzados com drosófilas fêmeas pretas com asas vestigiais birrecessivas (**ppvv**), a ocorrência dos dois fenótipos ocorre na proporção 1:1.

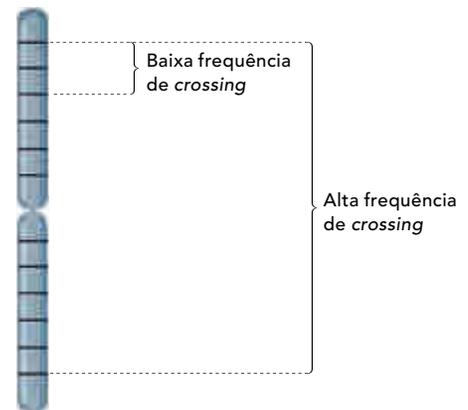


Gametas →		Fenótipos e proporções
P	V	Corpo cinza/asas longas 50%
p	v	
P	v	Corpo preto/asas vestigiais 50%
p	V	

O *linkage* foi total ou completo, ou seja, nas células que realizam meiose durante a formação dos gametas, não houve *crossing-over*, ao contrário de quando houve formação de apenas dois tipos de descendentes com os mesmos fenótipos dos progenitores. Conclui-se, portanto, que, nos machos de *Drosophila*, não há permutação.

### Taxa de *crossing*

Quanto maior a distância entre os genes com *locus* no mesmo cromossomo, maior a possibilidade de ocorrência de *crossing-over*. Assim, quanto maior for a taxa de tipos de recombinantes produzidos, maior será a taxa de ocorrência de permutação.



A localização dos genes nos cromossomos, de acordo com os experimentos de Alfred Sturtevant (1891-1970), influencia na frequência de *crossing-over*.

Por convenção, considera-se que 1% de recombinação corresponde a uma distância entre os genes de 1 **morganídeo** ou **centimorgan**, também chamado **unidade de recombinação (UR)** ou **unidade de mapa (UM)**. A condição de localizar os genes nos cromossomos e conhecer a distância entre os genes é possível por meio do mapeamento do cromossomo. O mapeamento genético consiste em posicionar, de forma linear e ordenada, os genes no cromossomo mediante suas respectivas distâncias.

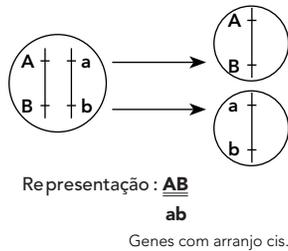


## Disposição dos genes nos cromossomos – Cis e trans

Admita um indivíduo duplo-heterozigoto **AaBb**, no qual os dois pares de genes, **Aa** e **Bb**, apresentam *loci* no mesmo par de cromossomos homólogos. Há duas possibilidades nas quais os genes podem estar dispostos nos cromossomos.

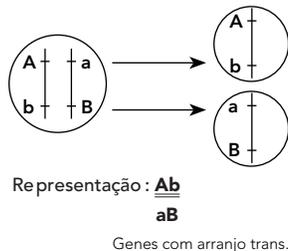
### Disposição cis

Se os genes dominantes **A** e **B** estiverem ligados em um mesmo cromossomo e os genes alelos recessivos **a** e **b** estiverem ligados no cromossomo homólogo, configura-se a posição cis. Nesse caso, havendo *crossing-over*, a maior frequência de gametas (parentais) será encontrada nos tipos **AB** e **ab**. Os tipos **Ab** e **aB** denominam-se recombinantes.



### Disposição trans

Se um dos genes dominantes (**A**) estiver ligado a um cromossomo com o gene recessivo do outro par de alelos (**b**) e os seus alelos (**a** e **B**) estiverem ligados no par de cromossomos homólogos, configura-se a posição trans. Nesse caso, a ocorrência de *crossing-over* fará a maior frequência de gametas (parentais) ser encontrada nos tipos **Ab** e **aB**. Os tipos recombinantes **AB** e **ab** serão menos frequentes.



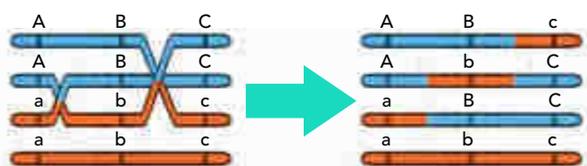
Tome nota

#### Frequência de recombinação

A frequência ou taxa de recombinação entre dois genes é definida como a soma das frequências em que ocorrem as classes recombinantes.

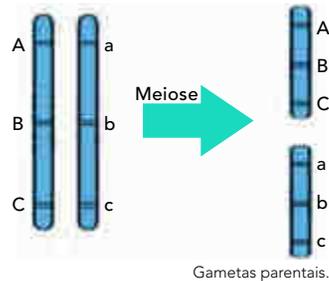
## Tri-hbridismo ou triplo heterozigoto em linkage

Um indivíduo triplo-heterozigoto, no qual os três pares de genes estejam em *linkage*, poderá formar até oito tipos diferentes de gametas, dependendo da ocorrência ou não de *crossing-over*; caso ocorra, depende, ainda, do número de permutações, pois duas, três ou quatro cromátides podem participar dos eventos do *crossing* em uma única meiose. Assim, em um *crossing-over* duplo com três genes ligados, como **ABC** x **abc**, poderia ser encontrada a tetrade **ABc**, **AbC**, **aBC** e **abc**.



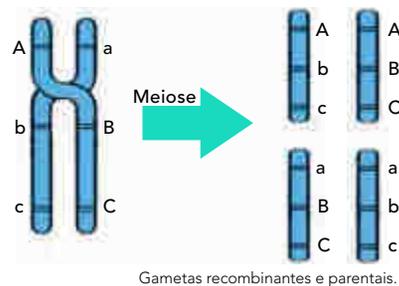
Possíveis tétrades de *crossing-over* duplo em que há permuta em mais de duas cromátides.

Como a maioria das células meióticas da linhagem germinativa não sofre *crossing-over*, os gametas de um indivíduo tri-híbrido **ABC//abc** serão:



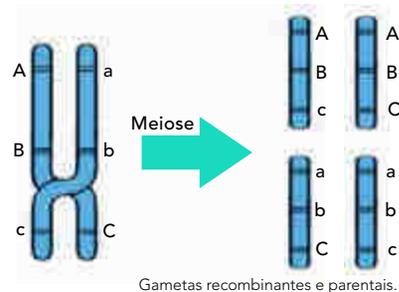
Nesse caso, formam-se apenas os gametas parentais, ou seja, formam-se apenas dois tipos de gametas.

A ocorrência de um *crossing-over* simples entre os *loci* **A** e **B** resulta na formação das seguintes células meióticas:



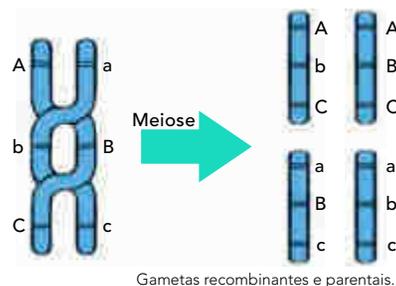
Portanto, formam-se quatro tipos de gametas.

A ocorrência de um *crossing-over* simples entre os *loci* **B** e **C** resulta na formação das seguintes células meióticas:



Portanto formam-se quatro tipos de gametas.

A ocorrência de um *crossing-over* duplo, ou seja, com permutações simultâneas entre os *loci* **A** e **B**, e **B** e **C**, resulta na formação das seguintes células meióticas:



A ocorrência dessas três situações possíveis de *crossing-over* poderá resultar na formação de oito tipos diferentes de gametas, dois tipos de gametas parentais e seis tipos de gametas recombinantes: **ABC**, **abc**, **ABc**, **aBC**, **AbC**, **abC** e **aBc**.

## A genética do sexo e determinação genética do sexo na espécie humana

A reprodução assegura a continuidade da vida, sendo considerada um dos atributos primordiais dos seres vivos. Os organismos com reprodução sexuada disponibilizam grande parte do tempo e da energia acumulada no ATP (trifosfato de adenossina) para o comportamento sexual. Esse comportamento, porém, expõe os organismos à predação, podendo ocasionar danos físicos e diminuição do tempo dedicado à alimentação, nidificação e proteção da prole. Apesar dessas desvantagens, a reprodução sexuada oferece uma grande contribuição para a evolução das espécies, já que ela possibilita a geração de seres diferenciados geneticamente, ou seja, proporciona a variabilidade genética.

A diversidade genética é um fator primordial para a seleção natural e, além disso, é uma característica da maior parte das populações naturais.

### Diferenciação sexual

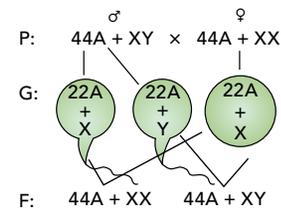
O sexo é uma conformação particular de um ser vivo que lhe permite uma função ou papel específico no ato da geração de novos seres, ou ainda, um caráter de masculinidade ou feminilidade. Quanto ao tipo, pode ser:

- **Sexo genético** – Os genes nos alossomos X e Y determinam a feminilidade ou a masculinidade. As mulheres normais são homogaméticas (XX), e os homens normais são heterogaméticos (XY).
- **Sexo gonádico** – As células embrionárias XX produzem substâncias químicas (indutores) que agem na região cortical das gônadas indiferenciadas, desenvolvendo o tecido ovariano; já em embriões XY, os indutores estimulam a produção de testículos a partir da medula das gônadas indiferenciadas.
- **Sexo genital** – A morfologia da genitália é determinada pelos hormônios produzidos nas gônadas embrionárias. Entre os esteroides masculinos (andrógenos), o dominante é a testosterona, e, nas mulheres, os esteroides são o estrógeno e a progesterona.
- **Sexo somático** – Refere-se aos caracteres sexuais secundários que aparecem na puberdade.
- **Sexo psíquico** – Consiste na percepção que o indivíduo tem de si, ou seja, apresenta-se e identifica-se como homem ou mulher, determinando sua identidade de gênero.
- **Sexo social** – O sexo social refere-se aos papéis que cada sexo desempenha na sociedade para que possa ser reconhecido como homem ou como mulher.

### Determinação genética do sexo na espécie humana

No momento da fertilização, é liberado um novo potencial evolutivo. Quando um espermatozoide fertiliza um ovócito II, genes de ambos os progenitores são combinados na reprodução sexuada, e nasce um novo indivíduo, único, com base em um zigoto que se divide mitoticamente por progressão geométrica, formando um indivíduo multicelular complexo e bem elaborado.

Na espécie humana, os indivíduos com 44 autossomos e dois alossomos X são do sexo feminino, e os indivíduos com 44 autossomos e dois alossomos X e Y são do sexo masculino. Assim, um progenitor masculino transmite aos filhos o cromossomo Y, com seus genes. A mãe transmite, indiferentemente, um cromossomo X aos filhos ou às filhas, como mostra o diagrama a seguir.



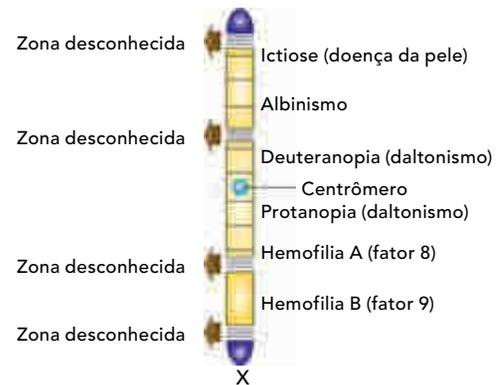
Desse modo, o sexo da futura criança depende do tipo de espermatozoide que fecunda o ovócito II: se for o espermatozoide com o alossomo X, nascerá uma menina (XX); se for o espermatozoide com o alossomo Y, nascerá um menino (XY). A probabilidade, para cada caso, é de  $\frac{1}{2}$ , ou seja, 50%.

### Cromossomos sexuais X e Y – Alossomos

Os cromossomos X e Y são homólogos e fazem pareamento durante a meiose, porém apresentam formas diferentes, e o pareamento desses alossomos é parcial.

#### Cromossomo X

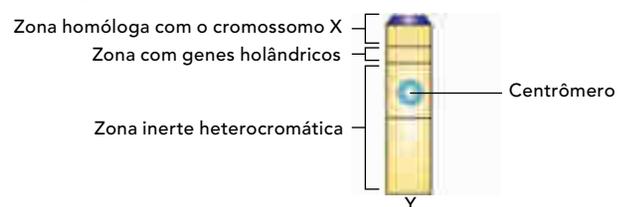
O cromossomo X humano é de comprimento médio, submetacêntrico e de comprimento intermediário entre os cromossomos 7 e 8. Em lâminas de metáfase mitótica, o cromossomo X mede, aproximadamente, de 5,0 a 5,5 µm, dependendo da preparação.



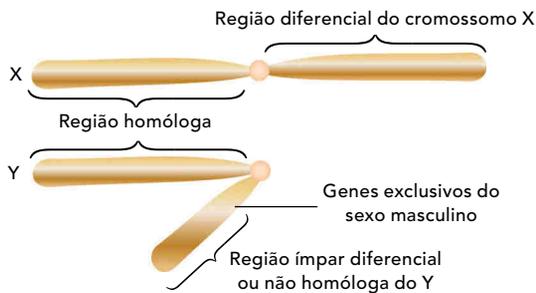
#### Cromossomo Y

O cromossomo Y, na maioria dos homens, tem, em média, 2 µm de comprimento e é levemente mais longo que os membros do grupo G de cromossomos (os mais curtos).

Portanto, é mais curto e possui menos genes que o cromossomo X, além de conter uma porção encurvada, em que existem genes exclusivos do sexo masculino.



Fotomicrografia de cromossomos humanos.



Observe, nesse esquema, a região não homóloga entre os dois cromossomos sexuais humanos.

## Tipos de heranças relacionadas aos cromossomos sexuais

### Herança ligada ao sexo

A herança ligada ao sexo é determinada por genes situados na região não homóloga (ímpar) do cromossomo X. Os genes com *loci* em regiões diferenciais denominam-se **hemizigotos**. As mulheres normais são denominadas **homogaméticas**, e os homens normais, **heterogaméticos**.

Tais características são ligadas ao sexo porque não se distribuem igualmente entre homens e mulheres, e não há transmissão direta de homem para homem. Dessa forma, a característica é recessiva, uma vez que há mais homens afetados do que mulheres. Os genes são, então, transmitidos por um homem afetado para suas filhas, as quais podem ser portadoras, e com os homens afetados geralmente tendo filhos normais.

### Herança recessiva ligada ao sexo

Os exemplos de herança recessiva ligada ao cromossomo X incluem a hemofilia, o daltonismo, a distrofia muscular progressiva, a distrofia muscular de Duchenne, a displasia ectodérmica anidrótica e a síndrome da feminização testicular.

A seguir, algumas delas serão descritas para uma melhor compreensão de suas particularidades.

#### ➤ Hemofilia

A hemofilia é uma doença caracterizada pela deficiência da coagulação do sangue. Existem dois tipos de hemofilia: hemofilia A, causada pela falta de globulina anti-hemofílica, ou fator VIII da coagulação do sangue, ocorrendo em 80% dos casos; e a hemofilia B, ou doença de Christmas, causada pela falta de componente tromboplastínico do plasma, ou fator IX da coagulação.

A hemofilia é determinada por um gene recessivo ligado ao sexo (só no cromossomo X). Acredita-se que a raridade de mulheres hemofílicas seja devida à baixa frequência do gene na população; assim, calcula-se que o gene para hemofilia tenha a frequência de 1:10000. Dessa maneira, um em cada 10000 homens seria afetado, já que, para isso, basta um só gene. A probabilidade de uma mulher ser hemofílica é de 1:10000 multiplicado por 1:10000, ou seja, 1:100000000, pois são necessários dois genes simultaneamente para que a mulher manifeste a doença.

O sintoma crucial da hemofilia consiste no aparecimento de hemorragias causadas por traumatismos, cuja intensidade, geralmente, não possui relação com a grave perda de sangue. Normalmente, a doença costuma manifestar-se desde a infância, mas, raramente, antes dos 6 meses de idade. A hemofilia torna-se evidente em muitas crianças quando elas começam a caminhar e a sofrer com as quedas, ou quando aparecem os primeiros dentes.

As equimoses, que geralmente são extensas, costumam aparecer após pequenos golpes ou atritos traumáticos.

Em relação às hemorragias, estas não são muito frequentes na pele e mucosas, diferentemente das que ocorrem no interior das massas musculares dos tecidos moles, mais recorrentes e graves. No segundo tipo, o sangue se espalha com facilidade pelos tecidos musculares, podendo concentrar-se em grande quantidade em alguns hematomas, o que gera risco de anemia aguda.

O tratamento dessas lesões varia de acordo com a gravidade, local e grau da hemorragia.

Veja a seguir a tabela que relaciona fenótipos e genótipos de pessoas que possuem hemofilia e de outras sem essa alteração.

Fenótipos	Genótipos
Homem normal	$X^HY$
Homem hemofílico	$X^hY$
Mulher normal	$X^HX^H$
Mulher portadora	$X^HX^h$
Mulher hemofílica	$X^hX^h$

#### ➤ Daltonismo

O daltonismo consiste na incapacidade de distinção de cores, principalmente do verde e do vermelho, enxergando-se, em vez delas, as cores cinza, amarelo ou azul. O nome **daltonismo** vem de John Dalton (1766-1844), químico inglês que possuía essa anomalia, que se acredita ser o resultado do mau funcionamento dos cones (células fotossensoras) existentes na retina.

O daltonismo é mais frequente nos homens (5%), uma vez que necessitam de apenas um gene para serem daltônicos. Nas mulheres, a frequência é menor (0,25%), pois é necessária a presença de dois genes do daltonismo para que a anomalia se manifeste.

A visão das cores depende de três tipos de pigmentos localizados na retina (fundo do olho). A presença desses pigmentos é controlada por três genes. Um deles, possivelmente autossômico, é responsável pela percepção da cor azul; os outros dois são ligados ao sexo, sendo um responsável pela percepção da cor vermelha e outro, da cor verde.

Certas pessoas apresentam cegueira para o verde ou para o vermelho, em virtude da presença de alelos defeituosos, que não formam os pigmentos necessários para a percepção dessas cores. Para simplificar, costuma-se considerar, na prática, apenas um gene defeituoso **d**, ligado ao sexo e responsável pela cegueira para o verde ou para o vermelho; seu alelo **D** é responsável por visão normal (dominante).

Assim, tem-se:

Fenótipos	Genótipos
Homem normal	$X^DY$
Homem daltônico	$X^dY$
Mulher normal	$X^DX^D$
Mulher portadora	$X^DX^d$
Mulher daltônica	$X^dX^d$

Podem-se distinguir três tipos principais de daltonismo:

- **Acromatas** – Indivíduos que são incapazes de identificar todas as cores, exceto preto, branco e tons de cinza.
- **Dicromatas** – Indivíduos que são incapazes de identificar o vermelho (protanopia) ou o verde (deuteranopia).
- **Tricromatas** – Indivíduos que não conseguem distinguir entre tons de verde e de vermelho e, em alguns casos, de vermelho e de azul.

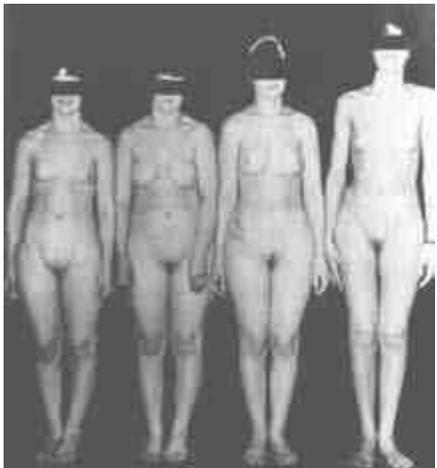
➤ **Distrofia muscular de Duchenne**

A distrofia muscular de Duchenne é uma doença recessiva ligada ao cromossomo X, que leva ao enfraquecimento e à consequente atrofia dos músculos. Geralmente, seus sintomas começam a ser percebidos antes dos 6 anos de idade; aos 12, o indivíduo perde os movimentos e, aos 20, vai a óbito.

➤ **Síndrome da feminização testicular**

As pessoas afetadas pela síndrome da feminização testicular são cromossomicamente homens, no entanto possuem 44 autossomos mais um X e um Y, desenvolvendo-se como mulheres. Esses indivíduos têm genitália externa feminina, uma vagina em fundo de saco e não possuem útero. Os testículos podem estar presentes nos grandes lábios ou no abdômen. São estéreis.

A condição não é revertida por tratamento com hormônio masculino andrógeno e, por isso, é também chamada de síndrome de insensibilidade androgênica. O motivo dessa insensibilidade é o mau funcionamento de receptores de andrógeno, de modo que o hormônio masculino não tem efeito sobre os órgãos-alvo que contribuem para a masculinidade. Em humanos, a feminização se dá quando o sistema de determinação não é funcional.



Reprodução

Quatro irmãos com síndrome de feminização testicular (insensibilidade congênita a andrógenos). Todos os quatro pacientes nessa foto têm 44 autossomos mais um cromossomo X e um Y, porém herdaram um alelo recessivo ligado ao X que confere insensibilidade a andrógenos (hormônios masculinos). Uma de suas irmãs (não mostrada), que era geneticamente XX, era portadora e teve uma criança que também apresentava a síndrome de feminização testicular (Leonard Pinsky, McGill University).

**Herança dominante ligada ao sexo**

Os exemplos dominantes de herança ligada ao sexo incluem a *Incontinentia pigmenti*, o raquitismo resistente à vitamina D, ou hipofosfatemia, e a síndrome orofaciodigital.

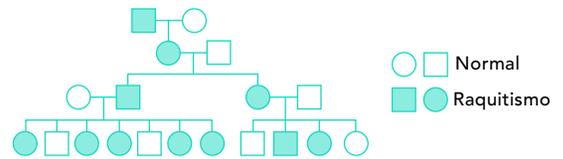
➤ **Incontinentia pigmenti**

Os pacientes portadores de *Incontinentia pigmenti* revelam lesões de pele vesiculares eritematosas, além de anomalias dentárias. É uma doença cutânea, ligada ao alossomo X. Os distúrbios na pele podem ser localizados ou podem se espalhar por tórax e membros.

➤ **Raquitismo resistente à vitamina D ou hipofosfatemia**

A hipofosfatemia trata-se de um problema relacionado à absorção intestinal do cálcio, ou à reabsorção do fósforo, resultando em retardo no crescimento e raquitismo grave.

A genealogia a seguir revela uma família que apresenta vários casos de raquitismo resistente à vitamina D, ou raquitismo hipofosfatêmico.



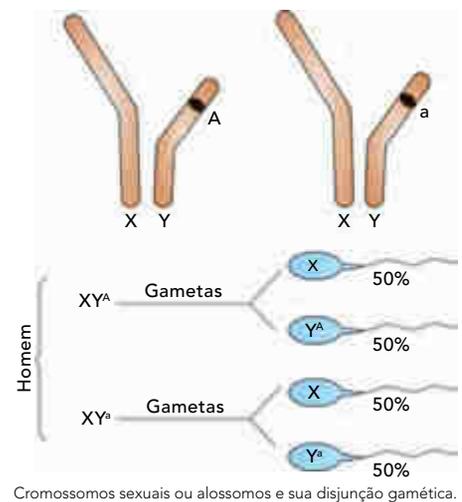
➤ **Síndrome orofaciodigital**

A síndrome orofaciodigital consiste em uma série de mal-formações na boca e na língua, encurtamento assimétrico dos dedos, sindactilia parcial, polidactilia unilateral, podendo ocorrer, ainda, retardo mental moderado.

**Herança restrita ao sexo ou holândrica**

**Genes holândricos**, normalmente, são os que ocorrem apenas no cromossomo Y, localizados na região diferencial desse cromossomo, que não tem homologia com o cromossomo X, e, portanto, não são expressos nas fêmeas.

Os exemplos de heranças restritas ao sexo incluem a zigodactilia, ou seja, dedos dos pés ligados, e o gene SRY, responsável pela síntese de uma substância que atua na diferenciação dos testículos.

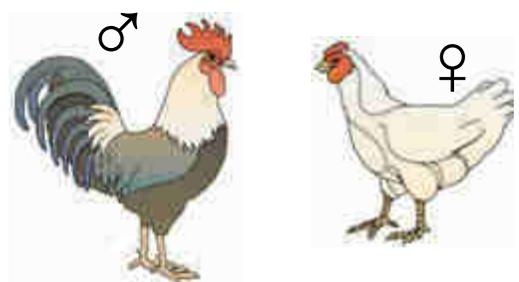


Cromossomos sexuais ou alossomos e sua disjunção gamética.

**Herança com efeito limitado ao sexo**

Os casos de herança com efeito limitado ao sexo envolvem genes que ocorrem nos dois sexos, mas só se manifestam em um deles. O efeito desses genes está, portanto, limitado ao sexo do indivíduo, em razão, principalmente, da ação de hormônios sexuais.

Um exemplo é a manifestação dos caracteres sexuais secundários no homem e na mulher. Outro exemplo é a produção de leite em gado leiteiro. No touro, existem genes destinados à produção de leite que são transmitidos aos seus descendentes, mas esses genes se manifestam apenas nas fêmeas. Em galináceos, há um tipo de plumagem no pescoço que só ocorre nos galos. O gene que determina essa característica ocorre em ambos os sexos, mas só se manifesta nos machos.



## Herança influenciada pelo sexo

A herança influenciada pelo sexo caracteriza-se pela variação de dominância e recessividade de genes em função do sexo do indivíduo: um gene tem efeito dominante em um sexo e efeito recessivo em outro.

Um exemplo desse tipo de herança é a calvície na espécie humana. Essa característica é determinada por um gene **C**, localizado em um cromossomo que é autossômico e dominante nos homens e recessivo nas mulheres. Assim, um mesmo genótipo manifesta-se diferentemente em cada sexo, como se observa na tabela a seguir.

Genótipos	Fenótipos	
	Mulher	Homem
CC	Calva	Calvo
Cc	Não calva	Calvo
cc	Não calva	Não calvo

Denominada de alopecia androgenética, a calvície masculina inicia-se entre 17 e 25 anos de idade, com perda gradual de cabelos. Além do fator hereditário, essa perda depende de estímulos hormonais. Os hormônios andrógenos, como a testosterona, estimulam as glândulas sebáceas a produzir excesso de lipídios, que atuam nos folículos pilosos (raiz do pelo), promovendo queda de cabelo. No caso da calvície, a matriz germinativa dos folículos pilosos deixa de funcionar e vai atrofiando, não permitindo o crescimento de novos fios.

Os poucos cabelos encontrados em alguns calvos são, na verdade, lanugens. Elas são consequências da atrofia dos folículos, que retomam sua característica de infância.

Os cabelos do couro cabeludo são renovados em intervalos que variam de 2 a 6 anos. Os fios caem e são substituídos permanentemente em um processo de mudança imperceptível. O crescimento normal de um fio de cabelo é de cerca de 2,5 cm a cada 6 semanas. Após esse estágio, os folículos pilosos entram em um período de repouso, que dura poucas semanas, causando parada temporária do crescimento do cabelo. Em seguida, o processo recomeça.

O fator preponderante para a queda de cabelos é a hereditariedade, entretanto os distúrbios hormonais, as perturbações traumáticas, a dermatite seborreica e a carência de vitaminas e de aminoácidos, resultantes de dietas não balanceadas, constituem outras causas, assim como doenças infecciosas acompanhadas de febre, como a febre tifoide. Determinados medicamentos e o estresse emocional também devem ser levados em consideração quando há queda de cabelo acentuada.

## Herança parcialmente ligada ao sexo

Os cromossomos X e Y apresentam um segmento homólogo dos dois cromossomos sexuais. Nessa região, pseudoautossômica, são compartilhados vários genes alelos entre os dois cromossomos. O mecanismo de herança é o mesmo aplicado aos genes que se localizam em autossomos.

O exemplo a seguir revela anomalia parcialmente ligada ao sexo na espécie humana.

➤ **Retinite pigmentar** – Anomalia condicionada por gene dominante que promove degeneração da retina, levando à cegueira. Os genótipos e os fenótipos para essa anomalia estão indicados na tabela a seguir.

♂		♀	
Genótipos	Fenótipos	Genótipos	Fenótipos
X <sup>R</sup> Y <sup>R</sup>	Retinite pigmentar	X <sup>R</sup> X <sup>R</sup>	Retinite pigmentar
X <sup>R</sup> Y <sup>r</sup> ou X <sup>r</sup> Y <sup>R</sup>	Retinite pigmentar	X <sup>R</sup> X <sup>r</sup>	Retinite pigmentar
X <sup>r</sup> Y <sup>r</sup>	Normal	X <sup>r</sup> X <sup>r</sup>	Normal

## Pleiotropia e interação gênica



Varição quantitativa na cor da corola das flores compostas de *Gaillardia pulchella*.

As vias metabólicas nos organismos vivos são interligadas e, frequentemente, interdependentes. Os produtos de uma cadeia de reações podem seguir vários caminhos metabólicos diferentes no organismo vivo, produzindo diversas expressões fenotípicas ao mesmo tempo, sob as mesmas condições ambientais. Quando um único alelo condiciona mais de um efeito fenotípico distinguível, diz-se que o alelo é **pleiotrópico**.

É provável que a maioria dos genes tenha um efeito pleiotrópico. Não obstante, normalmente, percebem-se apenas seus efeitos fenotípicos reais marcantes.

A análise das proporções entre as classes fenotípicas da descendência de um cruzamento pode informar o número de genes envolvidos no controle de uma determinada característica.

Quando se analisam simultaneamente duas características, cada uma condicionada por um par de alelos com dominância completa e segregação independente, a descendência do cruzamento de duplo-heterozigotos apresenta a proporção fenotípica 9:3:3:1; no entanto, nos casos de interação gênica, verifica-se que, no cruzamento entre di-híbridos para dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos, as **proporções genotípicas** são as mesmas que as obtidas para caracteres que obedecem à Segunda Lei de Mendel, uma vez que os cromossomos se segregam independentemente. As modificações ocorrem nas **proporções fenotípicas**, de modo que não há dois caracteres, mas um só caráter com diferentes fenótipos, os quais surgem de acordo com o tipo de interação entre os genes.

## Pleiotropia

A pleiotropia (do grego *pleios*, "mais"; *tropé*, "volta", "mudança de direção"; mais o sufixo *-ia*, "qualidade de") é o fenômeno no qual um gene condiciona ou influencia mais de uma característica no indivíduo. Cada gene tem um efeito primário, e, com base nisso, podem surgir consequências diferentes. Em termos moleculares, o gene contém informações para a síntese de uma enzima, entretanto a presença ou a ausência dessa enzima produz vários efeitos fenotípicos.

Na **osteogênese imperfeita**, cuja herança é autossômica dominante, o efeito primário é uma deficiência básica do tecido conjuntivo, e os efeitos secundários incluem ossos frágeis, esclerótica azul e otosclerose. No caso específico da **síndrome de Marfan**, o efeito primário no gene é um defeito nas fibras elásticas do tecido conjuntivo, e os secundários incluem anomalias esqueléticas, com extremidades alongadas, deslocamento do cristalino e anomalias cardiovasculares.

A **fenilcetonúria** é um exemplo de efeito pleiotrópico, cuja causa é um gene autossômico recessivo que sintetiza uma enzima defeituosa, incapaz de transformar a fenilalanina em tirosina, ou seja, o efeito primário é justamente a deficiência na enzima fenilalanina hidroxilase, e os efeitos secundários incluem retardo mental, excreção de fenilcetonas na urina, pigmentação clara da pele, dos cabelos e dos olhos, odor de mofo e diminuição nos níveis de adrenalina e serotonina.

Na **anemia falciforme**, ocorre uma única alteração no gene da globina: o componente proteico da hemoglobina. Nesse caso, um dos aminoácidos da cadeia  $\beta$ -globina encontra-se modificado na posição 6: onde normalmente existiria um ácido glutâmico, encontra-se uma valina. Essa alteração é consequência de uma mutação gênica, e essa modificação pontual conduz à alteração da mensagem genética, ou seja, o novo códon formado introduz um aminoácido diferente na cadeia proteica, o que provoca a formação da hemoglobina S. Como consequência, as hemácias passam a apresentar a forma de foice, ocasionando um transporte deficiente de oxigênio. Além disso, devido à forma angulada, as hemácias podem bloquear vasos sanguíneos finos, provocar crises de insuficiência cardíaca ou renal etc. Cerca de 80% dos indivíduos portadores da anomalia morrem antes de atingir a idade adulta.



Hemácias anormais.

## Interação gênica

Interação gênica é o caso em que um só caráter é determinado pela interação de dois ou mais pares de genes. Nos casos de interação gênica, verifica-se que, no cruzamento entre heterozigotos para dois pares de alelos localizados em cromossomos não homólogos, as proporções genotípicas são as mesmas que as obtidas para caracteres que obedecem à Segunda Lei de Mendel, pois os cromossomos segregam-se independentemente. As modificações ocorrem nas proporções fenotípicas, pois não há dois caracteres, mas um só caráter com diferentes fenótipos, que surge de acordo com o tipo de interação entre os genes.

## Herança quantitativa

A herança quantitativa é uma forma peculiar de interação gênica, também conhecida como polimeria de genes cumulativos ou aditivos, herança poligênica ou poligenia, herança somativa ou, ainda, herança multifatorial.

Os genes de dois ou mais pares modificam a expressão do fenótipo quantitativamente, verificando-se uma gradação de fenótipos em uma escala na qual, às vezes, torna-se difícil distinguir um fenótipo do outro de imediato.

Na herança quantitativa, os genes de dois ou mais pares contribuem no mesmo sentido para a mesma manifestação, devendo cada gene dominante que participa do genótipo oferecer a sua contribuição para aumentar a expressividade do caráter.

Esse fenômeno justifica as numerosas e discretas variações individuais de certos caracteres, como a estatura e a cor da pele na espécie humana. Também se enquadram caracteres como a variação na capacidade de produção do leite pelas vacas, o comprimento do pelo em carneiros, o ritmo de produção de ovos em galinhas, a cor dos grãos no trigo etc.

## Cor da pele em humanos

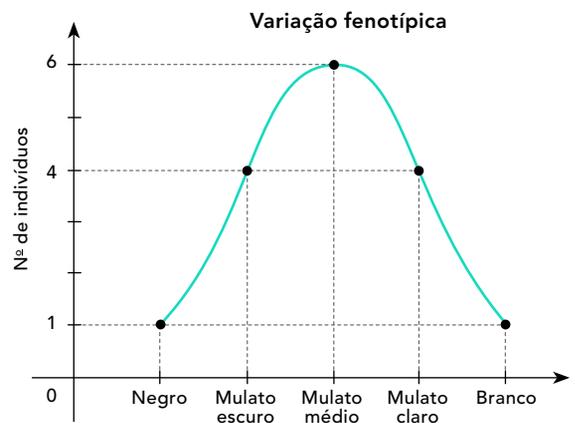
Segundo Charles Davenport, a cor da pele em humanos depende de quantidades relativas de melanina, resultando da ação de dois pares de genes, sem dominância, nos quais os alelos **A** e **B** condicionam grande produção de melanina e os alelos **a** e **b** levam à produção de menor quantidade de melanina.

Pela hipótese de Davenport, a cor negra da pele depende de 4 genes produtores de pigmentos do genótipo; 3 genes produtores de pigmentos condicionam a cor típica do mulato escuro; 2 genes produtores de pigmentos (quaisquer que sejam) determinam mulato médio; 1 gene produtor de pigmentos resulta em mulato claro; a forma duplo-recessiva origina a pele branca. Note que esse quadro de interação gênica só diz respeito à cor da pele e não possui relação com o cortejo de outros caracteres que identificam o **gene pool** da etnia negra ou da etnia branca.

Esses resultados descritos podem ser resumidos, como mostrado na tabela a seguir.

Genótipos	Número de genes efetivos	Fenótipos	Proporções fenotípicas
aabb	0	Branco	1 : 16
Aabb, aaBb	1	Mulato claro	4 : 16
AAbb, aaBB, AaBb	2	Mulato médio	6 : 16
AABb, AaBB	3	Mulato escuro	4 : 16
AABB	4	Negro	1 : 16

Se for construído um gráfico com base nesses resultados, obtém-se uma curva de distribuição normal, como a da representação a seguir.



## Cor dos olhos em humanos

Admite-se que a cor dos olhos em humanos é determinada por, pelo menos, quatro pares de poligenes (quatro pares de alelos), que apresentam segregação independente e herança

quantitativa (efeito aditivo). Portanto, existem oito fenótipos diferentes. As cores dos olhos vão do azul-claro até o castanho-escuro, e cada cor será determinada pela presença quantitativa de quatro diferentes genes. Assim, existirão indivíduos com genótipo **aabbccdd**, que condiciona cor azul-claro; **aabbccDd** (azul-médio); **aabbCcDd** (azul-escuro); até indivíduos com genótipo totalmente constituído por alelos dominantes **AABBCCDD**, que condicionam olhos castanho-escuros. Na tabela apresentada a seguir, encontram-se os fenótipos e os genótipos para a cor dos olhos em humanos, seguindo o padrão de herança quantitativa.

A cor da íris do olho humano é expressa por quatro pares de alelos, determinando diferentes tonalidades. Desse modo, há oito classes fenotípicas.

Número de alelos aditivos para a cor dos olhos	Cor dos olhos
1	Azul-claro
2	Azul médio
3	Azul-escuro
4	Azul acinzentado (ou cinza)
5	Avelã (ou mel)
6	Castanho-claro
7	Castanho médio
8	Castanho-escuro (ou preto)

### Heterocromia

A existência de pessoas com olhos de cores diferentes ou ainda íris com parte de uma cor e o restante da outra cor denomina-se **heterocromia** (também conhecida por **heterocromia da íris** ou **íris heterocrômica**). As causas são diversas, mas se sabe que esse padrão se deve a um desenvolvimento atípico dos melanócitos na camada anterior da íris. Diferentes fatores determinam alterações da pigmentação dessa estrutura, o que resulta em íris de cores diferentes. Lesão tecidual, uso de medicamento e fatores genéticos acabam interferindo na deposição de melanina, resultando, desse modo, em olhos de cores distintas ou mesmo em íris com despigmentação.



Observe a distinção de cores entre os olhos deste indivíduo, caracterizando um exemplo de heterocromia.

### Número de genes e número de fenótipos na herança quantitativa

Na herança quantitativa, o número de fenótipos é calculado da seguinte forma: **nº de genes + 1**. Assim, por exemplo, na flor da maravilha, no qual dois genes (um par) estão presentes, 3 fenótipos aparecem (vermelho, rosa e branco). No caso da cor da pele, admite-se a atuação de 4 genes: 5 fenótipos se manifestam (negro, mulato escuro, mulato médio, mulato claro, branco). Fica claro que, em um caso em que participem 6 genes, 7 fenótipos se apresentarão, e assim por diante.

Agora, para saber o número total de fenótipos existentes em um caso de herança quantitativa, calcula-se o número de genes envolvidos, que é o **nº de fenótipos - 1**.

### Altura na espécie humana

Admitindo que a característica da altura na espécie humana seja expressa por três pares de alelos (embora já tenham sido identificados 12 *loci* para essa característica), pessoas com 6 alelos recessivos crescerão até cerca de 1,60 m, e pessoas com todos os alelos dominantes crescerão até 1,90 m.

A tabela a seguir revela a proporção fenotípica obtida realizando-se o cruzamento entre dois tri-híbridos.

Genótipos	Número de genes efetivos	Altura (m)	Proporção fenotípica
<b>AABBCC</b>	6	1,90	1:64
<b>AaBBCC, AABbCC, AABBCc</b>	5	1,85	6:64
<b>aaBBCC, AABbCC, AABBCc, AaBbCC, AaBBCc, AABbCc</b>	4	1,80	15:64
<b>aaBbCC, aaBBCc, AabbCC, AaBBcc, AaBbCc, AAbbCc, AABbcc</b>	3	1,75	20:64
<b>aabbCC, aaBBcc, AAbbcc, AaBbcc, AabbCc, aaBbCc</b>	2	1,70	15:64
<b>aabbCc, aaBbcc, Aabbcc</b>	1	1,65	6:64
<b>aabbcc</b>	0	1,60	1:64

A proporção fenotípica na herança quantitativa pode ser obtida por meio da construção do triângulo de Pascal.

1						
1	1					
1	2	1				
1	3	3	1			
1	4	6	4	1		
1	5	10	10	5	1	
1	6	15	20	15	6	1

A sétima linha indica a proporção fenotípica para três pares de alelos na herança quantitativa ao se efetuar o cruzamento entre tri-híbridos.

### Determinação do número de pares de poligenes com os padrões de herança quantitativa

Para determinar o número de poligenes envolvidos (pares de alelos) na expressão de uma característica de acordo com os padrões de herança quantitativa, utiliza-se a expressão: **nº de classes fenotípicas = 2n + 1**. Por exemplo, se o peso médio dos frutos apresenta sete classes fenotípicas, utiliza-se a expressão: **nº de classes fenotípicas = 2n + 1**; tem-se **2n + 1 = 7**; logo, **n = 3** ou **2n = 6**. Portanto, estão envolvidos três genes ou três pares de alelos localizados em cromossomos distintos.

### Interação gênica não epistática

Na interação gênica não epistática, não há supressão gênica interalélica (um alelo de um gene não inibe a ação de outro alelo de outro gene); o que existe é a mistura dos produtos de cada via metabólica, originando diferentes fenótipos, ou a ação conjunta de vários pares de alelos em uma só via metabólica determinando um produto final.

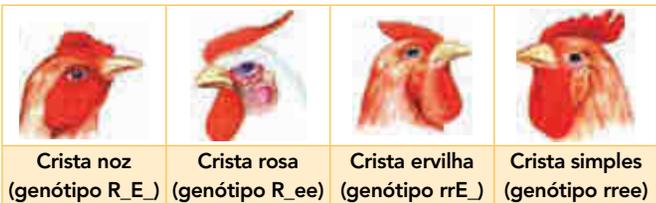
## Interação gênica na forma dos diferentes tipos de crista de galinhas

A forma da crista em certas raças de galináceos revela a existência de quatro tipos de crista: **rosa**, **ervilha**, **noz** e **simples**.

O tipo de crista em galinhas é condicionado pelos dois pares de alelos **R/r** e **E/e**, que se segregam independentemente, mas interagem entre si na produção da forma da crista.

A interação entre os alelos dominantes **R** e **E** resulta em crista noz; entre o alelo dominante **R** e o recessivo **e** resulta em crista rosa; entre o alelo recessivo **r** e o dominante **E** resulta em crista ervilha; e entre os alelos recessivos **r** e **e** resulta em crista simples. Pode-se, então, representar os fenótipos e os genótipos da seguinte forma:

Genótipos e fenótipos para a característica genética do tipo de crista em galinhas	
Genótipos	Fenótipos
rrE_	Ervilha ( <i>Brahma</i> )
R_ee	Rosa ( <i>Wyandotte</i> )
R_E_	Noz (resultante do cruzamento entre <i>Brahma</i> e <i>Wyandotte</i> )
rree	Simples ( <i>Leghorn</i> )



Quando linhagens puras de aves com crista noz **RREE** são cruzadas com linhagens puras de aves com crista simples **rree**, é obtida uma geração  $F_1$  constituída apenas por aves de crista noz **RrEe**.

O cruzamento entre um macho e uma fêmea, ambos com crista noz, duplo-heterozigotos, origina uma  $F_2$  com a seguinte proporção fenotípica: 9 **R\_E\_** (noz) : 3 **R\_ee** (rosa) : 3 **rrE\_** (ervilha) : 1 **rree** (simples).

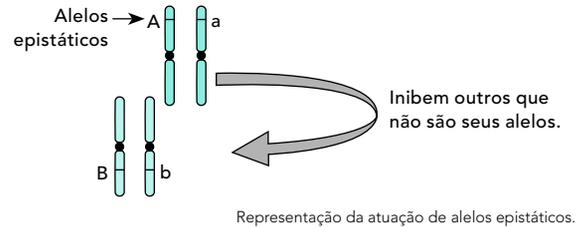
## Cor dos frutos de *Capsicum annuum* (pimentão)

A cor dos frutos de *Capsicum annuum* é expressa pela interação de dois alelos (**C** e **R**) dominantes, produtores de enzimas funcionais que interferem na síntese de pigmentos. As plantas com genótipo **ccrr** produzem frutos verdes; as que possuem genótipo **C\_rr** produzem frutos amarelos; plantas com genótipo **ccR\_** formam frutos marrons, e as de genótipo **C\_R\_** revelam frutos vermelhos. A cor dos frutos de *Capsicum annuum* está vinculada à formação dos carotenoides **capsantina** e **capsorubina**.



## Epistasia – Interação gênica epistática

A epistasia é um tipo de interação gênica em que genes de um certo *locus* inibem o efeito dos genes de outro *locus*. O gene **A** é dominante sobre seu alelo **a**. Ao mesmo tempo, é epistático sobre o par **Bb**, inibindo seu efeito. O alelo que exerce a ação inibitória denomina-se **epistático**, e o que sofre a inibição denomina-se **hipostático**.



## Epistasia dominante

Na epistasia dominante, um alelo epistático atua em dose simples, como ocorre com a cor da pelagem em cães. A cor do pelo depende da ação de dois pares de genes: o gene **B**, que determina a cor preta, e o seu alelo **b**, que determina a cor marrom. O gene epistático **I** inibe a manifestação da cor, e o seu alelo recessivo **i** permite a manifestação da cor.

Quando linhagens puras de cães brancos e marrons são cruzadas, tem-se:

$$\begin{array}{l}
 P_1: \text{IIBB} \times \text{iibb} \\
 G_1: \text{IB} \quad \text{ib} \\
 F_1: \text{IiBb} \text{ (100\% pelagem branca)}
 \end{array}$$

O cruzamento de cães brancos di-híbridos revela as seguintes proporções fenotípicas:

$$\begin{array}{l}
 P_2: \text{IiBb} \times \text{IiBb} \\
 F_2: \text{I\_B\_}, \text{I\_bb}, \text{i iB\_}, \text{i i bb} \\
 \text{12 brancos} : \text{3 pretos} : \text{1 marrom}
 \end{array}$$

Perceba que o resultado obtido do cruzamento de dois di-híbridos, 12 : 3 : 1, é uma modificação da proporção clássica 9 : 3 : 3 : 1.

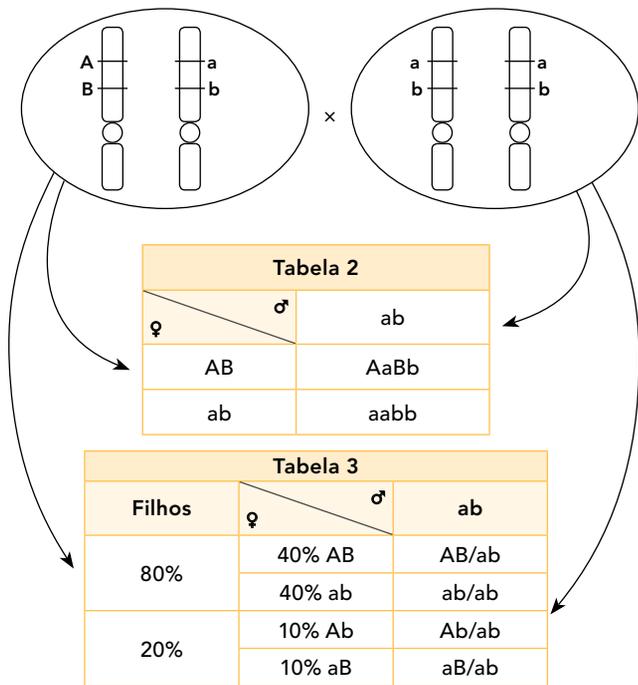
## Epistasia recessiva

Na epistasia recessiva, o *locus* contendo um par do alelo **a** (**aa**) inibe a manifestação fenotípica de outro alelo **P** (**PP** ou **Pp**).

### Cor da pelagem em camundongos

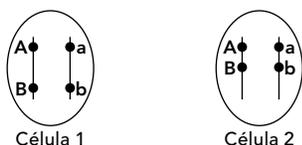
Na cor da pelagem em camundongos, o aguti (tipo selvagem) caracteriza-se por possuir pelos com faixas de cores, sendo a parte próxima à epiderme de cor cinza, seguida de uma faixa amarela, e a porção terminal podendo ser preta ou marrom. A cor da pelagem em camundongos é determinada por dois pares de genes, **A/a** e **P/p**, situados em pares de cromossomos não homólogos. O alelo **A** determina coloração aguti, e o alelo **a** expressa coloração preta. A presença de pigmentação é ocasionada pelo alelo **P**, enquanto o alelo **p**, em homozigose, determina ausência de pigmentação, ou seja, o camundongo é albino.





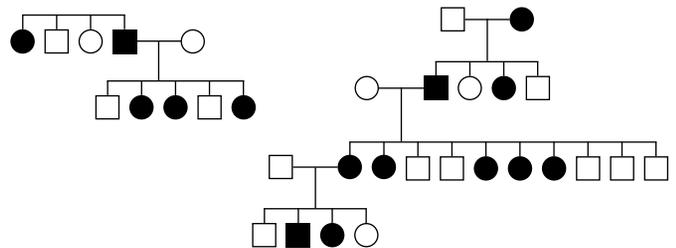
Considerando as informações obtidas pelo pesquisador, é correto afirmar que

- os dados da tabela 1 revelam um caso de ligação fatorial completa.
  - os dados da tabela 2 sugerem ligação fatorial incompleta.
  - a tabela 3 indica ligação fatorial completa.
  - os produtos meióticos da tabela 3 revelam a ocorrência de recombinação gênica, o que gera variabilidade nos tipos de células resultantes do processo meiótico.
  - a proporção de gametas formados por um di-híbrido não indica se os genes estão ligados ou se eles se segregam independentemente.
2. Um indivíduo com genótipo **AaBb** produz gametas nas seguintes proporções: 25% **AB**, 25% **Ab**, 25% **aB** e 25% **ab**. Outro indivíduo, com o genótipo **DdEe**, produz gametas nas seguintes proporções: 50% **DE** e 50% **de**. Pode-se concluir que
- os genes **A** e **B** se segregam independentemente e entre eles ocorre *crossing-over*.
  - os genes **D** e **E** estão ligados e entre eles ocorre *crossing-over*.
  - os genes **D** e **E** se segregam independentemente e entre eles não ocorre *crossing-over*.
  - os genes **A** e **B** estão ligados e entre eles não ocorre *crossing-over*.
  - os genes **D** e **E** estão ligados e entre eles não ocorre *crossing-over*.
3. A taxa de recombinação indica a distância entre os genes. As ilustrações a seguir representam determinados genes alelos, localizados no mesmo par de cromossomos homólogos.



Considerando as células que envolvem meiose e ligação gênica, assinale a alternativa correta.

- Na célula 2, haverá menor taxa de recombinação, pois a distância entre **A** e **B** é menor.
  - Na célula 1, visto que **A** e **B** estão mais distantes, a frequência de recombinação será menor.
  - Em 2, a frequência de *crossing-over* é mais significativa.
  - A taxa máxima de *crossing-over* é de 100%.
  - A célula 1 configura a disposição trans, pois, em um dos cromossomos, situam-se os genes dominantes e, no homólogo, os recessivos.
4. (ENEM)



No heredograma, os símbolos preenchidos representam pessoas portadoras de um tipo raro de doença genética. Os homens são representados pelos quadrados, e as mulheres, pelos círculos.

Qual é o padrão de herança observado para essa doença?

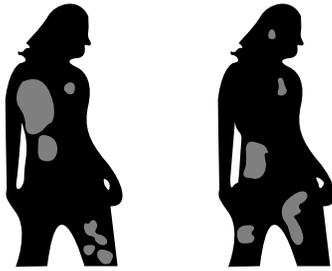
- Dominante autossômico, pois a doença aparece em ambos os sexos.
  - Recessivo ligado ao sexo, pois não ocorre a transmissão do pai para os filhos.
  - Recessivo ligado ao Y, pois a doença é transmitida dos pais heterozigotos para os filhos.
  - Dominante ligado ao sexo, pois todas as filhas de homens afetados também apresentam a doença.
  - Codominante autossômico, pois a doença é herdada pelos filhos de ambos os sexos, tanto do pai quanto da mãe.
5. Filha de um hemofílico, uma advogada holandesa, homogamética e heterozigótica, temia transmitir essa condição a seus descendentes. Distúrbio que dificulta a coagulação do sangue, a hemofilia é causada por uma mutação de um gene em um dos cromossomos alossomos que determinam o sexo. [...] Impressionada com o sofrimento que essa condição sempre causou a seu pai, a advogada, ao ficar grávida, resolveu fazer teste genético pré-natal para saber se seu filho seria hemofílico.

Veja, 7 set. 2011. (adaptado)

As chances de essa mulher transmitir o gene da hemofilia para um descendente e de esse descendente, sendo do sexo masculino, apresentar hemofilia são, respectivamente, de

- 100% e 50%.
  - 50% e 50%.
  - 50% e 100%.
  - 100% e 100%.
  - 25% e 75%.
6. A displasia ectodérmica anidrótica (DEA) apresenta prevalência na população de 1 : 100 000 nascimentos, herdada como recessiva ligada ao alossomo X, e caracteriza-se pela falta de glândulas sudoríparas na pele, de glândulas mucosas no sistema respiratório superior e por poucos dentes e cabelos ou pela inexistência de ambos.

A ilustração a seguir revela duas gêmeas univitelinas, homogâmicas e heterozigóticas. As manchas que aparecem nessas mulheres são produzidas por um corante especial capaz de revelar áreas com poucas ou nenhuma glândula sudorípara.

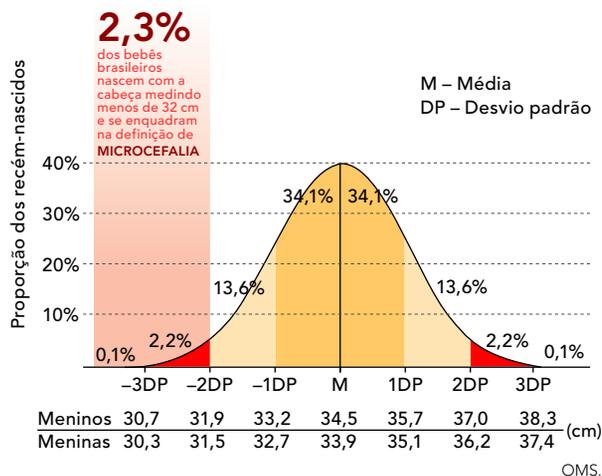


Considerando as informações dadas e seus conhecimentos sobre Genética do Sexo e Fisiologia Humana, é correto afirmar que

- os descendentes do sexo masculino das gêmeas deverão apresentar a síndrome com 100% de probabilidade.
  - um homem afetado por esta síndrome transmite o alelo recessivo para suas filhas e filhos, que apresentarão os fenótipos característicos dela.
  - os pacientes com DEA sofrem consideravelmente mais em baixas temperaturas e são suscetíveis às infecções respiratórias.
  - o locus gênico determinante desse caráter deve estar localizado na porção homóloga dos alossomos X e Y.
  - as gêmeas podem ter herdado o alelo recessivo tanto de seu pai quanto de sua mãe.
7. Biólogos brasileiros comprovaram *in vitro* que o zika vírus tem a capacidade de infectar e destruir células neuronais humanas. Os resultados reforçam a suspeita de que o novo vírus detectado no Brasil no início de 2015 é responsável pelo aumento retentivo no número de casos de microcefalia. O Ministério da Saúde representa um ponto de corte para definir se uma criança é suspeita de possuir microcefalia, que, no caso, é representado por 32 cm.

**Grande, pequeno ou na média**

Gráfico do tamanho da cabeça dos recém-nascidos tem a forma de um sino e auxilia a triar bebês com possível problema de saúde



O gráfico anterior revela a curva de frequência do tamanho do crânio humano obtida com base na descendência de vários cruzamentos efetuados entre casais que apresentam crânios de tamanho médio, característica que,

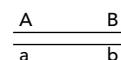
geneticamente, depende do número de genes atuantes. A variabilidade e a frequência observadas no tamanho do crânio são explicadas por um padrão de herança

- monogênica, com dominância completa ou total.
  - epistática dominante.
  - poligênica ou aditiva.
  - polialélica ou de alelos múltiplos.
  - ligada ao sexo, recessiva.
8. Um inibidor da produção de pigmento no bulbo da cebola do gênero *Allium* ( $I\_ \_$ ) exibe epistasia dominante sobre um outro locus. O genótipo  $iiR\_$  produz bulbos vermelhos, e o genótipo  $iiRR$  produz bulbos amarelos. Uma linhagem branca pura é cruzada com uma linhagem vermelha pura, produzindo  $F_1$  inteiramente branca.
- Qual a proporção fenotípica esperada em  $F_2$ , resultante do entrecruzamento das duas plantas di-híbridas de  $F_1$ ?
- 9 : 3 : 3 : 1
  - 1 : 4 : 6 : 4 : 1
  - 9 : 7
  - 12 : 3 : 1
  - 9 : 3 : 4
9. A cor da pele humana é determinada pela ação de diversos genes, caracterizando um caso de interação gênica denominado herança aditiva, quantitativa ou poligênica. Sabe-se que os genes **A** e **B** apresentam uma ação aditiva na quantidade de melanina produzida por um indivíduo e que a ocorrência do gene **s** em homozigose inibe a produção de pigmentos. No casamento entre dois indivíduos heterozigotos para os três pares de genes (**S**, **A** e **B**), qual a probabilidade de eles gerarem prole negra?
- 50%
  - 100%
  - $\frac{3}{64}$
  - $\frac{16}{64}$
  - $\frac{4}{64}$



**Atividades propostas**

- Conhecendo a distância entre os diferentes loci gênicos, é possível construir mapas cromossômicos, e conhecendo a porcentagem de permutação entre os genes **A**, **B**, **C** e **D**, podem-se encontrar suas posições relativas nos cromossomos. Assim, assinale alternativa em que está indicada a sequência mais provável dos genes **A**, **B**, **C** e **D**, com locus no mesmo cromossomo, apresentando as seguintes frequências de recombinação: **A – B** = 16%; **C – D** = 20%; **A – C** = 20%; **A – D** = 40%; **B – D** = 24%.
  - ACBD
  - ABDC
  - BCDA
  - CBDA
  - ABCD
- Observe a segregação de dois pares de alelos durante meiose.



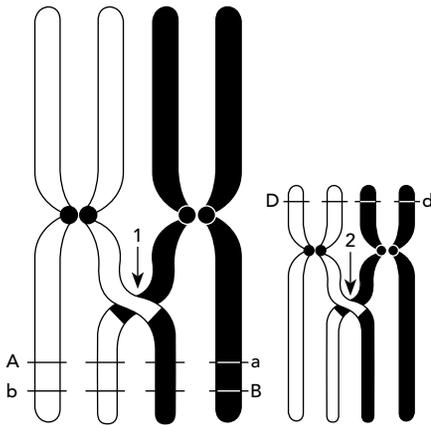
Supondo-se que não houve *crossing-over* entre os dois cromossomos, os gametas formados são

- 50% **AB**, 50% **Ba**.
- 25% **A**, 25% **B**, 25% **a**, 25% **b**.
- 100% **AaBb**.
- 50% **AB**, 50% **ab**.
- 50% **Aa**, 50% **Bb**.

3. Um biólogo geneticista, analisando um triplo-heterozigoto em *linkage*, efetuou um cruzamento entre um indivíduo com genótipo **AaBbCc** e um com genótipo triplo-recessivo **aabbcc** e obteve os seguintes resultados:
- 80% dos gametas resultaram de meiose sem *crossing*;
  - 13% dos gametas resultaram de *crossing* entre **A** e **B**;
  - 6% dos gametas resultaram de *crossing* entre **B** e **C**;
  - 1% dos gametas resultou de duplo-*crossing*.

Quais são os gametas e os respectivos percentuais resultantes do *crossing-over* entre A e B?

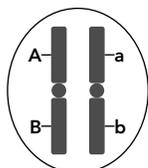
- a) **Abc** (6,5%) e **aBC** (6,5%).  
 b) **ABc** (3%) e **abC** (3%).  
 c) **AbC** (0,5%) e **aBc** (0,5%).  
 d) **ABC** (40%) e **abc** (40%).  
 e) **Abc** (13%) e **aBC** (13%).
4. Thomas Hunt Morgan (1866-1945), realizando experimentos com o díptero *Drosophila melanogaster* comprovou a teoria cromossômica de Mendel, segundo a qual os genes apresentam *loci* nos cromossomos, e sugeriu que, quando os cromossomos se pareiam na meiose, eles ocasionalmente trocam partes em um processo denominado *crossing-over*. Considerando esse processo, observe a célula adiante em divisão meiótica, com dois pares de cromossomos com três genes em heterozigose: **A/a**, **B/b** e **D/d**. Nesses cromossomos, ocorreram as permutas indicadas pelas setas 1 e 2.



Quanto aos pares de alelos mencionados, que tipos de gametas (não recombinantes e recombinantes) esta célula poderá formar?

	Não recombinantes	Recombinantes
a)	AbD – aBd – AbD – aBd	AbD – aBd – AbD – aBd
b)	AbD – abD – abd – ABD	ABD – ABD – Abd – Abd
c)	AbD – Abd – aBD – aBd	aBD – aBd – AbD – Abd
d)	ABD – ABD – ABD – ABD	abd – abd – abd – abd
e)	Ab – aB – Ab – aB	DD – Dd – Dd – dd

5. Quando os genes estão ligados em um mesmo cromossomo, diz-se que formam um grupo *linkage*. Assim, considere uma célula com a seguinte constituição:



Admitindo-se que haja 60% de recombinação, a porcentagem de cada tipo de gameta com permuta que essa célula produzirá será de

- a) 15%.  
 b) 20%.  
 c) 30%.  
 d) 35%.  
 e) 40%.
6. Os genes situados no mesmo cromossomo tendem a permanecer unidos de uma geração para outra e separam-se quando ocorre permutação, cuja frequência é um reflexo, até certo ponto, das suas relações espaciais. Assim, considere três genes vinculados, sendo que
- entre **A** e **B** ocorrem 15% de permutação;
  - entre **A** e **C** ocorrem 10% de permutação;
  - entre **B** e **C** ocorrem 5% de permutação.

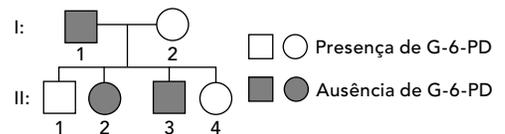
Qual a disposição desses três genes ao longo do cromossomo?

- a) **CBA**  
 b) **CAB**  
 c) **ABC**  
 d) **BCA**  
 e) **BAC**
7. A imprensa noticiou um caso de displasia ectodérmica anidrótica ou hipodrótica ou síndrome de Christ-Siemens-Touraine em um recém-nascido, E.S., 10 dias de vida, natural de Caxias do Sul, com história de episódios de hipertermia recorrentes, ausência parcial de glândulas sudoríparas, hipotricose e hipodontia. Essa criança tem pais normais e dois irmãos mais novos do sexo masculino, ambos normais. A DEA é um distúrbio genético recessivo, ligado ao cromossomo X. Considerando as informações, qual a probabilidade de nascer outra criança com a mesma anomalia nessa família?

- a)  $\frac{1}{2}$   
 b)  $\frac{1}{3}$   
 c)  $\frac{2}{3}$   
 d)  $\frac{1}{4}$   
 e)  $\frac{1}{8}$

8. A enzima G-6-PD (glicose-6-fosfato desidrogenase) está presente nas hemácias de indivíduos normais. A ausência dessa enzima, em indivíduos afetados, torna as hemácias sensíveis a certas drogas e nutrientes, provocando sua destruição. O gene que determina a ausência de G-6-PD é recessivo e situa-se no cromossomo X.

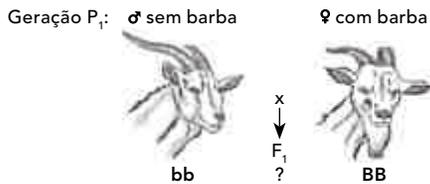
Observe o heredograma que representa uma família com essa característica.



Com base nesse heredograma, é correto afirmar que

- a) cada um dos indivíduos representados tem, pelo menos, um gene para ausência de G-6-PD.  
 b) essa família apresenta dois indivíduos heterozigotos para o gene que determina a G-6-PD.  
 c) casais como I-1 × I-2 têm probabilidade maior de ter filhos afetados do que de ter filhas afetadas.  
 d) o indivíduo II-3 pode ter recebido o gene da G-6-PD tanto do seu pai quanto de sua mãe.  
 e) o genótipo de II-4 é X<sup>a</sup>X<sup>a</sup>.

9. Em algumas cabras, a presença de barba é expressa por um alelo autossômico B que é dominante nos machos e recessivo nas fêmeas, em relação ao alelo b. A ilustração a seguir revela o cruzamento entre um macho sem barba e uma fêmea com barba.



- A análise do texto e da ilustração permitem concluir que
- trata-se de uma herança limitada ao sexo.
  - em F<sub>1</sub>, machos e fêmeas revelam o mesmo genótipo e o mesmo fenótipo.
  - o cruzamento entre dois heterozigotos (F<sub>1</sub>) revela as mesmas proporções fenotípicas para macho e fêmea.
  - trata-se de herança influenciada pelo sexo.
  - trata-se de herança ligada ao sexo dominante.

10. Na espécie humana, há dois tipos de cromossomos sexuais ou alossomos (X e Y) e 44 cromossomos autossômicos. O par de cromossomos sexuais tem forma diferenciada em homens e mulheres. A respeito desse tema, em Genética, é correto afirmar que

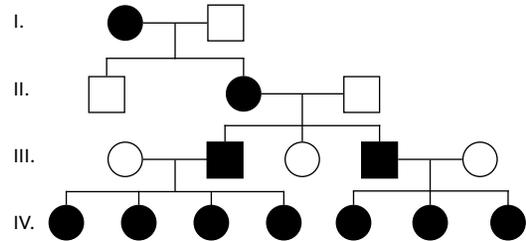
- o sexo masculino é homogamético e o sexo feminino é heterogamético.
- entre os dois tipos de animais e plantas com reprodução sexuada, os monoicos são aqueles em que um dado organismo produz apenas espermatozoides ou ovócitos II.
- o daltonismo é causado por um gene localizado no cromossomo X, na sua região homóloga ao Y. Essa anomalia afeta mais os homens porque neles basta um gene para condicioná-la, enquanto as mulheres necessitam de dois genes. Apenas filhas de casal em que mulher e homem são daltônicos podem apresentar a anomalia.
- a hemofilia é uma anomalia condicionada por um gene recessivo localizado no cromossomo Y. Dessa forma, apenas os homens podem apresentar essa anomalia.
- genes encontrados no cromossomo Y condicionam a herança restrita ao sexo, característica dos indivíduos do sexo masculino.

11. O raquitismo resistente à vitamina D, ou raquitismo hipofosfatêmico, é uma herança dominante ligada ao cromossomo alossomo X, ou seja, trata-se de uma herança ligada ao sexo. A respeito dessa doença e considerando que um determinado casal tenha uma criança afetada, assinale a alternativa correta.

- Caso apenas o pai seja afetado, a criança afetada será obrigatoriamente do sexo masculino e produzirá 50% de seus gametas contendo o gene do raquitismo.
- Caso a criança afetada seja homogamética e heterozigótica para o raquitismo, é correto afirmar que, se ela recebeu da mãe o gene para tal anomalia, o seu pai é inteiramente normal.
- Caso a mãe seja afetada, a criança afetada será do sexo feminino, independentemente de a mãe ser homozigótica ou heterozigótica para o gene do raquitismo.
- Caso a criança afetada seja um menino, 100% de seus filhos serão afetados, independentemente do sexo e do genótipo da mãe.
- Caso a criança afetada seja um menino, que futuramente se casa com uma mulher normal, a probabilidade é de que, entre suas filhas, 50% sejam normais.

12. O raquitismo hipofosfatêmico é uma forma comum de raquitismo hereditário, com uma incidência estimada de 1:20000 indivíduos. A principal característica da doença é uma perda renal inadequada de fosfato que leva a uma hipofosfatemia com fosfatúria elevada e mineralização óssea defeituosa. Os pacientes apresentam raquitismo e osteomalacia, deformidades em membros inferiores, dores ósseas, baixa estatura, anormalidades dentárias e metabolismo alterado da vitamina D.

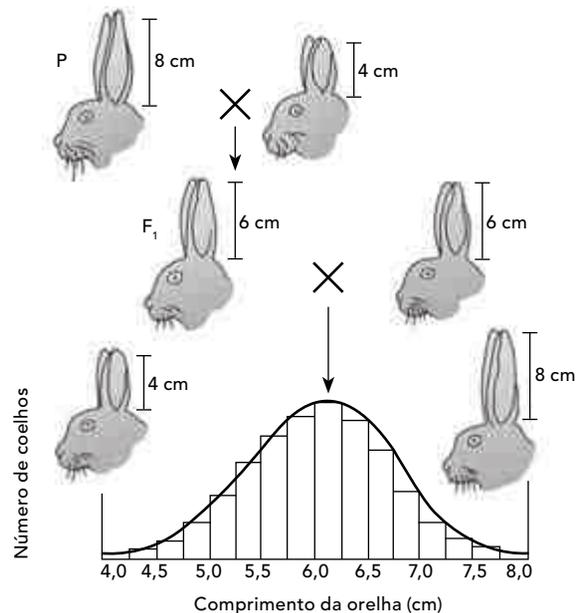
O heredograma adiante apresenta a herança do raquitismo hipofosfatêmico.



Se o homem III-2 se casar com uma mulher também afetada, mas filha de pai normal, a probabilidade de nascer uma criança normal é de

- 0%.
- 25%.
- 50%.
- 75%.
- 100%.

13. Certas variedades fenotípicas são contínuas; dependem do número de genes atuantes e se obtêm maior ou menor variação fenotípica.



O gráfico anterior apresenta a curva de frequência de variados comprimentos de orelhas, obtida com base na descendência de vários cruzamentos efetuados entre coelhos que apresentavam orelhas de tamanho médio.

A diversidade e a frequência observadas no tamanho das orelhas são explicadas por um mecanismo de herança

- monogênica, com ausência de dominância.
- mendeliana simples, com influência do ambiente.
- poligênica ou quantitativa.
- polialela ou de alelos múltiplos.
- recessiva para o tipo de orelha curta.

14. A massa do pericarpo de um determinado tipo de fruto carnoso (baga) de uma angiosperma depende da ação de dois genes A e B, não alelos, com segregação independente e de ação cumulativa (aditiva ou poligênica). Os genes contribuem com valores idênticos para o acréscimo de massa. Os genes **a** e **b**, alelos de **A** e **B**, respectivamente, não contribuem para o acréscimo de massa. O fruto de uma planta de genótipo **AABB** tem 40 g de massa, enquanto o fruto de uma planta de genótipo **aabb** tem 20 g. Qual a massa do fruto de uma planta de genótipo **AABb**?

- a) 20 g
- b) 25 g
- c) 30 g
- d) 35 g
- e) 40 g

15. Em uma dada espécie de angiosperma, filo Magnoliophyta, a diferença entre um fruto de 10 cm de comprimento e outro de 20 cm de comprimento ocorre devido a dois genes. Cada um desses genes, com dois alelos, possui efeito aditivo (cumulativo ou poligênico) e segrega-se independentemente. Na descendência do cruzamento entre dois indivíduos, são produzidos frutos com 15 cm de comprimento, duplo-heterozigotos.

Qual a probabilidade da ocorrência de plantas com frutos de 17,5 cm de comprimento?

- a)  $\frac{9}{16}$
- b)  $\frac{1}{2}$
- c)  $\frac{3}{16}$
- d)  $\frac{1}{4}$
- e)  $\frac{1}{8}$

16. Suponha que, em uma planta, a altura seja condicionada por 3 pares de genes, **a**, **b** e **c**, com efeito aditivo. Os indivíduos de genótipo **aabbcc** medem 3 cm, e cada gene dominante acrescenta 1 cm à altura da planta. Do cruzamento entre um indivíduo de genótipo **AABbCc** e um de genótipo **aaBbcc**, a proporção de indivíduos com 5 cm em  $F_1$  é de

- a)  $\frac{3}{8}$ .
- b)  $\frac{1}{2}$ .
- c)  $\frac{1}{8}$ .
- d)  $\frac{7}{8}$ .
- e)  $\frac{5}{8}$ .

17. A forma dos frutos de abóbora pode ser alongada, esférica ou discoide, sendo determinada pela interação entre dois pares de genes, cada um com dois alelos (**A**, **a** e **B**, **b**) que se segregam independentemente.

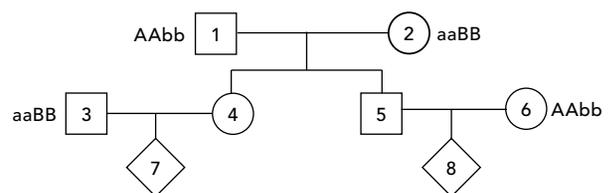


Alongada **aabb**      Esférica **A\_bb** ou **aaB\_**      Discoide **A\_B\_**  
GRIFFITHS, Anthony et al. Genética moderna. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p. 170. (adaptado)

Do cruzamento entre duas plantas produtoras de abóboras esféricas, de origens diferentes, obtiveram-se em  $F_1$  100% de descendentes produtores de abóboras discoides. A proporção fenotípica esperada para os descendentes do inter cruzamento entre plantas de  $F_1$  será de

- a) 12:3:1.
- b) 9:3:3:1.
- c) 9:3:4.
- d) 9:6:1.
- e) 1:4:6:4:1.

18. Imagine que, em um determinado animal, a retenção de água no corpo seja controlada pela interação quantitativa de dois pares de genes, existindo cinco fenótipos (da retenção baixa até a retenção máxima de água). Animais com genótipos **aabb** retêm baixa quantidade de água, enquanto animais com genótipos **AABB** apresentam retenção máxima de água. Os animais que apresentam dois genes "maiúsculos" e dois genes "minúsculos" no genótipo retêm uma quantidade intermediária de água. Na genealogia a seguir, são dados os genótipos dos animais indicados pelos números 1, 2, 3 e 6.



Considerando que os genes em questão segregam-se independentemente, qual a probabilidade de os indivíduos 7 e 8 apresentarem simultaneamente retenção intermediária de água?

- a)  $\frac{1}{2}$
- b)  $\frac{1}{3}$
- c)  $\frac{1}{4}$
- d)  $\frac{1}{8}$
- e)  $\frac{1}{16}$



# CONHECIMENTO

## Darwinismo social

O Darwinismo social é uma teoria da evolução da sociedade. Recebe esse nome, uma vez que se baseia no Darwinismo, teoria baseada no pensamento de Charles Darwin (1808-1882). Esse estudo social foi desenvolvido entre os séculos XIX e XX pelo filósofo inglês Herbert Spencer (1820-1903). O Darwinismo social acredita na premissa da existência de sociedades superiores às outras e que, nessa condição, as que se sobressaem física e intelectualmente devem e acabam por se tornar as governantes, enquanto as outras deixariam de existir porque não eram capazes de acompanhar a linha evolutiva da sociedade. Essas últimas entrariam, portanto, em extinção, acompanhando o princípio de seleção natural da Teoria da Evolução.

## Racismo e Eugenia

Por considerar que a sociedade é dividida em raça superior e inferior – a chamada superioridade racial –, o Darwinismo social, que tem também como base ideais nacionalistas, consiste em um pensamento preconceituoso e racista. Desse modo, acreditava-se que os europeus eram bons dominadores pelo fato de essa raça ser considerada superior às demais. Da mesma forma, o monopólio do comércio, acompanhado pelos progressos científicos e tecnológicos, eram reflexos do povo capacitado para essa situação, enquanto os países que ficaram limitados ao fornecimento de mão de obra seriam inferiores, menos capazes. A Eugenia também trata do tema da evolução humana como fator de controle social, sendo criada por Francis Galton (1822-1911), que acreditava que a melhoria genética era determinante para a qualidade racial, tanto no aspecto físico como no aspecto mental. Regimes de caráter fascista e o nazismo utilizaram de forma ampla essas teorias sociais.

Isso mostra que, ao longo da conjuntura histórica, o conhecimento biológico vai além dos laboratórios. Ele mergulha diretamente na sociedade, produzindo dúvidas que levaram os sujeitos do passado a pensar em superioridade, chegando até hoje, em que todo ser humano é considerado igual, demonstrando um avanço do pensamento social humano com auxílio da Biologia.

Disponível: <<https://www.todamateria.com.br>>. Acesso em: 11 ago. 2017. (adaptado)



Cartaz do filme norte-americano de 1917 *The Black Stork* (A Cegonha Negra), que demonstra a construção de uma narrativa a qual busca provar que manter vivas crianças com problemas poderia prejudicar a nação, portanto, elas não deveriam ser salvas. O filme recebe este nome, pois, no folclore americano, acreditava-se que uma cegonha traz os bebês recém-nascidos.



Capa da *Physical Culture* de junho de 1934, que traz a seguinte matéria: "Devemos criar ou esterilizar os defeituosos?"

## BIOLOGIA

### Ciências da Natureza e suas Tecnologias

#### BIOLOGIA 1

##### Módulo 1

- |       |       |      |      |       |
|-------|-------|------|------|-------|
| 1. B  | 2. E  | 3. B | 4. B | 5. B  |
| 6. C  | 7. B  | 8. D | 9. C | 10. B |
| 11. A | 12. C |      |      |       |

##### Módulo 2

- |       |       |      |      |       |
|-------|-------|------|------|-------|
| 1. A  | 2. A  | 3. D | 4. E | 5. C  |
| 6. D  | 7. C  | 8. C | 9. B | 10. C |
| 11. C | 12. D |      |      |       |

##### Módulo 3

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. A  | 2. A  | 3. C  | 4. E  | 5. D  |
| 6. D  | 7. D  | 8. D  | 9. B  | 10. A |
| 11. B | 12. D | 13. C | 14. D | 15. D |
| 16. B | 17. B | 18. B |       |       |

#### BIOLOGIA 2

##### Módulo 1

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. B  | 2. A  | 3. C  | 4. E  | 5. A  |
| 6. C  | 7. C  | 8. A  | 9. E  | 10. E |
| 11. E | 12. B | 13. D | 14. D | 15. B |
| 16. B | 17. E | 18. A |       |       |

##### Módulo 2

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. D  | 2. C  | 3. D  | 4. D  | 5. E  |
| 6. C  | 7. E  | 8. D  | 9. D  | 10. C |
| 11. C | 12. C | 13. B | 14. C | 15. A |
| 16. B | 17. B | 18. B |       |       |

##### Módulo 3

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. E  | 2. D  | 3. E  | 4. B  | 5. C  |
| 6. A  | 7. B  | 8. C  | 9. B  | 10. B |
| 11. E | 12. E | 13. B | 14. A | 15. C |
| 16. C | 17. A | 18. C |       |       |

#### BIOLOGIA 3

##### Módulo 1

- |       |       |      |      |       |
|-------|-------|------|------|-------|
| 1. D  | 2. B  | 3. A | 4. C | 5. A  |
| 6. D  | 7. C  | 8. A | 9. D | 10. C |
| 11. E | 12. C |      |      |       |

##### Módulo 2

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. B  | 2. D  | 3. A  | 4. D  | 5. D  |
| 6. C  | 7. C  | 8. A  | 9. C  | 10. A |
| 11. C | 12. C | 13. B | 14. A | 15. D |
| 16. A | 17. E | 18. B |       |       |

##### Módulo 3

- |       |       |      |      |       |
|-------|-------|------|------|-------|
| 1. D  | 2. B  | 3. B | 4. C | 5. A  |
| 6. A  | 7. D  | 8. E | 9. D | 10. D |
| 11. A | 12. B |      |      |       |

#### BIOLOGIA 4

##### Módulo 1

- |       |       |      |      |       |
|-------|-------|------|------|-------|
| 1. C  | 2. C  | 3. B | 4. D | 5. C  |
| 6. D  | 7. E  | 8. B | 9. A | 10. D |
| 11. E | 12. C |      |      |       |

##### Módulo 2

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. C  | 2. C  | 3. D  | 4. A  | 5. A  |
| 6. E  | 7. C  | 8. A  | 9. C  | 10. E |
| 11. C | 12. A | 13. A | 14. C | 15. A |
| 16. D | 17. E | 18. B |       |       |

##### Módulo 3

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1. E  | 2. D  | 3. A  | 4. C  | 5. A  |
| 6. D  | 7. D  | 8. B  | 9. D  | 10. E |
| 11. B | 12. B | 13. C | 14. D | 15. D |
| 16. A | 17. D | 18. C |       |       |



Utilize um leitor de QR Code do seu tablet ou smartphone e faça download do aplicativo SAS App.



Utilize um leitor de QR Code ou acesse [www.portalsas.com.br](http://www.portalsas.com.br) para visualizar os gabaritos.



# Referências

Constam, em nosso material didático, atividades escolhidas dos exames vestibulares das seguintes instituições de ensino:

AFA – Academia da Força Aérea Brasileira  
CEFET-AL – Centro Federal de Educação Tecnológica de Alagoas  
CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
CEFET-PE – Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
CEFET-PR – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná  
CESGRANRIO – Centro de Ensino Superior do Grande Rio  
CN – Colégio Naval  
CPS – Centro de Políticas Sociais  
EEM-SP – Escola de Engenharia Mauá  
EFOA-MG – Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas  
ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio  
EPUSP-SP – Escola Politécnica da USP de São Paulo  
ESAF – Escola de Administração Fazendária  
ESPM – Escola Superior de Propaganda e Marketing  
ETFC – Escola Técnica Federal do Ceará  
FAAP – Fundação Armando Álvares Penteado  
FAFI-MG – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Sete Lagoas  
FAMECA – Faculdade de Medicina de Catanduva  
FATEC-SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo  
FCC – Fundação Carlos Chagas  
FCM-MG – Faculdade de Ciências Médicas  
FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia  
FEI – Faculdade de Engenharia Industrial  
FESP-PE – Fundação de Ensino Superior de Pernambuco  
FFCMPA – Fundação Faculdade Federal de Ciências Médicas de Porto Alegre  
FGV – Fundação Getúlio Vargas  
FIUBE-MG – Faculdades Integradas de Uberaba  
FMJ – Faculdade de Medicina de Jundiá  
FMU/FIAM-SP – Faculdades Metropolitanas Unidas/Faculdades Integradas Alcântara Machado  
FRF – Fundação Ricardo Franco  
FURG – Universidade Federal do Rio Grande  
FUVEST – Fundação Universitária para o Vestibular  
GE – Guia do Estudante  
IBMEC – Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais  
IFCE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará  
IFMG – Instituto Federal Minas Gerais  
IME – Instituto Militar de Engenharia  
INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira  
INSPER – Instituto de Ensino e Pesquisa  
ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica  
MACKENZIE – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
OBF – Olimpíada Brasileira de Física  
OPF – Olimpíada Paulista de Física  
OSEC – Organização Santamarense de Educação e Cultura  
POLI – Escola Politécnica  
PUCCAMP – Pontifícia Universidade Católica de Campinas/SP  
PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
PUC-PR – Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
PUC-SP – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo  
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina  
UEAM – Universidade Estadual do Amazonas  
UECE – Universidade Estadual do Ceará  
UEFS-BA – Universidade Estadual de Feira de Santana  
UEG – Universidade Estadual de Goiás  
UEL – Universidade Estadual de Londrina  
UEMG – Universidade Estadual de Minas Gerais  
UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
UEM – Universidade Estadual de Maringá  
UEPB – Universidade Estadual da Paraíba  
UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro  
UESPI – Universidade Estadual do Piauí  
UFABC – Universidade Federal do ABC  
UFAC – Universidade Federal do Acre  
UFAL – Universidade Federal de Alagoas  
UFAM – Universidade Federal do Amazonas  
UFBA – Universidade Federal da Bahia  
UFC – Universidade Federal do Ceará  
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo  
UFF-RJ – Universidade Federal Fluminense  
UFG – Universidade Federal de Goiás  
UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora  
UFLA-MG – Universidade Federal de Lavras  
UFMA – Universidade Federal do Maranhão  
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais  
UFMS – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul  
UFPA – Universidade Federal do Pará  
UFPB – Universidade Federal da Paraíba  
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco  
UFPEL-RS – Universidade Federal de Pelotas  
UFPI – Universidade Federal do Piauí  
UFRP – Universidade Federal do Paraná  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
UFRR – Universidade Federal de Roraima  
UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos  
UFSJ-MG – Universidade Federal de São João Del Rei  
UFSM-RS – Universidade Federal de Santa Maria  
UFSS-SC – Universidade Federal de Fronteira Sul do Estado de Santa Catarina  
UFTPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
UFU-MG – Universidade Federal de Uberlândia  
UFV-JM – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
UFV-MG – Universidade Federal de Viçosa  
UNAERP – Universidade de Ribeirão Preto  
UNB – Universidade de Brasília  
UNCISAL – Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas  
UNEB – Universidade do Estado da Bahia  
UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso  
UNESP – Universidade Estadual Paulista  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas  
UNIFAL-MG – Universidade Federal de Alfenas  
UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo  
UNIFOR – Universidade de Fortaleza  
UNIMAR-SP – Universidade de Marília  
UNIMES – Universidade Metropolitana de Santos  
UNIPA-MG – Universidade de Alegre  
UNIRIO – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
UNISINOS-RJ – Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
UNITAU-SP – Universidade de Taubaté  
UNIVALI-SC – Universidade do Vale do Itajaí  
UPE – Universidade de Pernambuco  
USJT-SP – Universidade de São Judas Tadeu  
USP – Universidade de São Paulo  
UTF-PR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
UVA – Universidade Estadual do Vale do Acaraú  
VUNESP – Vestibular da Universidade Federal Paulista