

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Biologia**

VOLUME

2



**DOM
BOSCO**

by Pearson

PRÉ-VESTIBULAR

SEMIEXTENSIVO

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Biologia**

VOLUME

2

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

DOM BOSCO - SISTEMA DE ENSINO
PRÉ-VESTIBULAR SEMIEXTENSIVO 1
Ciências da natureza e suas tecnologias.
© 2019 – Pearson Education do Brasil Ltda.

Vice-presidência de Educação	Juliano Melo Costa
Gerência editorial nacional	Alexandre Mattioli
Gerência de produto	Silvana Afonso
Autoria	Ana Carolina Marinho Mota, Fernanda Lowndes, Sonia Graça Melo, Leandro Magrini
Coordenação editorial	Luiz Molina Luz
Edição de conteúdo	Lauro Tozetto, Curso São Carlos Ltda.
Assistência de edição	Ana Carolina de Almeida Paulino, Bunni Costa
Leitura crítica	Rafael Simões, Hannah Hamada, Lorena Milock de Freitas, Curso São Carlos Ltda.
Preparação e revisão	Igor Debiassi, Adriana Bairrada, Luzia Leite, Renata Coppolla, Elaine Faires
Gerência de Design	Cleber Figueira Carvalho
Coordenação de Design	Diogo Mecabo
Edição de arte	Alexandre Silva
Coordenação de pesquisa e licenciamento	Maiti Salla
Pesquisa e licenciamento	Andrea Bolanho, Cristiane Gameiro, Heraldo Colon, Maricy Queiroz, Sandra Sebastião, Shirlei Sebastião
Ilustrações	Alex Cói, Carla Viana, Dayane Cabral, Madine Oliveira
Projeto Gráfico	Apis design integrado
Diagramação	Editorial 5
Capa	Apis design integrado
Imagem de capa	mvp64/istock
Produtor multimídia	Cristian Neil Zaramella
PCP	George Baldim, Paulo Campos

Todos os direitos desta publicação reservados à
Pearson Education do Brasil Ltda.

Av. Santa Marina, 1193 - Água Branca
São Paulo, SP – CEP 05036-001
Tel. (11) 3521-3500

www.pearson.com.br

APRESENTAÇÃO

Um bom material didático voltado ao vestibular deve ser maior que um grupo de conteúdos a ser memorizado pelos alunos. A sociedade atual exige que nossos jovens, além de dominar conteúdos aprendidos ao longo da Educação Básica, conheçam a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver as habilidades a fim de obterem autonomia e entenderem criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para se ter sucesso no Ensino Superior.

O Enem e os principais vestibulares do país esperam que o aluno, ao final do Ensino Médio, seja capaz de dominar linguagens e seus códigos; construir argumentações consistentes; selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; e compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O Pré-Vestibular do Sistema de Ensino Dom Bosco sempre se destacou no mercado editorial brasileiro como um material didático completo dentro de seu segmento educacional. A nova edição traz novidades, a fim de atender às sugestões apresentadas pelas escolas parceiras que participaram do Construindo Juntos – que é o programa realizado pela área de Educação da Pearson Brasil, para promover a troca de experiências, o compartilhamento de conhecimento e a participação dos parceiros no desenvolvimento dos materiais didáticos de suas marcas.

Assim, o Pré-Vestibular Semiextensivo Dom Bosco by Pearson foi elaborado por uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, abrangendo as quatro áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças educacionais do país.

O novo material envolve temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; e a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

A coleção contempla todos os conteúdos exigidos no Enem e nos vestibulares de todo o país, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem. Soma-se a isso, uma seleção refinada de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo.

SUMÁRIO



307

BIOLOGIA 1



467

BIOLOGIA 2



591

BIOLOGIA 3



BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

BIOLOGIA 1

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA, CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLOS

- Dominância incompleta
- Outros casos de dominância incompleta
- Codominância
- Alelos múltiplos

HABILIDADES

- Compreender o conceito de dominância incompleta.
- Entender a funcionalidade da proteína produzida por cada alelo envolvido nesse tipo de padrão de herança.
- Citar novos exemplos desse tipo de padrão de herança.
- Compreender o que é codominância e citar os principais exemplos desse tipo de herança.
- Entender a importância de alelos múltiplos e citar os principais exemplos relacionados a eles.

Dominância incompleta

Os fenótipos apresentados nos módulos anteriores foram de alelos que têm relação de dominância completa. Ou seja, o alelo dominante apresenta seu fenótipo em dose dupla ou não, enquanto o recessivo tem seu caráter apenas em dose dupla.

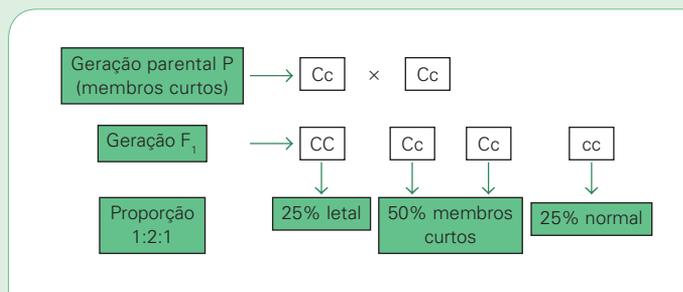
A **dominância incompleta** (também conhecida como **herança sem dominância** ou **intermediária**) é um tipo de ausência de dominância entre os alelos. Nesse caso, um alelo não determina a produção de uma proteína suficiente para a expressão do fenótipo (e, conseqüentemente, de determinada característica) apenas por estar presente. A dominância incompleta ocorre quando o genótipo heterozigoto apresenta um fenótipo intermediário em relação aos fenótipos de dois homozigotos parentais.

Como todo gene é transcrito em RNA (e esse será utilizado como molde na tradução para que uma proteína seja produzida), no caso da dominância incompleta, durante a tradução, um alelo geralmente produz uma proteína funcional, enquanto o outro produz uma proteína não funcional. Como consequência, o fenótipo intermediário é gerado como uma mistura de um e de outro.

Na dominância incompleta, durante o processo de tradução, um dos alelos produz uma proteína funcional, enquanto o outro produz uma proteína não funcional.

No caso da condrodisplasia bovina, o alelo **C** promove desenvolvimento completo da cartilagem de crescimento, o que resulta em membros normais. Já o alelo **c** não funcional não auxilia no desenvolvimento completo da cartilagem, de modo que, em indivíduos heterozigotos, apenas um alelo é funcional. Isso reduz pela metade o desenvolvimento normal do animal e gera bovinos com membros curtos.

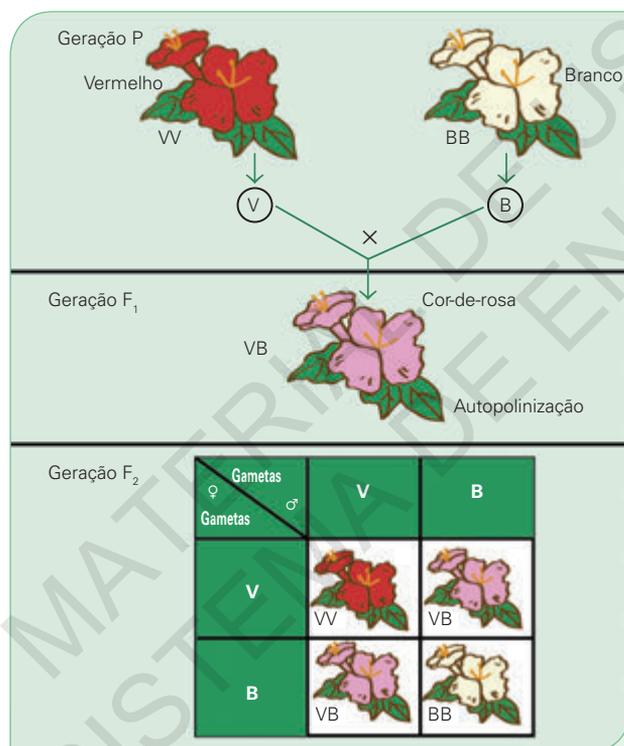
Quando um gado tem o genótipo **CC**, apresenta fenótipo letal, e o feto é abortado em razão de graves alterações embrionárias. Se o animal tiver genótipo **Cc**, apresenta condrodisplasia do tipo *bulldog* (membros curtos). Por outro lado, quando apresenta o genótipo **cc**, o indivíduo é normal. No cruzamento entre indivíduos de membros curtos (**Cc**), 25% da prole está em condição grave (genótipo **CC**), 50% apresentam membros curtos (**Cc**) e 25% são normais (**cc**).



Outro caso clássico de dominância incompleta é o do par de alelos que determina a cor das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.). Nessa espécie, flores que apresentam pétalas brancas (genótipo **BB**) produzem uma proteína não funcional no lugar de uma proteína responsável pela pigmentação. Por sua vez, flores de pétalas vermelhas (genótipo **VV**) apresentam o alelo **V** e produzem uma proteína funcional responsável pela pigmentação.

Quando as linhagens puras de plantas com pétalas brancas são cruzadas com as de pétalas vermelhas, a geração F_1 é formada 100% por pétalas rosa (genótipo **VB**), um **fenótipo intermediário**. Nos indivíduos heterozigotos (**VB**), há apenas uma dose da proteína funcional de cor vermelha e uma dose da proteína não funcional.

Quando a geração F_1 é autofecundada, a geração F_2 apresenta 25% das flores com pétalas vermelhas (genótipo **VV**), 50% com pétalas rosa (genótipo **VB**) e 25% com pétalas brancas (genótipo **BB**). Assim, a proporção fenotípica é 1/4 vermelha, 1/2 rosa e 1/4 branca. Já a proporção genotípica é 1/4 **VV**, 1/2 **VB** e 1/4 **VB**. Dessa forma, na dominância incompleta, as proporções fenotípicas e genotípicas são sempre iguais (1:2:1).



Representação esquemática das proporções genotípicas e fenotípicas da cor das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Outros casos de dominância incompleta

Na dominância completa, são utilizadas letras maiúsculas para alelos dominantes e minúsculas para

alelos recessivos. No entanto, para dominância incompleta, a maioria dos autores opta por usar apenas letras maiúsculas, visto que a regra de dominância apenas pela presença de um alelo sobrepujando o outro não se aplica. Outra forma de representação de genótipos de dominância incompleta é a combinação de letras maiúsculas e minúsculas.

Vejam os exemplos a seguir casos distintos de dominância incompleta e as representações genotípicas mencionadas.

RABANETES LONGOS, REDONDOS OU OVAIS

Os rabanetes podem apresentar três formatos radiculares diferentes, cada um determinado por um par de alelos: raízes arredondadas (gene **RR**), ovaladas (**AR**) ou alongadas (**AA**).

Se plantas de raízes alongadas (**AA**) forem cruzadas com plantas de raízes arredondadas (**RR**), 100% da geração F_1 apresentará raízes ovaladas. A geração F_1 , ao ser autofecundada, gera 25% de plantas com raízes arredondadas, 50% ovaladas e 25% alongadas. Dessa forma, mais uma vez temos a proporção de 1:2:1, característica da dominância incompleta.

GALINHAS ANDALUZAS

Nessa raça de galinha, o cruzamento entre um galo com penas pretas (genótipo **PP**) e uma galinha com penas brancas (**BB**) produz 100% da geração F_1 com penas cinza-azuladas (genótipo **PB**), um fenótipo intermediário. Cruzando-se indivíduos com penas cinza-azuladas, a geração F_2 será de 25% com penas pretas, 50% com penas cinza-azuladas e 25% com penas brancas.

Outra forma de representar os genótipos das galinhas andaluzas combina letras maiúsculas e minúsculas. Nesse caso, o gene das plumagens pode ser representado pela letra **P**, de modo que os indivíduos de plumagem preta são expressos por **PpPp**; os de plumagem branca, por **PbPb**; e os de plumagem cinza-azulada, por **PpPb**.

CODOMINÂNCIA

Esse fenômeno ocorre quando o genótipo heterozigoto apresenta um fenótipo mesclado em relação aos genótipos parentais e as proporções genotípicas e fenotípicas são iguais (1:2:1), de modo similar à dominância incompleta.

Diferentemente da dominância incompleta, na codominância ambos os alelos produzem proteínas funcionais.

Não há fenótipo intermediário, de modo que é a mistura de duas características diferentes no mesmo indivíduo que produz um fenótipo novo, o qual é o heterozigoto.

Portanto, no exemplo citado na introdução deste módulo, se considerarmos que as algas vermelhas apresentam genótipo RR, e as algas verdes, genótipo GG, aquelas de coloração marrom têm genótipos RG, com a produção de proteínas que manifestam a coloração vermelha, e proteínas que expressam a cor verde. Assim, o tom marrom é originado pela mistura de ambos os pigmentos.



Esquema que exemplifica o resultado do cruzamento entre indivíduos homocigotos codominantes. O indivíduo formado apresenta um fenótipo novo.

SISTEMAS ABO E MN

Um exemplo clássico de codominância é encontrado no sistema **ABO**. Há três alelos envolvidos: I^A , I^B e I^i , os quais são responsáveis por determinar os antígenos presentes no sangue, que podem ser do tipo A, B ou O, respectivamente. O alelo I^A produz antígenos do tipo A. O alelo I^B gera antígenos do tipo B. O alelo I^i não produz antígenos perceptíveis, sendo os dois primeiros dominantes sobre o último.

Entretanto, indivíduos heterocigotos que apresentam o **genótipo $I^A I^B$** são **codominantes**, porque ambos os alelos produzem os respectivos antígenos (A e B).

O mesmo acontece com o sistema **MN**. Ou seja, indivíduos com genótipo $L^M L^M$ produzem antígenos M. Aqueles com genótipo $L^N L^N$ geram antígenos N. Indivíduos com genótipo heterocigoto $L^M L^N$ produzem ambos os antígenos. O sistema MN, assim como o ABO, consiste no reconhecimento de antígenos específicos na superfície das hemácias, que, ao entrarem em contato com o outro antígeno que não o próprio, podem reagir, o que resulta na aglutinação das hemácias.

GADO SHORTHORN

Essa raça de bovinos apresenta três tipos de pelagem: vermelha, branca e rosilha (ou ruão), que é formado pela mistura das cores vermelha e branca e se refere ao fenótipo do indivíduo heterocigoto.



LYNN STONE/GETTY IMAGES

A coloração rosilha na raça de gados *shorthorn* é um exemplo de herança codominante.

ANEMIA FALCIFORME

A anemia falciforme é uma malformação das hemácias, células responsáveis por transportar oxigênio nos vasos sanguíneos. Em indivíduos com essa doença, as hemácias sofrem deformação em sua estrutura cônica arredondada e adquirem forma de foice (termo que origina o nome dessa condição: *falciforme*). Desse modo, tais hemácias não são capazes de transportar o oxigênio corretamente.

Os alelos Hb^A e Hb^S produzem duas formas diferentes de hemoglobina, as quais se diferem por causa de um único aminoácido. O indivíduo heterocigoto é capaz de produzir ambas as variantes (hemoglobina normal e hemoglobina falciforme), apresentando, assim, herança codominante.

Indivíduos que apresentam genótipo Hb^A/Hb^A têm hemácias normais. Aqueles de genótipo Hb^A/Hb^S não têm anemia, e suas hemácias apresentam formato falciforme apenas sob baixas concentrações de oxigênio. Indivíduos de genótipo Hb^S/Hb^S têm anemia grave, geralmente fatal, e a hemoglobina anormal gera hemácias falciformes.

Uma vantagem dessa anomalia é que indivíduos heterocigotos, por apresentarem quantidade reduzida de hemoglobinas falciformes, são resistentes à malária, uma vez que o protozoário causador da doença não consegue concluir seu ciclo de vida em hemoglobinas com tal formato.



EYE OF SCIENCE / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA

Micrografia eletrônica de varredura colorida que apresenta duas hemoglobinas comuns e uma falciforme. Aumento: 7 400x (imagem 6 × 6 cm). Cores fantasia.

ALELOS MÚLTIPLOS

Na maioria dos exemplos estudados até aqui, apenas dois alelos estavam no mesmo *locus*. Entretanto, pode haver a ocorrência de três ou mais alelos diferentes ocupando um mesmo *locus*, denominados alelos múltiplos, que determinam o padrão de herança chamado polialelia. A grande diversidade alélica para determinados genes decorre de mutações nas cópias dos genes, o que gera proteínas alteradas da proteína original.

Na espécie humana, o sistema ABO é constituído por três alelos, que, ao serem combinados em pares, determinam o tipo sanguíneo do indivíduo. Outro exemplo clássico é a determinação da cor da pelagem em coelhos. Existem quatro fenótipos: selvagem (ou agouti), chinchila, himalaia e albino. Aqueles do tipo selvagem apresentam pelos em tons de marrom ou cinza, os quais são muito comuns na natureza. Os coelhos do tipo chinchila têm pelagem cinza ou prateada. Os do tipo himalaia apresentam pelos brancos com algumas manchas pretas (geralmente nas patas, no focinho e nas orelhas). Os coelhos albinos são totalmente brancos e apresentam olhos vermelhos.



Da esquerda para a direita: coelhos dos tipos selvagem, chinchila, himalaia e albino.

A herança é condicionada por quatro alelos múltiplos:

- **C** determina a pelagem selvagem;
- **c^{ch}** expressa a pelagem chinchila;
- **c^h** determina a pelagem himalaia;
- **c^a** ou **c** expressa a pelagem albina.

A relação de dominância entre os alelos ocorre da seguinte forma:

$$C > c^{ch} > c^h > c^a$$

Com isso, podemos concluir que o gene:

- **C** é dominante sobre os outros;
- **c^{ch}** é dominante sobre os genes **c^h** e **c^a**;
- **c^h** é dominante sobre o gene **c^a**.

Dessa forma, temos as seguintes combinações de genótipos e fenótipos possíveis:

Genótipos	Fenótipos
CC, Cc ^{ch} , Cc ^h , Cc ^a	selvagem
c ^{ch} c ^{ch} , c ^{ch} c ^h , c ^{ch} c ^a	chinchila
c ^h c ^h , c ^h c ^a	himalaia
c ^a c ^a	albino

Imagine que um coelho do tipo chinchila, filho de uma coelha albina, cruzou com uma fêmea do tipo selvagem. Desse cruzamento foi gerado um descendente do tipo himalaia. Qual a probabilidade de esse macho, ao cruzar novamente com a mesma fêmea, originar filhotes do tipo chinchila?

O macho chinchila com certeza recebeu o alelo **c^a** de sua mãe, que é albina, o qual é, portanto, do genótipo **c^{ch}c^a**. Ele cruzou com uma fêmea selvagem e gerou indivíduos himalaias. Sabemos, então, que o genótipo da fêmea é **Cc^h**, uma vez que o alelo responsável pelo tipo himalaia não consta no genótipo do coelho macho. Portanto, os genótipos do macho chinchila e da fêmea selvagem são, respectivamente, **c^{ch}c^a** e **Cc^h**. Assim, os genótipos gerados desse cruzamento são:

	c^{ch}	c^a
C	(selvagem) Cc ^{ch}	(selvagem) Cc ^a
c^h	(chinchila) c ^{ch} c ^h	(himalaia) c ^h c ^a

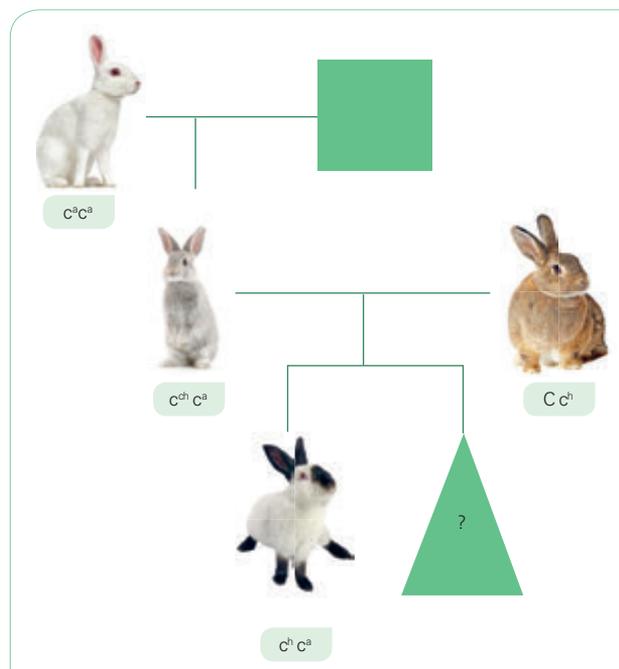
As proporções de prole desse cruzamento são 2 coelhos selvagens, 1 chinchila e 1 himalaia. Uma vez que, entre as 4 possibilidades, apenas 1 delas apresenta o genótipo chinchila, a probabilidade será 1/4, ou seja, 25%.

Em uma série de *n* alelos múltiplos, a quantidade de genótipos diferentes é determinada pela seguinte equação:

$$n(n + 1) / 2$$

Portanto, em uma série de 4 alelos múltiplos, a quantidade de genótipos que podem ser encontrados será de:

$$4(4 + 1) / 2 = 4 \cdot 5 / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ genótipos}$$



Heredograma que ilustra os genótipos e os fenótipos associados ao cruzamento de um macho chinchila com uma fêmea selvagem.

ROTEIRO DE AULA

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA

Padrão de herança em que ocorre:

ausência de dominância entre alelos

Geração F_1 formada pelo fenótipo:

intermediário

Geração F_2 (autocruzamento dos indivíduos da F_1)

Proporções genotípicas

1:2:1

Casos clássicos

Flor maravilha

Galinha andaluza

Raízes de rabanetes

Bovinos com condrodysplasia

Cavalos Appaloosa com pelagem "tipo leopardo"

ROTEIRO DE AULA

CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLOS

Codominância

Heterozigoto apresenta
fenótipo

mesclado

Proporções fenotípica e
genotípica são iguais a

1:2:1

Os dois alelos produzem

proteínas funcionais

Ocorrem em

sistema ABO

resulta nos tipos sanguíneos

sistema MN

produz diferentes antígenos

pelagem dos gados *shorthorn*

resulta em um fenótipo heterozigoto

anemia falciforme

resulta na malformação das hemácias

Alelos múltiplos

Mais de dois alelos no mesmo *locus*

Padrão de herança

polialiela

Ocorrem em

sistema ABO

resulta em quatro

diferentes tipos

pelagem de coelhos

de coelhos

formato das folhas

de trevos

ocasionando diversos
formatos de folhas

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unicentro-PR

C4-H13

Dominância incompleta ou semidominância ocorre quando alelos em heterozigose promovem efeitos diferentes no fenótipo em relação ao estado de homozigose. Em plantas maravilhas, os genótipos abaixo influenciam nos seguintes fenótipos:

BB = flores vermelhas

bb = flores brancas

Bb = flores rosa

Em cruzamento entre uma maravilha vermelha e uma branca, nasceu em F_1 90 maravilhas rosa. Qual a porcentagem de indivíduos da cor vermelha ocorrerá se autofecundarmos duas maravilhas da F_1 ?

- a) 50% c) 100% e) 75%
 b) 25% d) 0%

Como as plantas F_1 são rosa, o genótipo delas é Bb. Ao cruzarmos Bb \times Bb, teremos 25% BB, 50% Bb e 25% bb. Como BB apresenta fenótipo vermelho, a resposta é 25%.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevenindo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

2. Sistema Dom Bosco – Existem variações de padrões de pelagem em cavalos que apresentam dominância incompleta, como é o caso dos cavalos com pelagem “tipo leopardo”, os quais são brancos com algumas manchas. Eles são originados do cruzamento entre cavalos que apresentam muitas manchas na pelagem branca e cavalos completamente brancos, apresentando um fenótipo intermediário. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, calcule a probabilidade de nascerem cavalos com pelagem “tipo leopardo” de pais que apresentam o mesmo fenótipo.

Supondo que indivíduos completamente brancos têm genótipo BB e indivíduos brancos com muitas manchas, genótipo MM, automaticamente, indivíduos com o fenótipo intermediário terão genótipo BM. Ao cruzarmos indivíduos com fenótipo intermediário (BM \times BM), a prole apresentará a seguinte proporção: $\frac{1}{4}$ BB (indivíduos completamente brancos); $\frac{1}{2}$ BM (indivíduos brancos com poucas manchas); $\frac{1}{4}$ MM (indivíduos brancos com muitas manchas). Portanto, a probabilidade de nascerem indivíduos brancos com poucas manchas a partir de parentais que apresentam o mesmo fenótipo é de 50%.

3. UPF-RS (adaptado) – Considere as afirmativas abaixo sobre as possíveis interações entre alelos de um mesmo gene, assinalando com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () Dominância incompleta é o termo utilizado para descrever situações em que os indivíduos heterozigotos apresentam fenótipo intermediário entre os fenótipos dos parentais homozigotos.
 () Quando o fenótipo dos indivíduos heterozigotos for igual ao fenótipo de um dos parentais homozigotos, esse tipo de interação alélica é denominado dominância completa.
 () A proporção dos fenótipos e genótipos na dominância incompleta são diferentes.
 () Na dominância incompleta, ambos os alelos produzem proteínas funcionais.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) V – V – V – V
 b) V – V – F – V
 c) V – F – F – V
 d) V – V – F – F
 e) V – F – V – F

A proporção de fenótipos e genótipos na dominância incompleta é igual (1:2:1). Na dominância incompleta, um alelo produz uma proteína funcional e o outro, uma proteína não funcional, o que origina um fenótipo intermediário dos parentais homozigotos.

4. UPF-RS (adaptado) – Considere as afirmativas abaixo sobre as possíveis interações entre alelos de um mesmo gene, assinalando com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () Dominância incompleta é o termo utilizado para descrever situações em que os indivíduos heterozigotos apresentam fenótipo intermediário entre os fenótipos dos parentais homozigotos.
 () Quando o fenótipo dos indivíduos heterozigotos for igual ao fenótipo de um dos parentais, esse tipo de interação alélica é denominado codominância.
 () Denomina-se polialelia ou alelos múltiplos o fenômeno em que um gene condiciona ou influencia mais de uma característica.
 () Tanto na codominância como na dominância incompleta, todos os alelos produzem proteínas funcionais.
 () Ocorre dominância completa quando ambos os alelos de um locus são expressos.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) V – F – V – F – V
 b) V – F – V – F – F
 c) V – F – F – V – F
 d) F – F – V – F – F
 e) F – F – V – F – V

A segunda afirmativa está incorreta, porque, quando o fenótipo de um indivíduo heterozigoto é igual ao de um dos parentais, temos uma relação de dominância completa. A quarta afirmativa está incorreta, pois, na dominância incompleta, um alelo produz uma proteína funcional, e o outro, uma não funcional. Na codominância, ambos os alelos produzem proteínas funcionais. A quinta afirmativa está incorreta, porque a dominância completa acontece quando apenas um dos alelos de um locus é expresso.

5. UERJ (adaptado) – Em algumas raças de gado bovino, o cruzamento de indivíduos de pelagem totalmente vermelha com outros de pelagem totalmente branca produz sempre indivíduos malhados, com pelagem de manchas vermelhas e brancas.

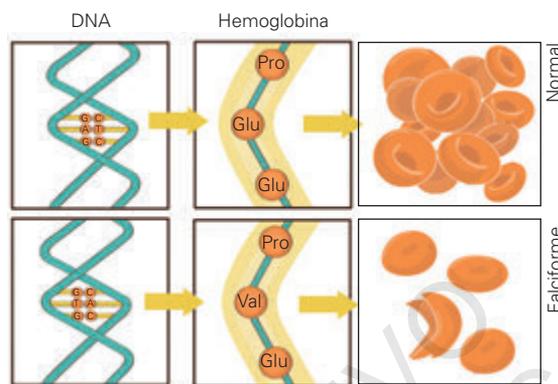
Admita um grupo de indivíduos malhados, cruzados apenas entre si, que gerou uma prole de indivíduos de coloração totalmente vermelha, indivíduos com pelagem malhada e indivíduos com coloração inteiramente branca.

O resultado desse cruzamento é um exemplo do fenômeno genético denominado

- polialelia.
- dominância completa.
- dominância incompleta.
- codominância.**

O exemplo citado se refere à codominância, pelo fato de o indivíduo heterozigoto apresentar ambas as cores na pelagem de forma mesclada e em virtude de o cruzamento entre heterozigotos poder gerar prole com todas as possibilidades de cor.

6. UFSM-RS (adaptado) – 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.



O genótipo de um indivíduo heterozigoto para a doença das células falciformes apresenta dominância em nível molecular entre os alelos da hemoglobina? Explique.

O genótipo heterozigoto não apresenta dominância entre os alelos, pois

os portadores desse genótipo têm glóbulos vermelhos tanto normais

quanto falcêmicos. Ou seja, trata-se de um caso de codominância.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFU-MG (adaptado) – Em relação aos graus de dominância em genética, são feitas as seguintes afirmativas:

- No cruzamento entre ervilhas amarelas e verdes, a geração F1 apresenta cor amarela devido à total dominância do alelo responsável pela cor amarela sobre o alelo responsável pela cor verde.
- No cruzamento entre flores maravilhas vermelhas e brancas, todos os indivíduos da geração F1 são rosa. O intercruzamento dos híbridos F1 produz uma descendência F2 com proporção fenótipo de três vermelhas para uma branca, clássico exemplo de dominância incompleta.
- As galinhas andaluzas são um exemplo de dominância completa, pois o heterozigoto apresenta fenótipo intermediário em relação aos homozigotos, isto é, os heterozigotos possuem plumagem azulada enquanto os homozigotos são pretos ou brancos.
- A proporção encontrada de genótipos com dominância incompleta é de 1:2:1.

Assinale a alternativa que apresenta apenas afirmativas corretas:

- apenas I
- I e IV
- II e IV
- II e III

8. IFRS – Na planta boca-de-leão (*Antirrhinum majus*), a cor das flores é determinada por um par de alelos com dominância incompleta. Indivíduos homozigóticos para os alelos F^VF^V possuem flores vermelhas e os homozigóticos para os alelos F^BF^B possuem flores brancas, porém os heterozigóticos F^VF^B produzem flores cor-de-rosa. A proporção fenotípica dos descendentes a partir do cruzamento de duas plantas com flores cor-de-rosa é

- 100% flores cor-de-rosa.
- 50% flores cor-de-rosa, 50% flores brancas.
- 50% flores cor-de-rosa, 50% flores vermelhas.
- 33,3% flores vermelhas, 33,3% flores cor-de-rosa, 33,3% flores brancas.
- 25% flores vermelhas; 50% flores cor-de-rosa, 25% flores brancas.

9. Vunesp (adaptado) – Considere as seguintes formas de herança:

- As flores maravilha apresentam indivíduos com genótipo VV que definem a cor vermelha. Indivíduos homozigotos com genótipos BB apresentam flores brancas. Os heterozigotos resultantes apresentam genótipos VB e possuem coloração rosa.
- Os cavalos que apresentam pelagem do tipo leopardo são heterozigotos (genótipo Ll), enquanto indivíduos com genótipo ll apresentam coloração branca pura e indivíduos com genótipo LL apresentam coloração branca com muito mais manchas que os heterozigotos.
- Ervilhas lisas podem apresentar o genótipo RR ou Rr e ervilhas rugosas apresentam genótipo rr.

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta:

- I e II são exemplos de dominância incompleta.
- II e III são heranças do tipo dominância incompleta.
- Apenas I é um exemplo de dominância completa.
- Apenas II é um exemplo de dominância incompleta.
- Apenas III é um exemplo de dominância incompleta.

- 10. UFRGS-RS (adaptado)** – Um único par de alelos controla a forma da raiz dos rabanetes, podendo ser oval redonda ou longa. O cruzamento entre esses três tipos apresenta os seguintes fenótipos:

Geração parental	F ₁
redonda × oval	oval e redonda (1:1)
redonda × longa	oval
oval × longa	oval e longa (1:1)
redonda × redonda	redonda
longa × longa	longa

Com base nessas informações, marque a alternativa que apresente a proporção fenotípica no cruzamento entre raízes ovais.

- a) 1 oval : 2 redondas : 1 longa
 b) 3 redondas : 1 longa
 c) 1 redonda : 2 ovais : 1 longa
 d) 3 ovais : 1 longa
 e) 1 redonda : 1 longa
- 11. Sistema Dom Bosco** – A condrodisplasia bovina é uma doença na qual indivíduos de genótipo CC são abortados por malformação da cartilagem; indivíduos com genótipo Cc apresentam membros curtos; indivíduos de genótipo cc são normais. Essa doença tem padrão de herança de dominância incompleta. Ao se cruzarem dois indivíduos que apresentam membros curtos, qual a probabilidade de a prole ter o mesmo fenótipo que os pais?
- a) 1/4
 b) 2/3
 c) 3/4
 d) 0
- 12. Sistema Dom Bosco** – As galinhas do tipo *frizzle* são conhecidas por apresentar as penas encurvadas para cima, dando um aspecto frizado. Quando duas *frizzle* são cruzadas, sempre produzem 50% *frizzles*, 25% normais e 25% com penas que caem, sendo que estes últimos ficam pelados. Cite uma explicação genética para esses resultados, detalhando os genótipos e todos os fenótipos. Depois, suponha que você precise de uma produção em massa de *frizzle* para vender. Qual a melhor alternativa de cruzamentos para que isso ocorra de forma mais eficiente?

- 13. OBB** – A anemia falciforme é uma doença caracterizada pela produção de moléculas de hemoglobina anormais, incapazes de transportar O₂, comprometendo a oxigenação do organismo. Indivíduos com genótipo AA produzem a molécula normal de hemoglobina, não sendo afetados pela doença. Indivíduos com genótipo SS produzem apenas a forma anormal de hemoglobina, sendo afetados pela anemia falciforme. Já indivíduos heterozigotos (AS) apresentam a forma branda da doença, condição conhecida como traço falciforme. A frequência desses alelos varia entre diferentes populações humanas. Em algumas regiões onde a malária é endêmica, a frequência de indivíduos AS é maior quando comparada à de populações humanas onde a malária é incomum. O *Plasmodium vivax*, agente causador da malária, invade as hemácias, onde se reproduz assexuadamente. A presença da hemoglobina anormal dificulta essa etapa do ciclo de vida do plasmódio. Outras células que são afetadas pelo plasmódio são os hepatócitos. O plasmódio é transmitido pelo mosquito *Anopheles* sp.

Considere um casal formado por um homem que não apresenta nenhum traço de anemia falciforme e por uma mulher que é acometida pela forma branda da doença. Este deseja ter filhos, mas a esposa se recusa a engravidar porque acredita que há chance de nascer uma criança afetada pela forma grave da doença. A esposa está

- a) incorreta, pois a anemia falciforme é determinada por um alelo dominante.
 b) correta, pois a anemia falciforme é determinada por um alelo recessivo.
 c) incorreta, porque ocorre dominância incompleta entre os alelos A e S.
 d) incorreta, porque há codominância entre os alelos A e S.
 e) correta, pois a anemia falciforme é determinada por alelos múltiplos.
- 14. PUCCamp-SP** – Imagine que, em um dado mamífero, a cor da pelagem seja determinada por três alelos:

Alelo P - determina pelagem preta.

Alelo C - determina pelagem cinza.

Alelo B - determina pelagem branca.

Considere que o alelo P é dominante sobre o alelo B e que há dominância do alelo C sobre os alelos P e B.

Em um experimento envolvendo cinco cruzamentos, foram utilizados animais com três tipos de pelagem. Os cruzamentos e seus resultados são apresentados na tabela abaixo.

Cruzamento	Macho	Fêmea	Descendentes
I	Branco	Branca	100% brancos
II	Branco	Cinza	50% cinzas e 50% brancos
III	Cinza	Preta	100% cinza
IV	Preto	Preta	75% pretos e 25% brancos
V	Preto	Branca	100% preto

Se machos de pelagem cinza provenientes do cruzamento II forem acasalados com fêmeas de pelagem preta provenientes do cruzamento V, espera-se que entre os descendentes

- 50% tenham pelagem cinza e 50% branca.
- 50% tenham pelagem cinza e 50% preta.
- 75% tenham pelagem cinza e 25% branca.
- 75% tenham pelagem cinza e 25% preta.
- 25% tenham pelagem preta, 50% cinza e 25% branca.

15. Fuvest-SP (adaptado) – O formato das folhas dos trevos é condicionado por herança polialélica, onde existem sete alelos alternativos para um mesmo *locus*, capazes de produzir essa característica. Considerando essas informações, marque a alternativa que represente o número de genótipos que podem existir em uma população onde ocorram esses sete alelos:

- 28 genótipos.
- 56 genótipos.
- 15 genótipos.
- 42 genótipos.
- 49 genótipos.

16. UFRGS-RS (adaptado) – Em uma determinada espécie de peixe, existem três padrões de coloração da nadadeira dorsal: negra, rajada e amarela, resultantes da combinação de três alelos diferentes para um mesmo *locus*. No quadro a seguir, estão representados cruzamentos entre peixes com padrões de coloração e suas respectivas gerações F_1 e F_2 .

Cruzamentos	Geração F_1	Geração F_2 (número de indivíduos)
1. rajada × amarela	100% rajada	50 rajados; 17 amarelos
2. negra × amarela	100% negra	100 negros; 35 amarelos
3. negra × rajada	100% negra	65 negros; 21 rajados

Qual a proporção fenotípica esperada no cruzamento entre o macho da geração F_1 do cruzamento 3 e a fêmea de F_1 do cruzamento 1?

17. UFU-MG – O quadro abaixo apresenta a distribuição de cinco alelos cujas combinações fenotípicas são responsáveis pela cor do olho de uma certa espécie de abelha.

Padrão de coloração	Genótipo
Marrom	$b^m b$
Neve	$b^n b^n$
Pérola	$b^p b^n$
Neve	$b^n b^c$
Amarelo	bb
Creme	$b^c b$
Marrom	$b^m b^p$
Pérola	$b^p b^c$
Creme	$b^c b^c$
Marrom	$b^m b$
Neve	$b^n b$

Com base nas informações do quadro, qual a ordem de dominância dos diferentes alelos?

- $b^p > b^m > b^n > b^c > b$
- $b^m > b^p > b^n > b^c > b$
- $b^m > b^p > b^c > b > b^n$
- $b^p > b > b^c > b^n > b^m$

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Na região nordeste do Brasil, os caprinos são explorados de forma extensivo por serem bem-adaptados ao ambiente semiárido. Foi constatado que o tamanho das orelhas desses animais possui padrão de herança do tipo dominância incompleta. Dessa maneira, indivíduos com genótipo MM apresentam orelhas do tipo rato, medindo até 2,5 cm de comprimento, indivíduos com genótipo EE apresentam orelhas do tipo élfica, medindo em torno de 5 cm, e indivíduos com o genótipo ME apresentam um tamanho intermediário. Um criador do interior do Nordeste deixou que sua cabra, que possui orelhas do tipo élfica, cruzasse com um bode que possui orelhas de rato.

Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/881235/1/6313caracterizacao.pdf>>. Acesso em: nov. 2018.

(Adaptado)

Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta em relação ao fenótipo esperado da prole.

- a) Toda a prole terá orelhas élficas.
- b) Toda a prole terá orelhas de rato.
- c) Toda a prole terá orelhas com tamanho intermediário.
- d) Metade da prole terá orelhas de rato, e a outra metade terá orelhas com tamanho intermediário.
- e) Metade da prole terá orelhas élficas, e a outra metade terá orelhas com tamanho intermediário.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Em 2009, pesquisadores da Universidade Federal de Goiás tentaram determinar o controle genético da resistência do feijoeiro comum ao patótipo FOP 46 do fungo *Fusarium oxysporum*, que faz com que a planta murche rapidamente. Para isso, houve o cruzamento de indivíduos da população de Milionário 1732, que são resistentes, com indivíduos da linhagem FT Tarumã, que são suscetíveis à doença. A geração F1 apresentou 100% de resistência à murcha do fusário, não somente ao patótipo em questão, mas em relação a outros patótipos derivados do mesmo fungo. Ao realizar a autofecun-

dação de indivíduos da geração F1, percebeu-se que 27 indivíduos eram resistentes, 57 eram segregantes, isto é, tinham maior resistência inclusive a outros patótipos, e 36 indivíduos eram suscetíveis à doença.

CÂNDIDA, Daniella V et al. Controle genético da murcha... *Tropical Plant Pathology*. v. 34, n. 6, nov./dez. 2009.

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tpp/v34n6/a03v34n6>>. Acesso em: nov. 2018. (Adaptado)

Com base nos resultados obtidos, a equipe responsável por essa pesquisa concluiu que o padrão de resistência à murcha do fusário é

- a) herança autossômica dominante.
- b) herança autossômica recessiva.
- c) dominância incompleta.
- d) herança ligada ao sexo recessiva.
- e) herança ligada ao sexo dominante.

20. Sistema Dom Bosco

C5-H17

Em 2000, pesquisadores da Universidade de Michigan (EUA) analisaram o genoma de 516 cavalos e identificaram que, em animais heterozigotos (genótipo CN), ocorrem grandes cistos no corpo ciliar temporal ou na periferia da retina. Em indivíduos homozigotos para o alelo C (genótipo CC), há anomalias mais severas, como catarata, megalocórnea e cistos ciliares múltiplos. Já indivíduos homozigotos para o alelo N (genótipo NN) apresentavam visão normal, sem nenhum tipo de anomalia. Em geral, também perceberam que a proporção da doença atingia igualmente ambos os sexos.

Sobre a anomalia citada no texto, trata-se de um tipo de herança

- a) autossômica dominante.
- b) autossômica recessiva.
- c) ligada ao sexo.
- d) de codominância.
- e) de polialelia.

HERANÇAS DOS GRUPOS SANGUÍNEOS: SISTEMA ABO, SISTEMA RH E MN

18

O sangue humano e de muitos outros animais é formado pelo plasma, que é um líquido amarelado composto de água (cerca de 90%) e elementos orgânicos e inorgânicos, como sais minerais, vitaminas, anticorpos, albumina, glicose, hormônios, ácido úrico, enzimas etc. Além disso, nele são encontrados os elementos figurados, que são os glóbulos brancos, as hemácias e as plaquetas. Existem vários sistemas sanguíneos no ser humano, como o sistema Rh e o sistema MN – que serão discutidos no próximo módulo –, e o sistema ABO – que tem grande importância clínica quando se trata de transfusões e transplantes. O conhecimento do tipo sanguíneo evita complicações graves pós-transfusões e transplantes, que podem levar à destruição de hemácias, a lesões renais e até à morte, causada pela incompatibilidade sanguínea.

SISTEMA ABO

O sangue, ao ser centrifugado, é bifásico, ou seja, apresenta uma fase líquida (plasma) e uma sólida (elementos figurados). O **plasma** é composto principalmente de água, mas nele pode haver anticorpos dissolvidos e outras substâncias, como íons, proteínas, hormônios e glicose. Os **elementos figurados** são classificados em três tipos: eritrócitos, leucócitos e trombócitos.

Os **eritrócitos**, também chamados de glóbulos vermelhos ou hemácias, são células anucleadas ricas em hemoglobina responsáveis pelo transporte de oxigênio e parte do gás carbônico e também pela coloração vermelha do sangue. As membranas das hemácias possuem algumas proteínas capazes de reconhecer partículas estranhas, denominadas **antígenos**.

Os **leucócitos** (ou glóbulos brancos) são células nucleadas que atuam no combate às infecções e na defesa do organismo. Parte deles é responsável pela fagocitose de organismos invasores e estranhos e por sua eliminação por meio da digestão por enzimas e radicais livres. Outra parte é encarregada de produzir os anticorpos (ou imunoglobulinas), que também participam da defesa do organismo contra agentes estranhos e invasores.

Os trombócitos (também denominados plaquetas) são elementos desprovidos de núcleo, assim como as hemácias, produzidos na medula óssea e presentes no sangue, que atuam no processo de coagulação sanguínea.

No início do século XX, o médico Karl Landsteiner (1868-1943) observou que, ao misturar o sangue de pessoas diferentes, em alguns casos havia formação de grumos grosseiros.

A formação desses grumos no sangue ocorre devido à presença de antígenos, agentes estranhos ou não próprios do organismo e que fazem parte do sangue. Esses antígenos foram denominados **aglutinogênios A e B**.

Com base na presença ou ausência dos aglutinogênios A e B, o sangue foi dividido em quatro grupos. Cada grupo apresenta diversas formas de **anticorpos** (aglutininas) que atuam contra os aglutinogênios, formando os grumos sanguíneos.

- Sistema ABO
- Transfusões sanguíneas
- Sistema Rh
- Sistema MN

HABILIDADES

- Descrever os componentes do sangue e a estrutura da hemácia.
- Explicar os padrões de herança genética do sistema ABO.
- Compreender a incompatibilidade entre os tipos sanguíneos.
- Aplicar os conhecimentos genéticos e de herança sanguínea nas áreas forenses e de parentesco.
- Compreender como foi descoberto o sistema Rh e como é feita sua determinação genética.
- Explicar como funciona a incompatibilidade entre grupos sanguíneos do sistema Rh.
- Identificar e explicar fenômenos relacionados ao sistema Rh, como efeito Bombaim e eritroblastose fetal.
- Compreender o que é o sistema MN, sua determinação genética e sua importância clínica.

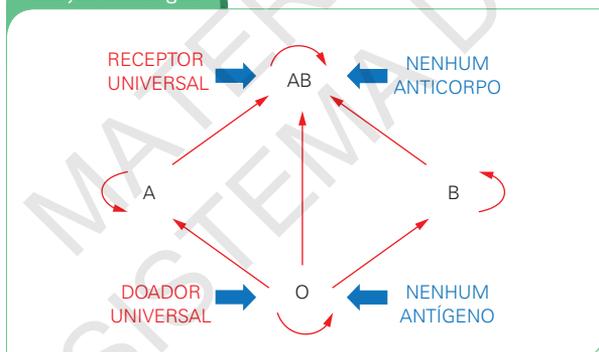
Grupo sanguíneo	A	B	AB	O
Hemácia				
Antígenos (aglutinogênios)	antígeno A	antígeno B	antígenos A e B	nenhum
Anticorpos no plasma (aglutininas)	anti-B	anti-A	nenhum	anti-A e anti-B

Representação esquemática dos grupos sanguíneos baseada nas aglutininas e nos aglutinogênios presentes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Indivíduos com sangue tipo A têm antígeno A e produzem anticorpos anti-B. Indivíduos com sangue tipo B apresentam antígeno B e produzem anticorpos anti-A. Já aqueles com sangue tipo AB apresentam antígenos A e B e, portanto, não produzem nenhum anticorpo. E pessoas com sangue tipo O não têm nenhum antígeno e produzem anticorpos anti-A e anti-B.

Essa classificação foi denominada **sistema ABO**. Landsteiner propôs que, em uma transfusão sanguínea, pode ocorrer reação entre o aglutinogênio do doador e as aglutininas do receptor. No caso de uma pessoa com sangue tipo A (que produz anticorpos anti-B) receber sangue de uma pessoa do tipo B, haveria reação em que os anticorpos atacariam o sangue recebido, uma vez que o identificaria como algo estranho na circulação e, assim, o sangue sofreria uma **aglutinação**. Com base nessa relação entre os antígenos e os anticorpos identificada nos experimentos de Landsteiner foi estabelecido um quadro de transfusões de sucesso possíveis.

Doação de sangue



O grupo O é doador universal, e o grupo AB é receptor universal, uma vez que não há antígenos e anticorpos, respectivamente, em nenhum desses tipos sanguíneos. As setas vermelhas indicam as trocas possíveis de sangue entre os grupos sanguíneos.

Indivíduos com sangue tipo AB podem doar sangue para indivíduos do mesmo grupo e receber sangue do mesmo grupo e de indivíduos de todos os outros tipos sanguíneos sem que haja complicações. Isto porque não produzem anticorpos, isto é, não apresentam aglu-

tininas contra nenhum aglutinogênio e, por isso, são denominados **receptores universais**.

Indivíduos que têm sangue tipo O podem receber sangue de indivíduos do mesmo grupo e, por não apresentarem antígenos, podem doar tanto para indivíduos do mesmo grupo quanto para de todos os outros e, por isso, são denominados **doadores universais**. Isso também é possível porque a produção de anticorpos é muito reduzida no grupo sanguíneo O. Ao entrar em contato com o sangue A ou B, seus anticorpos são diluídos rapidamente na circulação do receptor, não apresentando risco de destruição para as hemácias, desde que o volume transfundido não ultrapasse 450 ml. Acima desse volume, a concentração de anticorpos pode ser maior, gerando severas consequências. Portanto, o ideal é que, caso haja necessidade de uma transfusão, esta ocorra sempre entre indivíduos do mesmo tipo sanguíneo.

Por sua vez, indivíduos que apresentam sangue tipo A podem receber sangue de pessoas dos grupos O e A e doar para as dos grupos AB e A. E os que apresentam sangue tipo B podem receber sangue de pessoas dos grupos O e B e doar para as dos grupos AB e B.

DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SISTEMA ABO

A produção de aglutinogênios (ou antígenos) A e B é determinada por alelos múltiplos, sendo eles: I^A , I^B e i . Conforme discutido no módulo anterior, existe uma relação de dominância dos alelos I^A e I^B sobre o alelo i e de codominância entre os alelos I^A e I^B . O alelo I^A determina a produção do aglutinogênio A, e o alelo I^B determina a produção do aglutinogênio B. O alelo i , quando em homozigose, determina apenas que os aglutinogênios não sejam produzidos.

Genótipo	Fenótipo
$I^A I^A$, $I^A i$	sangue A
$I^B I^B$, $I^B i$	sangue B
$I^A I^B$	sangue AB
ii	sangue O

Genótipos e fenótipos do sistema sanguíneo ABO.

É importante levar em conta que indivíduos com sangue tipo AB (genótipo $I^A I^B$) não são capazes de gerar uma prole com indivíduos de sangue tipo O (genótipo ii), e indivíduos do tipo O não conseguem gerar descendentes tipo AB. Por meio desses padrões de herança genética, é possível identificar crianças desaparecidas, solucionar casos de suspeita de adoção ou paternidade, trocar de bebês em maternidades e solucionar casos criminais com base no sistema ABO.

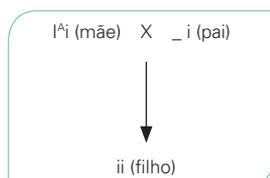
Suponha que uma mulher do tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$) teve um filho. Entretanto, houve troca de bebês na maternidade, e o bebê que ficou com ela tem tipo sanguíneo O (genótipo ii). Com base no tipo sanguíneo de ambos, é possível afirmar que o bebê não

é filho dessa mulher, uma vez que ela não tem alelos i , e sim alelos I^A e I^B , podendo gerar, portanto, apenas filhos de tipo sanguíneo A ou B.

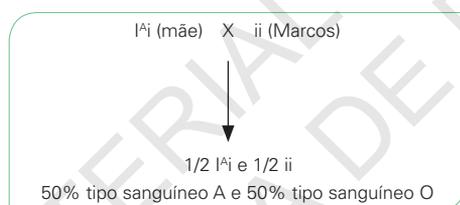
A mesma lógica pode ser empregada, por exemplo, em testes de paternidade. Suponha que uma mulher com tipo sanguíneo A (genótipo $I^A i$) teve um filho com o tipo sanguíneo O (genótipo ii) e que a paternidade esteja sendo contestada. Entre os possíveis pais, estão: João, tipo sanguíneo B, com genótipo homocigoto; Marcos, tipo sanguíneo O; e José, tipo sanguíneo AB.

	Tipo sanguíneo	Genótipo
Mãe	A	genótipo $I^A i$
Filho	O	genótipo ii
João	B	genótipo $I^B I^B$
Marcos	O	genótipo ii
José	AB	genótipo $I^A I^B$

Para solucionar esse caso, basta realizar os cruzamentos entre os genótipos, conforme mostrado a seguir:



Entre os genótipos dos supostos pais, percebe-se que apenas Marcos apresenta o alelo i , capaz de originar um bebê com sangue tipo O. Vale lembrar que, para a formação de um indivíduo, um alelo é proveniente do pai e o outro da mãe. Portanto, a probabilidade de tipos sanguíneos entre esse casal é:



É importante esclarecer que testes de paternidade de processos judiciais são válidos somente em conjunto com outras análises genéticas, como o sequenciamento de pares de bases do genoma de regiões compartilhadas entre pais e filhos, em especial regiões de microssatélites.

Outro exemplo de área larga utilização do sistema ABO é a genética forense. Suponha que, em determinado local, tenha sido encontrado um cadáver com tipo sanguíneo AB e que também havia resquícios de sangue tipo O. É razoável, nesse caso, considerar que esta amostra de sangue seja de um assassino, de uma testemunha ou de alguém que estivesse com a vítima. A investigação chegou ao número de 3 suspeitos. Se um deles tiver tipo sanguíneo O, as evidências indicam que ele esteve na cena do crime, podendo ser portanto o assassino. Logo, o tipo sanguíneo pode ajudar a solucionar casos criminais como esse.

Vale lembrar que o genótipo do indivíduo é descoberto por meio da tipagem sanguínea. Para ter a confirmação da participação de um indivíduo em um crime, existem outros métodos, que serão apresentados em módulos posteriores, como a análise de DNA do suspeito e a coleta da impressão digital.



Imagem representando amostra de sangue sendo coletada para análise forense.

A tipagem sanguínea é um teste realizado para a determinação sanguínea das pessoas, bastante utilizado nos centros de hemoterapia e em transfusões sanguíneas. Esse procedimento é feito por profissionais da saúde e consiste em, primeiro, depositar duas gotas de sangue sobre uma lâmina de vidro; em uma delas, adiciona-se uma gota com anticorpos (aglutinina) anti-A, e, na outra, anti-B (os anticorpos são retirados de coelhos sensibilizados com sangue A ou B, purificados e utilizados no teste). Se houver aglutinação sanguínea ao adicionar o anticorpo anti-A, significa que há antígenos A na hemácia do indivíduo e, portanto, ele tem sangue do tipo A. Do mesmo modo, se houver aglutinação sanguínea ao adicionar o anticorpo anti-B, significa que há antígenos B na hemácia do indivíduo, tendo ele sangue tipo B. Se ambas as gotas de sangue aglutinarem ao interagir com os anticorpos, significa que existem os dois tipos de antígenos e, assim, o indivíduo apresenta tipo sanguíneo AB. Se nenhuma das gotas aglutinar ao interagir com os anticorpos, não há antígenos na hemácia e, assim, sabe-se que o indivíduo tem sangue tipo O.

Sangue antes do teste	Anti-A	Anti-B	Tipo sanguíneo
			sangue A
			sangue B
			sangue AB
			sangue O

Tipagem sanguínea e seus possíveis resultados para identificar os tipos sanguíneos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

EFEITO BOMBAIM OU FALSO "O"

É um fenômeno raro em que indivíduos dos grupos sanguíneos A, B ou AB apresentam o fenótipo do grupo sanguíneo O. Esse fenômeno foi relatado pela primeira vez em 1952 na cidade de Bombaim, na Índia, e por isso recebeu este nome. Pessoas que são falso O não têm o alelo H, responsável pela codificação da enzima ativa que atua na formação do antígeno H. Esse antígeno é transformado em antígeno A ou B. Na ausência do antígeno H (indivíduo com genótipo hh), não há formação dos antígenos na superfície das hemácias, mesmo que os alelos I^A e I^B estejam presentes e, por isso, exibem o fenótipo O.

Pessoas com anti-H – fenótipo Bombaim que recebem sangue com antígeno H (sangue do grupo O, por exemplo) –, correm grandes riscos de sofrer reação hemolítica aguda. Portanto, pessoas com fenótipo Bombaim recebem sangue apenas de doadores que também sejam deficientes para a enzima H. Para detectar se um indivíduo apresenta fenótipo Bombaim, basta aplicar anticorpo anti-H em uma gota de sangue durante a tipagem. Se houver aglutinação, o indivíduo é um O verdadeiro, com genótipo ii. Caso contrário, o indivíduo é um falso O, podendo ter o genótipo I^AI^A, I^AI^B, I^BI^B, I^Ai ou I^Bi.

LEITURA COMPLEMENTAR

Sangue raro presente em apenas 11 famílias brasileiras salva bebê na Colômbia

Em 2017, um bebê da cidade de Medellín (Colômbia) foi salvo graças a transfusão realizada com o sangue de um doador cearense. O sangue doado é de um tipo raro chamado "hh" ou fenótipo Bombaim. A paciente é uma menina de um ano e dois meses que apresentava sangramento digestivo grave.

O sangue raro foi identificado em um jovem cearense de 23 anos. No Brasil, apenas 11 famílias possuem esse tipo de sangue, de acordo com a Secretaria da Saúde. Na Índia a prevalência desse fenótipo é de um a cada 10 mil e na Europa, um a cada um milhão. Ser eficiente para a enzima H não provoca doenças, mas se for necessário realizar uma transfusão sanguínea, pessoas só poderão receber sangue de outros doadores que também são deficientes para a enzima H. De acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), o Ceará é o primeiro estado brasileiro a realizar o envio internacional de sangue raro para doação.

Disponível em: <<https://g1.globo.com/ceara/noticia/sangue-raro-presente-em-apenas-11-familias-brasileiras-salva-bebe-na-colombia.ghtml>>.

Acesso em: jan. 2019.

TRANSFUSÕES SANGUÍNEAS

A transfusão sanguínea é um procedimento no qual há transferência de sangue, de algum elemento figurado ou de plasma de um doador para o receptor, na tentativa de aumentar a capacidade de transporte de

oxigênio, equilibrar o volume sanguíneo, aumentar a imunidade ou corrigir algum distúrbio no processo de coagulação sanguínea. Portanto, pessoas que sofreram algum acidente, perderam um volume muito grande de sangue ou tiveram algum tipo de anemia necessitam de transfusão sanguínea.

Para ser doador, é preciso que o indivíduo esteja em pleno estado de saúde e, por isso, são realizados muitos exames e um breve questionário sobre hábitos de vida. Pessoas que têm ou tiveram hepatite, câncer, asma grave, malária, aids, algum distúrbio hemorrágico ou alguma cardiopatia são desqualificadas como doadoras permanentemente, ou seja, jamais poderão doar sangue, uma vez que são consideradas um potencial de risco para o receptor.

SISTEMA RH

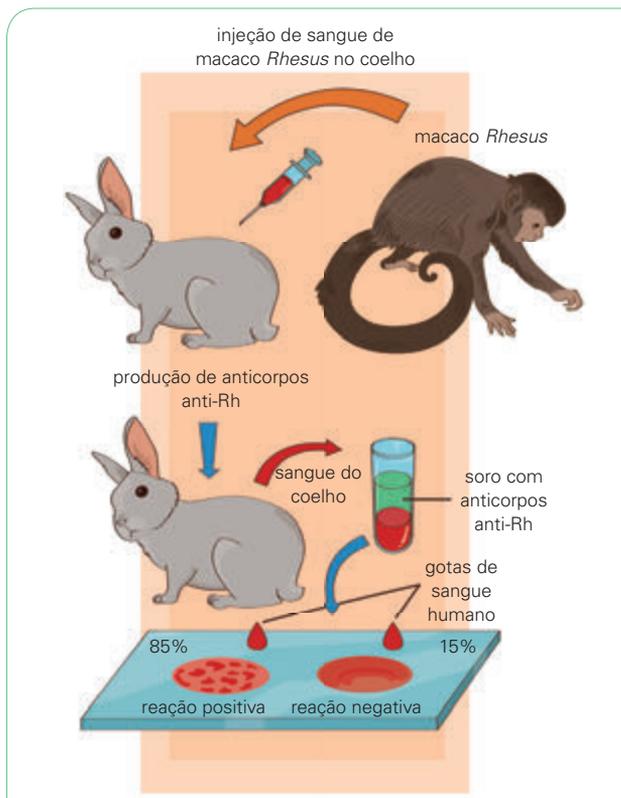
Na década de 1940 os cientistas Karl Landsteiner (1868-1943) e Alexander Solomon Wiener (1907-1976) desenvolveram um experimento no qual injetaram sangue de macacos do gênero *Rhesus* em coelhos e isolaram um anticorpo que reagiu com uma proteína presente na membrana das hemácias. Esse anticorpo foi, então, denominado fator Rh, em referência à espécie de macaco na qual foi encontrado, atualmente denominada *Macaca mullata*.

Os pesquisadores colocaram os anticorpos desses coelhos em contato com o sangue humano e notaram que 85% das amostras aglutinavam, o que significa que aqueles também apresentavam o mesmo antígeno que os macacos, sendo, portanto, considerados Rh positivos, enquanto o restante, em que não houve aglutinação (15%), foi denominado Rh negativo por não apresentar o antígeno. O fator Rh manifesta-se apenas quando o indivíduo entra em contato com o antígeno, o que significa que o fator não está presente ou mesmo livre no organismo de modo natural. Pelo contrário, ele é produzido apenas quando entra em contato com o antígeno e induz reações adversas somente em um segundo contato.

A descoberta do fator Rh foi importante para compreender por que algumas transfusões sanguíneas eram incompatíveis, mesmo quando os envolvidos haviam realizado o teste do sistema ABO. Pessoas Rh-, por não produzirem o fator Rh, identificam-no como agente estranho e, assim, produzem anticorpos anti-Rh quando entram em contato com sangue do tipo Rh+. Ao receberem sangue positivo em uma segunda transfusão, ocorre uma reação antígeno-anticorpo, o que provoca aglutinação do sangue.

Atualmente, sabe-se que não se trata de apenas um fator, mas de um grupo de fatores, razão pela qual se costuma falar em **sistema Rh**.

Pessoas com sangue tipo **Rh+** apresentam fator Rh na membrana das hemácias, enquanto as que têm sangue tipo **Rh-** não apresentam esse fator na membrana das hemácias.



Representação do experimento de Landsteiner e Wiener que propiciou a descrição do fator Rh. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fenótipos possíveis do fator Rh			
Fenótipo	Genótipos	Aglutinogênio (antígeno)	Aglutina (anticorpo)
Rh ⁺	RR, Rr	fator rh	não produz anti-rh
Rh ⁻	Rr	ausência do fator rh	pode produzir anti-rh

Em transfusões, pessoas com fator Rh⁺ podem doar sangue apenas para outros indivíduos que têm o mesmo antígeno, recebendo sangue tanto de Rh⁺ quanto Rh⁻; e pessoas que apresentam fator Rh⁻ podem doar sangue para indivíduos com tipo sanguíneo semelhante e também para quem possui fator Rh⁺, mas podem receber apenas de pessoas Rh⁻.



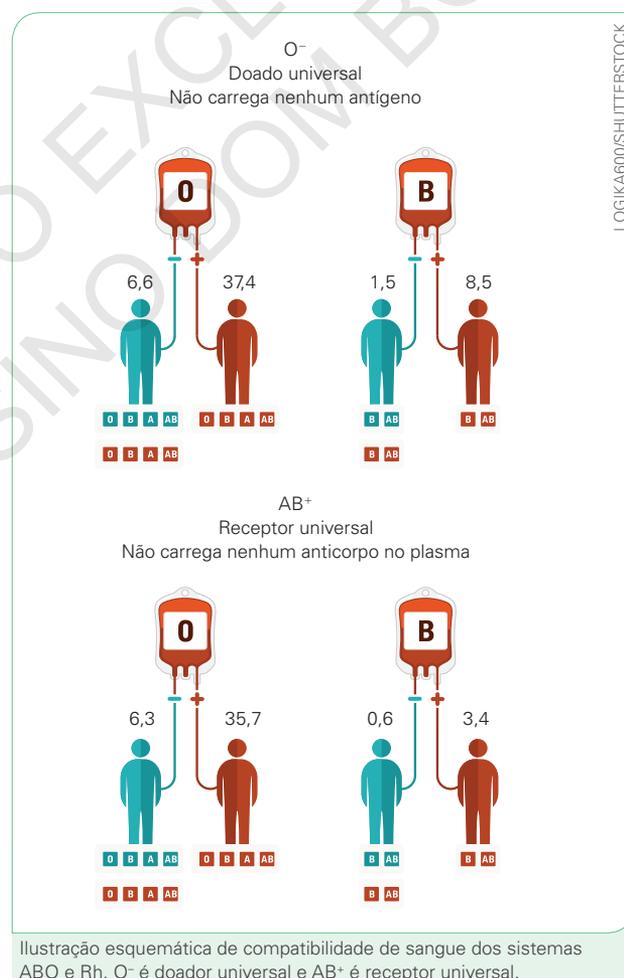
Esquema das possíveis doações de sangue entre indivíduos, comparando apenas o sistema Rh.

Levando em conta o sistema Rh, existe somente um tipo de sangue considerado como doador universal: o sangue tipo O negativo (O⁻), por não conter antígenos

do sistema ABO nem do sistema Rh. Do mesmo modo, pessoas com sangue tipo AB⁺ são consideradas receptoras universais, por não produzirem anticorpos anti-A, anti-B e anti-Rh.

Para realizar qualquer transfusão, é necessário que doadores e receptores realizem testes para ambos os sistemas sanguíneos por meio da tipagem sanguínea. Para isso, são colocadas três gotas do sangue em uma lâmina de vidro e, então, adiciona-se uma gota de soro anti-A, uma gota de soro anti-B e uma gota de soro anti-Rh em cada uma delas. Se ocorrer aglutinação, por exemplo, de sangue misturado com anticorpos anti-B e anti-Rh, a pessoa apresenta sangue tipo B⁺.

A seguir, é possível observar o quadro de compatibilidade sanguínea, considerando os sistemas ABO e Rh. O desenho da gota de sangue indica compatibilidade sanguínea entre doador e receptor.



DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SISTEMA RH

A determinação genética do sistema Rh ainda não está muito bem elucidada, principalmente pelo fato de que novos alelos e combinações genotípicas continuam sendo descobertos. De forma geral, é possível dizer que o sistema Rh é determinado por três alelos (C, D, E),

sendo o alelo D o dominante e mais imunogênico e, por isso, para fins didáticos, é o único alelo considerado. No entanto, é importante lembrar que o sistema Rh, assim como o sistema ABO, é um caso de alelos múltiplos, de modo que o tipo de herança é autossômico dominante. Portanto, o alelo D (ou R) determina a produção do fator Rh, enquanto o alelo d (ou r) determina a ausência do fator Rh. O quadro a seguir apresenta os possíveis genótipos e fenótipos do sistema Rh.

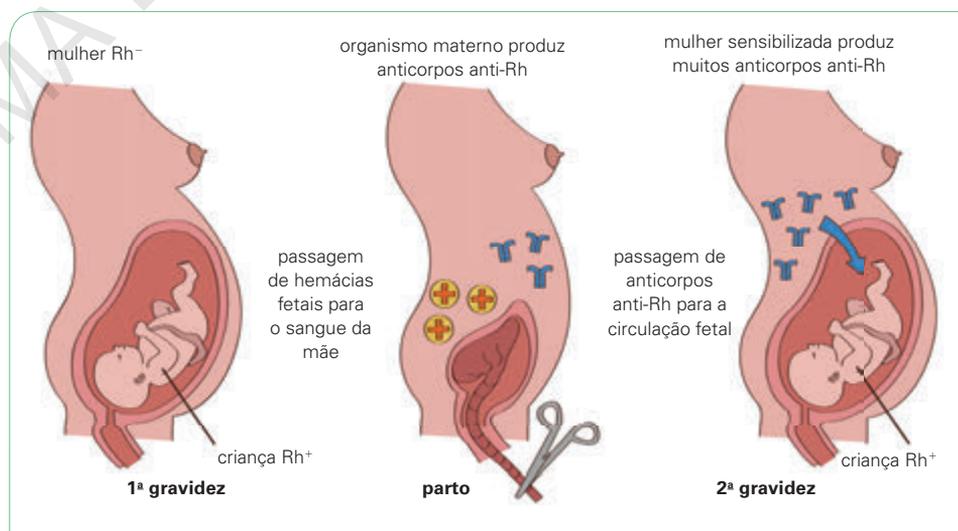
Genótipo	Fenótipo
RR	Rh ⁺
Rr	Rh ⁺
rr	Rh ⁻

ERITROBLASTOSE FETAL

Também conhecida como doença hemolítica do recém-nascido (DHRN), é caracterizada pela destruição das hemácias fetais (hemólise) por anticorpos da mãe. Os anticorpos maternos reconhecem o antígeno produzido pelas hemácias do feto como um corpo estranho e mobilizam o sistema imunológico a fim de destruí-las, o que pode resultar, no feto, em anemia, icterícia (pele e mucosas com coloração amarelada), elevação da frequência cardíaca, aumento do tamanho do baço e fígado, circulação de hemácias jovens no sangue e, em casos mais graves, inchaço (edema) generalizado. Essa doença costuma afetar igualmente ambos os sexos.

Ocorre obrigatoriamente quando o feto é Rh⁺, a mãe, Rh⁻, de modo que o feto apresenta antígenos Rh em suas hemácias, enquanto na mãe estes são ausentes. Durante a gestação, a quantidade de hemácias fetais que passam para a circulação materna não é significativa, mas quando a placenta se desloca, ou até mesmo durante o parto, um pequeno volume de sangue fetal reflui para o corpo da mãe, tornando-a sensibilizada ao antígeno. Assim, será produzido soro anti-Rh, que permanece na circulação da mãe, mesmo após a gestação.

A sensibilização da mãe é o primeiro contato do organismo com o antígeno do feto e a deflagração de uma resposta do sistema imunológico por meio da produção de anticorpos específicos. Essa resposta é guardada em células de memória do sistema imunológico de modo que, na ocasião de um segundo contato com os antígenos, seja produzida uma resposta muito mais rápida e intensa que no primeiro contato com os antígenos. Por esse motivo, em geral, a primeira criança nasce normal, e os sinais e sintomas da doença só se manifestam a partir da segunda gestação e as consequências são mais graves à medida que a sensibilização da mãe e a produção de anticorpos aumentam.



Os anticorpos anti-Rh produzidos pelo sistema imunológico da mãe na primeira gestação são produzidos de maneira mais rápida e intensa na segunda. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Entretanto, caso o pai seja Rh⁺ heterozigoto (genótipo Rr), a probabilidade de ocorrência da doença cai para 50% em razão da presença de um alelo r, responsável pela ausência do fator Rh. Isso acontece porque 50% dos genótipos produzidos pelo casal serão Rh⁺, e 50%, Rh⁻, conforme mostrado no cruzamento a seguir:

		Mãe	
		r	r
Pai	R	Rr (Rh ⁺)	Rr (Rh ⁺)
	r	rr (Rh ⁻)	rr (Rh ⁻)

Atualmente, na maioria dos hospitais, mulheres Rh⁻ com filhos Rh⁺ recebem injeções de anticorpos anti-Rh padronizados para destruir as hemácias Rh⁺ que a criança passa à mãe e, assim, é evitada a sensibilização do sangue materno. Dessa forma, as hemácias transmitidas são logo destruídas pela ação do soro, o que impede que o sistema imunológico da mãe produza células de memória para os antígenos do bebê. Assim, ela não é capaz de produzir anticorpos anti-Rh e, na próxima gestação, o feto não corre risco de desenvolver a doença. O recomendado é que a mãe receba a injeção até 72 horas após o parto da criança Rh⁺. A incompatibilidade natural entre os tipos sanguíneos do sistema ABO reduz os casos de eritroblastose fetal.

Por exemplo, se a mãe tiver sangue tipo O, e a criança, tipo sanguíneo A, o sangue materno produz anticorpo anti-A, destruindo as hemácias do feto que chegam à corrente sanguínea. Isso evita a produção de anticorpos do sistema Rh pela mãe e automaticamente não permite que a doença ocorra.

SISTEMA MN

Em 1927, Landsteiner descobriu outros dois antígenos na membrana dos glóbulos vermelhos, os quais chamou de **M** e **N**. Ao serem aplicados em cobaias, eles produziam anticorpos anti-M e anti-N, respectivamente.

Esses antígenos não provocam nenhuma reação de incompatibilidade durante as transfusões, mas podem ser úteis na identificação de pessoas ou em investigações de paternidade. A presença desses antígenos é determinada por um par de alelos (L^M e L^N), no qual o tipo de herança é a codominância. Os genótipos apresentam os seguintes fenótipos, conforme quadro a seguir:

Genótipo	Fenótipo
L ^M L ^M	Grupo M
L ^M L ^N	Grupo MN
L ^N L ^N	Grupo N

ROTEIRO DE AULA

HERANÇAS DO GRUPO SANGUÍNEO: SISTEMA ABO

SANGUE

plasma

composto de água, anticorpos, íons, glicose etc

Elementos figurados

Leucócitos ou glóbulos brancos

Trombócitos ou plaquetas

eritrócitos, glóbulos vermelhos ou hemácias

Podem ter anticorpos denominados

aglutininas

Podem ter antígenos na membrana denominados

aglutinogênios

TIPOS SANGUÍNEOS

A

Possui aglutinogênio

A

e aglutinina

anti-B

B

Possui aglutinogênio

B

e aglutinina

anti-A

AB

Possui aglutinogênio

A e B

e aglutinina

nenhuma

Receptor universal

O

Possui aglutinogênio

nenhum

e aglutinina

anti-A e anti-B

Doador universal

ROTEIRO DE AULA

HERANÇA DOS GRUPOS SANGUÍNEOS

Sistema RH

Sangue com fator Rh⁺ não produz:

_____ aglutinina (anticorpo) anti-Rh _____

possui antígenos Rh na membrana das hemácias

Sangue tipo Rh⁻

pode produzir aglutinina anti-Rh

_____ não possui antígenos Rh na membrana das hemácias _____

Eritroblastose fetal

tipo sanguíneo da mãe

_____ Rh⁻ _____

tipo sanguíneo do feto

_____ Rh⁺ _____

mãe produz anti-Rh, que pode destruir as hemácias do segundo filho

Sistema MN

Sangue tipo M

produz antígenos

_____ M _____

alelo responsável

_____ L^M _____

Sangue tipo N

produz antígenos:

_____ N _____

alelo responsável

_____ L^N _____

Sangue tipo MN

produz antígenos

_____ M e N _____

alelo(s) responsáveis

_____ L^M e L^N
L^N e L^N _____

tipo de herança:

_____ codominância _____

Importância forense

_____ identificação de pessoas _____

investigação de paternidade

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **UFRGS-RS** – Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que aparecem.

Pessoas que pertencem ao grupo sanguíneo A têm na membrana plasmática das suas hemácias _____ e no plasma sanguíneo _____. As que pertencem ao grupo sanguíneo O não apresentam _____ na membrana plasmática das hemácias.

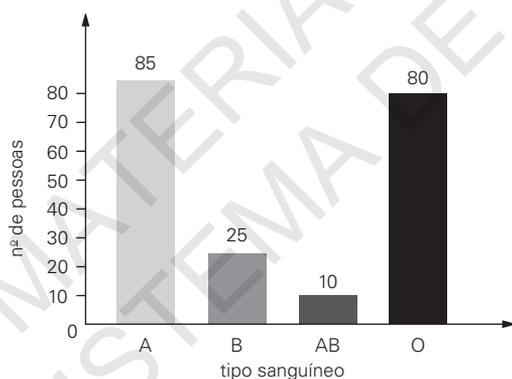
- a) aglutinina anti-B – aglutinina anti-A e anti-B – aglutinogênio
b) aglutinogênio A – aglutinina anti-B – aglutinogênio
 c) aglutinogênio B – aglutinogênio A e B – aglutinina anti-A e anti-B
 d) aglutinina anti-A – aglutinogênio B – aglutinina anti-A e anti-B
 e) aglutinina anti-A e anti-B – aglutinogênio A – aglutinina anti-B

Pessoas do grupo sanguíneo A apresentam aglutinogênio A na membrana das hemácias e aglutinina anti-B no plasma. Indivíduos do grupo sanguíneo O não possuem aglutinogênios na membrana das hemácias, mas apresentam aglutininas anti-A e anti-B.

2. **PUC-SP**

C4-H13

Na figura abaixo é mostrado o número de diferentes tipos sanguíneos do sistema ABO, em 200 pessoas analisadas:



Após análise dos dados, pode-se afirmar que as hemácias de apenas

- a) 90 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinogênios A e B.
 b) 25 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinina anti-A.
 c) 85 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutinogênio A.
d) 80 dessas pessoas poderiam ser doadas para um receptor portador de aglutininas anti-A e anti-B.

A alternativa A está incorreta, porque indivíduos com aglutinogênios A e B são do tipo sanguíneo AB e recebem sangue dos grupos AB, A, B e O, ou seja, podem receber de todas as pessoas (200 indivíduos). A alternativa B está incorreta, porque quem apresenta aglutinina anti-A são pessoas do tipo sanguíneo B e recebem sangue apenas dos grupos B e O, totalizando 105 indivíduos (25 + 80). A alternativa C está incorreta, porque quem tem aglutinogênio A são pessoas do tipo sanguíneo A e, portanto, recebem sangue apenas dos grupos A e O, totalizando 165 indivíduos (85 + 80). A alternativa D está correta, porque quem apresenta aglutinina anti-A e anti-B são pessoas do tipo sanguíneo O e recebem sangue somente do grupo O, totalizando 80 indivíduos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

3. **Sistema Dom Bosco** – Jorge possui tipo sanguíneo AB, e Raquel possui tipo sanguíneo A e pretendem ter um bebê. O pai de Raquel tem tipo sanguíneo O. Qual é a probabilidade de o bebê ter o mesmo tipo sanguíneo que o avô materno?

Jorge apresenta genótipo $I^A I^B$. Raquel é do tipo A, então possui o alelo

I^A . Como seu pai é do tipo O (genótipo ii), ela tem obrigatoriamente

o alelo i , sendo seu genótipo $I^A i$. Ao realizarmos o cruzamento entre

esses genótipos, temos: $I^A I^B \times I^A i = 25\% I^A I^A$, $25\% I^A i$, $25\% I^B i$, 25%

$I^B i$. Portanto, não há como o bebê ter tipo sanguíneo O, pois não é

possível haver um genótipo ii tendo em vista os genótipos parentais.

4. **UEMG** – Ana Júlia está superpreocupada porque ouviu dizer que, sendo ela Rh^- , e seu namorado Emílio Rh^+ , não poderiam ter filhos, porque senão estes nasceriam com a doença hemolítica eritroblastose fetal, que os mataria logo após o nascimento.

Do ponto de vista biológico, o melhor aconselhamento que poderia ser dado para Ana Júlia seria:

- a) Não se preocupe porque a informação está totalmente incorreta. O risco de nascer bebês com a doença hemolítica eritroblastose fetal só existiria se vocês dois fossem Rh^- .
 b) Realmente, o que você ouviu dizer está correto e vocês não podem ter filhos, porque todos eles apresentariam a doença hemolítica eritroblastose fetal e morreriam durante a gestação ou logo após o parto.
 c) Não se preocupe porque a informação está completamente errada. O risco de nascer criança com a doença hemolítica eritroblastose fetal não está relacionado com o fator Rh, mas com o fator ABO, podendo ocorrer quando o pai for do grupo AB e a mãe do grupo O.
d) Realmente, esta situação favorece a ocorrência de eritroblastose fetal em bebês que sejam Rh^+ . Porém, vocês podem perfeitamente se casar e ter filhos, desde que seja feito um pré-natal adequado, com acompanhamento médico, que deverá tomar todas as medidas de profilaxia ou tratamento, se for necessário.

A eritroblastose fetal ocorre quando a mãe é Rh⁻ e o filho é Rh⁺. As células sanguíneas do filho passam para a corrente sanguínea materna, sensibilizando-a, de forma que a mãe começa a produzir anti-Rh. Se ela engravidar novamente e o bebê for Rh⁺, o anti-Rh produzido por ela poderá atacar as células sanguíneas do bebê. Entretanto, a doença pode ser prevenida se na primeira gravidez a mãe tomar uma injeção com anti-Rh para destruir as células sanguíneas do bebê que estão em sua corrente sanguínea, de forma que ela não será sensibilizada e não produzirá anti-Rh.

5. UNESP (adaptado) – Sílvio e Fátima têm três filhos, um deles fruto do primeiro casamento de um dos cônjuges. Sílvio é de tipo sanguíneo AB Rh⁻ e Fátima de tipo O Rh⁺. Dentre os filhos, Paulo é de tipo sanguíneo A Rh⁺. Mário é de tipo B Rh⁻ e Lucas é do tipo AB Rh⁺. Com base nessas informações, quem é o filho originado no primeiro casamento? Filho de quem? Explique como você chegou a essa conclusão.

Lucas apresenta sangue tipo AB+ (genótipo IAIB, R₊). Sabendo que

Sílvio tem genótipo IAIB, rr; e Fátima, IiIi, R₋, sabemos que Lucas não

pode ser filho de Fátima, uma vez que ela produz apenas gametas do

tipo Ii. Sendo assim, ele é filho de Sílvio, do primeiro casamento.

6. UFJF-MG – Um casal (mãe tipo sanguíneo O negativo e pai tipo sanguíneo desconhecido) teve um filho A positivo. O segundo filho, todavia, apresentou sintomas de eritroblastose fetal e faleceu. O exame de sangue da criança resultou no tipo B positivo. Baseando-se nessas informações, qual tipo sanguíneo abaixo seria o do pai?

- a) AB negativo. **d) AB positivo.**
 b) B positivo. e) O positivo.
 c) A negativo.

Como os filhos apresentaram tipos sanguíneos A e B e a mãe é O, o pai é AB. Se a mãe é Rh⁻, então o alelo do Rh⁺ é proveniente do pai.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fatec-SP – Durante a Idade Média, era comum o procedimento chamado transfusão de braço a braço, no qual uma pessoa tinha uma de suas artérias do braço conectada diretamente, por meio de um tubo, à veia de outra pessoa. Muitos pacientes faleciam ao receber a transfusão de sangue dessa forma, devido ao desconhecimento, na época, das complicações relacionadas à incompatibilidade de sangues no sistema ABO.

Considere que um médico desse período estivesse com um paciente necessitado urgentemente de uma transfusão de sangue e que havia cinco indivíduos à disposição para fazer doação, via transfusão braço a braço. Suponha que os tipos sanguíneos das pessoas envolvidas nessa situação eram os seguintes:

Paciente: tipo sanguíneo A

Indivíduo 1: tipo sanguíneo O

Indivíduo 2: tipo sanguíneo AB

Indivíduo 3: tipo sanguíneo B

Indivíduo 4: tipo sanguíneo B

Indivíduo 5: tipo sanguíneo A

Se o médico tivesse de escolher aleatoriamente um dos cinco indivíduos para realizar a transfusão, a probabilidade de que o paciente recebesse um sangue compatível, com relação ao sistema ABO, seria de:

- a) 20% c) 60% e) 100%
 b) 40% d) 80%

8. Sistema Dom Bosco – Janaína sempre suspeitou ser filha adotiva, por não ser parecida fisicamente com seus familiares. Em uma das aulas de Biologia no colégio, ela aprendeu a calcular a probabilidade genética dos grupos sanguíneos e, baseando-se nisso, tentou sanar sua dúvida. Ela possui tipo sanguíneo O, enquanto seus pais possuem tipo sanguíneo A. Entretanto, seus

irmãos Anderson, Pedro e Telma possuem, respectivamente, os tipos sanguíneos O, A e A. A partir dessas informações, justifique se Janaína é filha adotiva ou não.

9. UEFS-BA (adaptado) – Após o erro do funcionário de uma maternidade, ocorreu uma troca nas pulseiras de identificação dos recém-nascidos que se encontravam no berçário. A filiação de uma recém-nascida do tipo A é reivindicada por cinco casais, sendo que todas as supostas mães possuem sangue tipo O. Considerando-se os cinco casais quanto aos grupos sanguíneos paterno e materno, é correto afirmar que o pai deverá ter

- a) sangue tipo O.
 b) sangue tipo B, com genótipo homocigoto.
 c) sangue tipo B, com genótipo heterocigoto.
 d) sangue tipo AB.

10. UFSM-RS – Para os grupos sanguíneos do sistema ABO, existem três alelos comuns na população humana. Dois (alelos A e B) são codominantes entre si e o outro (alelo O) é recessivo em relação aos outros dois. De acordo com essas informações, pode-se afirmar:

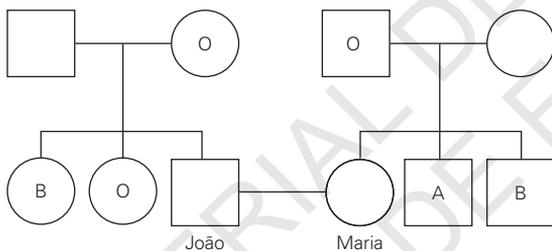
- I. Se os pais são do grupo sanguíneo O, os filhos também serão do grupo sanguíneo O.
- II. Se um dos pais é do grupo sanguíneo A e o outro é do grupo sanguíneo B, todos os filhos serão do grupo sanguíneo AB.
- III. Se os pais são do grupo sanguíneo A, os filhos poderão ser do grupo sanguíneo A ou O.

Está(ão) correta(s):

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas I e III.
- e) I, II e III.

11. Sistema Dom Bosco – Em caso de falta de estoque de outros grupos sanguíneos em um hemocentro, o sangue tipo O pode ser recebido por qualquer outro tipo de grupo sanguíneo. Como isso é possível? Explique.

12. UNESP – O heredograma mostra os tipos sanguíneos do sistema ABO de alguns familiares de João e Maria.



A probabilidade de João e Maria terem uma criança com o mesmo tipo sanguíneo da mãe de Maria é:

- a) 1/8
- b) 1/2
- c) 1/4
- d) 1/16
- e) 1/32

13. UNESP (adaptado) – Dois casais têm, cada um, quatro filhos. Quando consideramos os tipos sanguíneos do sistema ABO, os filhos do casal Rocha possuem tipos diferentes entre si, assim como os filhos do casal Silva. Em um dos casais, marido e mulher têm tipos sanguíneos diferentes, enquanto no outro casal, marido e mulher têm o mesmo tipo sanguíneo. Um dos casais tem um filho adotivo, enquanto os quatro filhos do outro casal são biológicos. Um dos casais teve um par de gêmeos bivitelinicos, enquanto os quatro filhos do outro casal têm idades diferentes. Considerando-se os tipos sanguíneos do sistema ABO, cite os possíveis genótipos de cada casal e indique qual casal tem um filho adotivo.

14. UFPA – A eritroblastose fetal, ou doença hemolítica perinatal, consiste na destruição das hemácias do feto (Rh^+) pelos anticorpos da mãe (Rh^-) que ultrapassam lentamente a placenta. Devido a uma destruição maciça das hemácias, o indivíduo torna-se anêmico, e a hemoglobina presente no plasma é transformada no fígado em bilirrubina. Em relação a essa condição, é correto afirmar que

- a) a mãe (Rh^-) só produzirá anticorpos anti-Rh se tiver uma gestação de uma criança Rh^+ com passagem de hemácias para a circulação materna através da placenta.
- b) a mãe (Rh^-) poderá produzir anticorpos anti-Rh devido à gestação de uma criança Rh^+ cujas hemácias passaram para a circulação materna, comumente, por ocasião do parto, ou se receber uma transfusão de sangue incompatível (Rh^+).
- c) a mãe produzirá anticorpos anti-Rh que podem atingir todos os seus filhos Rh^+ , incluindo o feto que primeiro induziu a produção desses anticorpos.
- d) no caso de mulheres Rh^- que já tenham tido uma gestação anterior Rh^+ e estejam novamente grávidas, é ministrada uma dose da vacina Rhogam por volta da 28ª semana de gestação e outra até 72h após o parto, o que evita, assim, que essa criança, caso seja Rh^+ , tenha eritroblastose fetal.
- e) o tratamento de bebês que nascem com o problema pode incluir transfusão total de sangue. O bebê recebe sangue Rh^+ , que já não terá mais suas hemácias destruídas pelos anticorpos da mãe presentes no recém-nascido.

15. Mackenzie-SP (adaptado) – Uma mulher pertencente ao tipo sanguíneo A^- casa-se com um homem pertencente ao tipo B^+ , que nasceu com eritroblastose fetal. O casal tem uma filha pertencente ao tipo O, que também nasceu com eritroblastose fetal. Se essa menina se casar com um homem que possua o mesmo genótipo que o pai, qual a probabilidade de ela ter uma criança doadora universal?

16. UFAM – O sistema ABO de grupos sanguíneos, assim como o sistema Rh, corresponde a diferentes tipos de aglutinogênios encontrados nas hemácias. O sistema ABO envolve alelos múltiplos, formados por 3 genes, I^A , I^B e i , de modo que os tipos sanguíneos A, B, AB e O correspondem, respectivamente, aos genótipos: $I^A I^A$ ou $I^A i$; $I^B I^B$ ou $I^B i$; $I^A I^B$ e ii . O sistema Rh envolve um par de alelos com dominância completa, sendo os genótipos possíveis o RR, Rr e rr. Acerca do sistema ABO e Rh, analise as afirmativas a seguir.

- I. Do cruzamento de pais com tipo sanguíneo A^- e AB^+ , os possíveis tipos sanguíneos dos filhos serão apenas: A^- , B^- ou AB^+ .
- II. Quando um dos pais tem sangue AB, jamais um dos filhos poderá ter sangue O e, quando os pais têm sangue O, jamais os filhos terão sangue do tipo A, B ou AB.
- III. Do cruzamento de pais A^- e O^+ , um dos filhos poderá ser do tipo O^- , que é considerado o doador universal.
- IV. Quando mães Rh^- geram filhos Rh^+ , há passagem de sangue do filho para a mãe, de modo que o sangue da mãe passa a produzir anticorpos anti-Rh. Se em uma próxima gravidez o filho for Rh^+ , os anticorpos maternos irão atacar as hemácias do feto, desencadeando uma doença chamada eritroblastose fetal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I, II e III estão corretas.

- b) Somente as afirmativas I, II e IV estão corretas.
 c) Somente as afirmativas I e III estão corretas.
 d) Somente as afirmativas II, III e IV estão corretas.
 e) Todas as afirmativas estão corretas.

17. UEM-PR – Um homem, portador de aglutinina anti-A, anti-B e Rh negativo, casou-se com uma mulher que não porta aglutinogênio nas hemácias e é Rh positivo. Sabe-se que a mãe dessa mulher não é portadora do fator Rh. Qual a probabilidade desse casal ter uma menina sem aglutinogênio nas hemácias e portadora do fator Rh?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

Antes de técnicas modernas de determinação de paternidade por exame de DNA, o sistema de determinação sanguínea 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) $I^A I^A$ c) $I^B I^B$ e) ii
 b) $I^A i$ d) $I^B i$

19. Enem

C4-H13

Em um hospital havia cinco lotes de bolsas de sangue, rotulados com os códigos I, II, III, IV e V. Cada lote continha apenas o tipo sanguíneo não identificado. Uma funcionária do hospital resolveu fazer uma identificação utilizando dois tipos de soro, anti-A e anti-B. Os resultados obtidos estão descritos no quadro.

Código dos lotes	Volume de sangue (L)	Soro anti-A	Soro anti-B
I	22	não aglutinou	aglutinou
II	25	aglutinou	não aglutinou

III	30	aglutinou	aglutinou
IV	15	não aglutinou	não aglutinou
V	33	não aglutinou	aglutinou

Quantos litros de sangue eram do grupo sanguíneo do tipo A?

- a) 15
 b) 25
 c) 30
 d) 33
 e) 55

20. Enem

C4-H13

Uma mulher deu à luz seu primeiro filho e, após o parto, os médicos testaram o sangue da criança para a determinação de seu grupo sanguíneo. O sangue da criança era do tipo O^+ . Imediatamente, a equipe aplicou na mãe uma solução contendo anticorpos anti-Rh, uma vez que ela tinha o tipo sanguíneo O^- . Qual é a função dessa solução de anticorpos?

- a) Modificar o fator Rh do próximo filho.
 b) Destruir as células sanguíneas do bebê.
 c) Formar uma memória imunológica na mãe.
 d) Neutralizar os anticorpos produzidos pela mãe.
 e) Promover a alteração do tipo sanguíneo materno.

19

SEGUNDA LEI DE MENDEL E DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

- Análise de cruzamentos
- Relação entre meiose e segunda lei de Mendel
- Probabilidade na segunda lei de Mendel
- Cromossomos sexuais
- Sistema de determinação cromossômica do sexo

HABILIDADES

- Interpretar como Mendel chegou às conclusões que levaram à proposição da segunda lei.
- Explicar o conceito de segregação independente de alelos existentes em *loci* diferentes.
- Solucionar problemas genéticos relacionados à probabilidade de adquirir determinadas características simultaneamente.
- Citar os principais sistemas de determinação cromossômica do sexo de diversos organismos e o efeito do ambiente em relação a eles.
- Identificar diferenças entre os sistemas de determinação cromossômica do sexo.
- Calcular a probabilidade de determinados fenótipos sexuais surgirem em moscas-da-fruta.
- Compreender o que é corpúsculo de Barr e a importância dele na área forense.

ANÁLISE DE CRUZAMENTOS

Depois de avaliar detalhadamente algumas características de ervilhas (cor e forma da semente, cor e forma da vagem, cor e posição das flores, tamanho do caule), Mendel passou a estudar dois pares de características de cada vez a fim de compreender se uma poderia estar ligada à outra de alguma maneira. Além de analisar a cor, Mendel considerou a textura das ervilhas. Neste caso, elas eram classificadas em lisas ou rugosas em relação à textura e verdes ou amarelas quanto à cor.

Mendel cruzou ervilhas puras amarelas lisas com ervilhas puras verdes rugosas. Como resultado, na geração F₁, obteve 100% de ervilhas amarelas lisas e concluiu que o caractere amarelo era completamente dominante sobre o caractere verde, assim como o caractere liso era completamente dominante sobre o caractere rugoso.

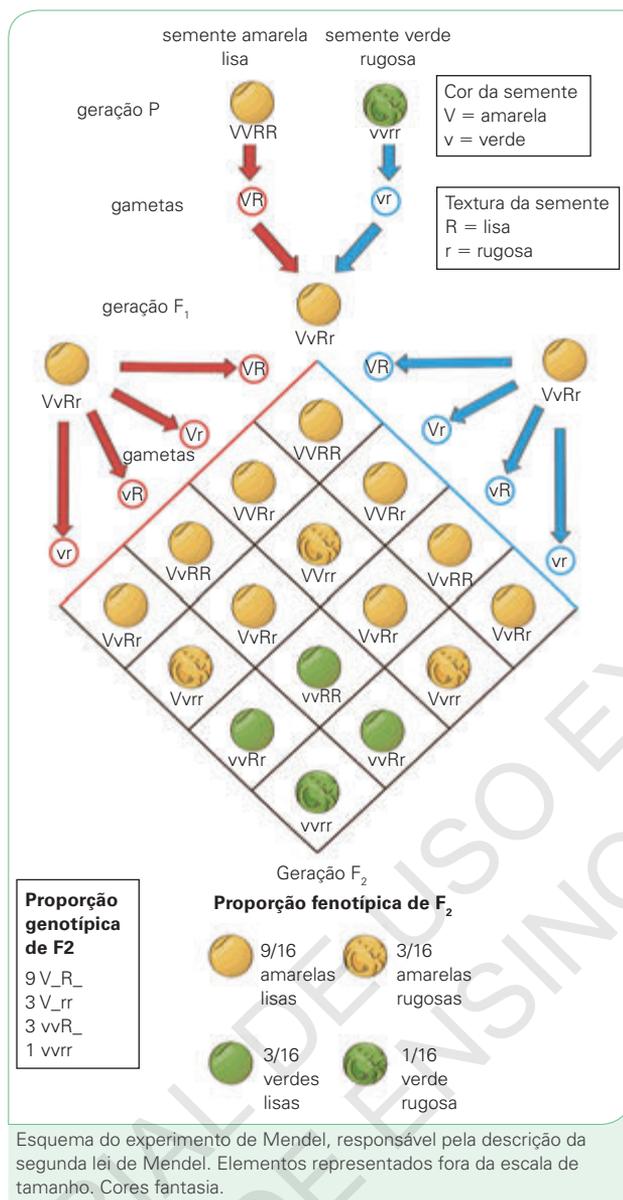
No autocruzamento dos indivíduos da geração F₁, o resultado obtido na geração F₂ foi o seguinte:

9/16 ervilhas amarelas lisas;
3/16 ervilhas verdes lisas;
3/16 ervilhas amarelas rugosas;
1/16 ervilha verde rugosa.

Mendel realizou esse experimento diversas vezes e observou que a proporção das características era sempre em torno de **9:3:3:1**. Isso comprovou que sementes lisas podem ser verdes ou amarelas, assim como rugosas podem apresentar a mesma coloração e **uma característica não depende da outra para se manifestar**.

Em outras palavras, isso significa que o par de fatores responsável por uma característica **segrega independentemente** do outro par de fatores responsável pela outra característica. Esta teoria ficou conhecida como segunda lei de Mendel.

Considere que o par de fatores responsável pela cor das ervilhas seja **V** para amarela e **v** para verde e que o par de fatores para a textura das ervilhas seja **R** para lisa e **r** para rugosa. Como a geração parental era composta de ervilhas puras amarelas lisas e verdes rugosas, temos os respectivos fatores em cada indivíduo: **VVRR** e **vvrr**, isto é, cada indivíduo era duplo homocigoto. As linhagens parentais puras foram cruzadas, gerando gametas **VR** e **vr**, o que gerou indivíduos duplo **heterocigotos** ou **di-híbridos**. O esquema a seguir ilustra os indivíduos gerados no cruzamento.

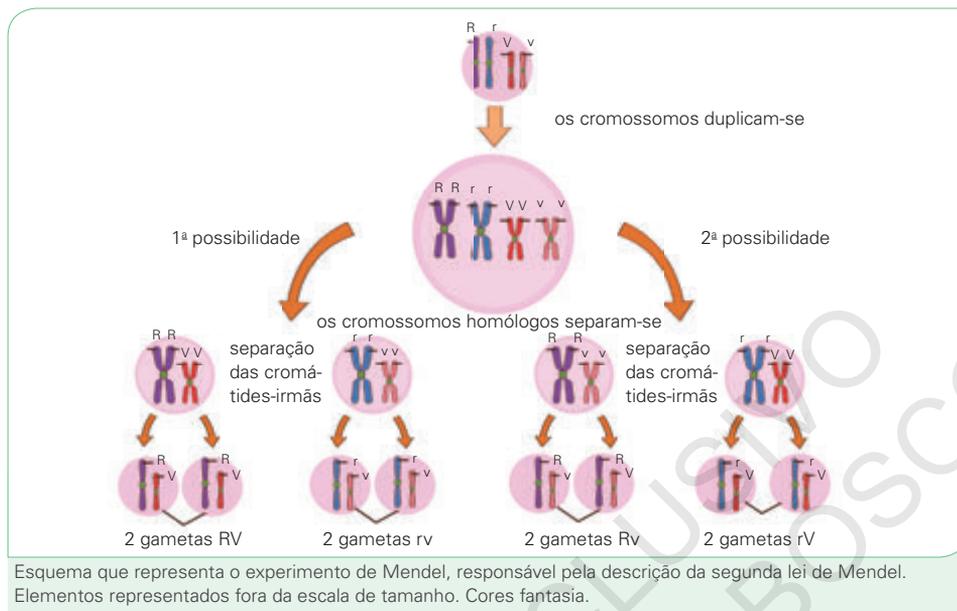


Relação entre meiose e segunda lei de Mendel

Na segunda lei de Mendel, a meiose é importante para explicar as gerações produzidas. Sendo assim, a célula diploide inicial de um indivíduo da geração F₁ com genótipo **VvRr** sofre duplicação na interfase e cada par de alelos está em um par de cromossomos homólogos. Com a primeira divisão da meiose, tanto os pares de cromossomos homólogos quanto os alelos se separam na anáfase I.

Na segunda divisão, em que há distribuição independente das cromátides-irmãs na metáfase II e separação na anáfase II, há duas possibilidades de combinação para a formação de gametas: uma cromátide com o alelo **R** pode segregar com uma cromátide com o alelo **V** ou outra cromátide com o alelo **v**, podendo formar gametas **RV** ou **Rv**. Do mesmo modo, uma cromátide com o alelo **r** pode segregar com uma cromátide com o alelo **V** ou outra cromátide com o alelo **v**, formando gametas **rV** ou **rv**.

Dessa forma, são geradas quatro possibilidades de gameta que, ao serem fecundadas entre si, tornam 16 combinações possíveis, conforme identificadas na geração F₂.



Probabilidade na segunda lei de Mendel

A proporção fenotípica observada por Mendel foi 9:3:3:1. Essa proporção indica que, para o número 9, temos a ocorrência de dois fenótipos dominantes no mesmo indivíduo. Dos fenótipos dominantes das características em questão, 3 indica a proporção ocorrida de um fenótipo dominante e um recessivo, e 1 indica dois fenótipos recessivos no mesmo indivíduo. Para compreender como se deu essa proporção, basta avaliar as características separadamente.

	Cor	Textura
Geração P	VV × vv	RR × rr
Geração F₁	4/4 Vv	4/4 Rr
Autofecundação	Vv × Vv	Rr × Rr
Geração F₂	1/4 VV; 1/2 Vv/ 1/4 vv	1/4 RR; 1/2 Rr; 1/4 rr

Proporção

(3 amarelas : 1 verde)

(3 lisas : 1 rugosa)

(3 V₋ : 1vv)

(3 R₋ : 1rr)

A proporção de cada característica é de 3 indivíduos com o fenótipo dominante para 1 com o fenótipo recessivo. Portanto, como as características segregam sem depender uma da outra, para se obter a probabilidade, por exemplo, de uma ervilha ser lisa e amarela ao mesmo tempo, é preciso multiplicar a probabilidade de se obter a semente com característica lisa pela probabilidade de a semente apresentar a cor amarela. Dessa forma, se a probabilidade de uma ervilha ser lisa é 3/4 e a probabilidade de ser amarela é a mesma, basta fazer a seguinte operação:

$$3/4 \times 3/4 = 9/16$$

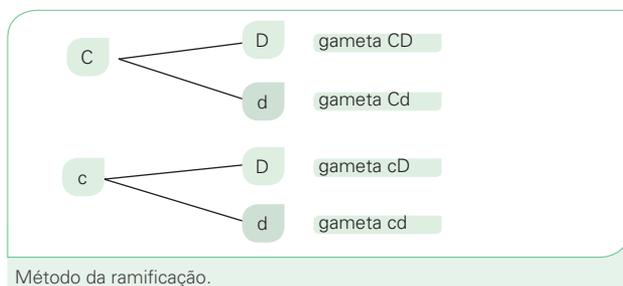
Para ervilhas amarelas e rugosas, teremos: $3/4 \times 1/4 = 3/16$.

Para ervilhas verdes e lisas, teremos: $1/4 \times 3/4 = 3/16$.

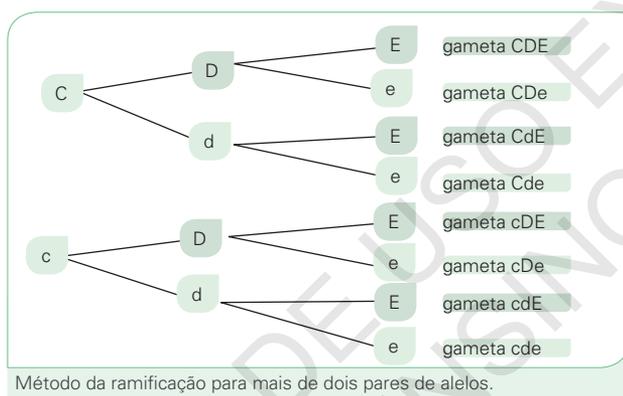
Para ervilhas verdes e rugosas, teremos: $1/4 \times 1/4 = 1/16$.

CALCULANDO OS TIPOS DE GAMETA

Os gametas que um indivíduo pode gerar são calculados pelo **método das ramificações**. Considere um indivíduo com o genótipo CcDd. Como cada par de alelos segrega de forma independente, um gameta terá o alelo C, e o outro, o alelo c. Cada um desses alelos pode combinar com D ou com d, originando, assim, quatro possibilidades de gameta: CD, Cd, cD e cd, conforme esquema a seguir:



Para mais de dois pares de alelos, basta seguir o mesmo método, porém ramificando para cada caractere que estiver sendo trabalhado. Veja o exemplo a seguir, considerando um indivíduo com o genótipo CdDdEe:



A fórmula abaixo descreve o cálculo do número de tipos de gameta possíveis com base na quantidade de gametas diferentes que **dependem do número de pares de alelos em heterozigose**.

$$2^n$$

sendo **n** o número de pares heterozigotos.

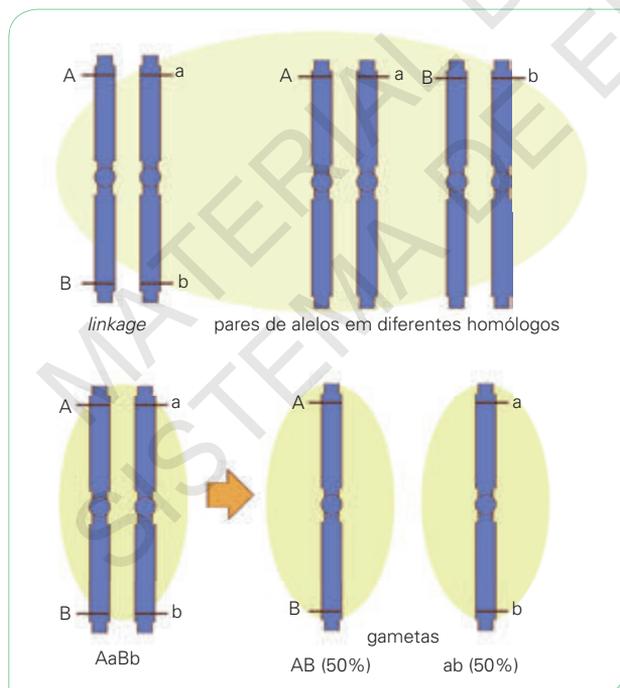
Genótipo	Número de pares heterozigotos	Tipo de gameta (2n)
AAbbccDDeeFF	0	$2^0 = 1$
aaBBCCDdEEff	1	$2^1 = 2$
AABbCcddEeff	3	$2^3 = 8$
AaBbCcDdEeFf	6	$2^6 = 64$

Na primeira lei de Mendel foram analisadas características que são originadas pela expressão gênica de um par de alelos referente a um mesmo *locus*, o que chamamos de **mono-hibridismo**. Na segunda lei de Mendel são analisadas duas, três ou mais características simultâneas que se expressam de maneira independente e as denominamos, respectivamente, como **di-hibridismo**, **tri-hibridismo** ou **poli-hibridismo**.

A análise de segregação de características independentes mostra um panorama mais elaborado de previsão de possíveis combinações de um organismo como um todo. Assim, é possível prever não só as características das técnicas de manejo genético, que exigem a consideração de aspectos mais amplos que a manipulação de apenas uma característica, como também realizar análises e previsão de doenças ou características físicas múltiplas decorrentes de uma única doença.

EXCEÇÕES DA SEGUNDA LEI DE MENDEL

De acordo com a segunda lei de Mendel, os genes são segregados de forma independente quando estão em pares de cromossomos homólogos diferentes. Por isso, as características fenotípicas se manifestam sem depender umas das outras, formando gametas diferentes entre si. Quando os genes se encontram em um mesmo cromossomo, eles não são segregados independentemente, uma vez que estão ligados entre si e caminham juntos para a formação de gametas. Esse fenômeno é denominado *linkage* ou **ligação gênica** ou **ligação fatorial**. A única forma de os genes ligados não serem transmitidos juntos é eles estarem nos mesmos cromossomos, mas em trechos relativamente distantes. Devido ao **crossing over** durante a meiose, isto é, quando ocorre a troca de pedaços entre os cromossomos homólogos, um gene pode ser trocado com seu homólogo e o outro permanecer no mesmo braço cromossômico, dependendo da região em que houve a permuta.



Esquema de diferenciação entre genes ligados e genes que segregam independentemente e a formação de gametas pelos genes ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Para reconhecer um caso de *linkage* é importante avaliar a quantidade de gametas que podem ser formados pelo par de cromossomos.

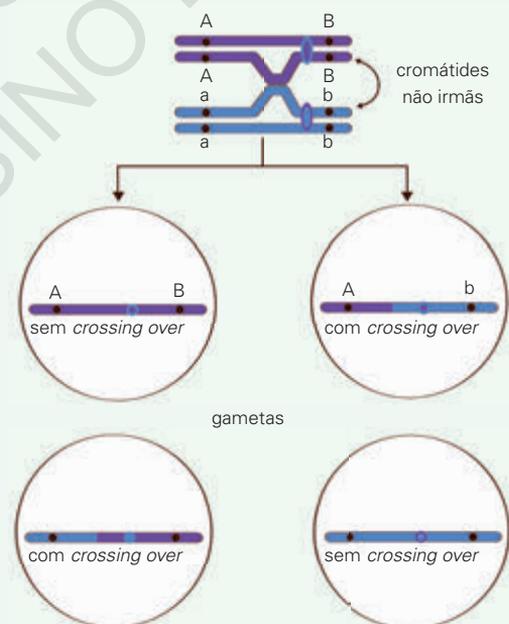
Situação 1: O indivíduo AaBb produz os seguintes gametas: 1/4 AB; 1/4 Ab; 1/4 aB; 1/4 ab.

Situação 2: O indivíduo BbCc produz os seguintes gametas: 1/2 BC; 1/2 bc.

Situação 3: O indivíduo CcDd produz os seguintes gametas: 40% CD, 10% Cd; 10% cD; 40% cd.

Na **situação 1**, foram produzidos quatro gametas diferentes, todos na mesma proporção. Logo, é um exemplo de segregação independente. Na **situação 2**, apenas dois gametas foram originados na mesma proporção, exemplificando um *linkage*. Por fim, na **situação 3**, há quatro gametas originados em proporções diferentes, também um caso de *linkage*, porém com o diferencial da ocorrência de uma permutação ou *crossing over*.

linkage de dois genes em um cromossomo com crossing over



Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/linkage.htm>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

Cromossomos sexuais

O sexo biológico de um indivíduo é definido geneticamente, e os genes responsáveis por essa determinação estão localizados nos **cromossomos sexuais**, chamados **alossomos** ou **heterocromossomos**. Como já estudamos no módulo anterior, o tamanho do cromossomo X é muito maior do que do cromossomo Y.

ALFRED PASIEKA / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



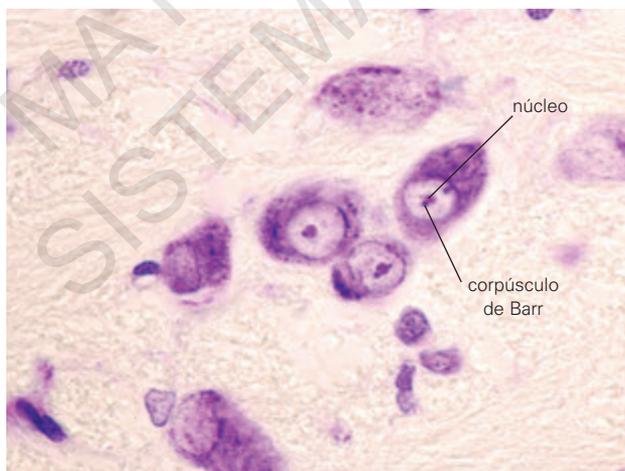
Ilustração digital dos cromossomos sexuais X (esquerda) e Y (direita). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CROMATINA SEXUAL OU CORPÚSCULO DE BARR

Em 1949, o pesquisador canadense Murray L. Barr (1908-1995) e alguns colaboradores, ao estudarem células nervosas de felinos fêmeas, encontraram durante a interfase uma massa de cromatina na periferia dos núcleos das células. Essa massa de cromatina, no entanto, não estava presente em células nervosas de indivíduos machos de felinos.

Em 1961, a geneticista inglesa Mary Frances Lyon (1925-2014) propôs a ideia, conhecida mais tarde como hipótese de Lyon, de que apenas um cromossomo X é ativo na célula interfásica e que os demais, independentemente da quantidade existente, são inativados e apresentam formato condensado. Esses cromossomos foram então chamados de **cromatina sexual** ou **corpúsculo de Barr**.

JOSE LUIS CALVO MARTIN & JOSE ENRIQUE GARCIA-MAURINO MUZQUIZ/ISTOCK



Microscopia óptica de células neuronais. As setas indicam o núcleo e o corpúsculo de Barr. Aumento desconhecido.

A hipótese de Lyon esclareceu a dúvida de muitos pesquisadores que concordavam com a ideia da existência de um mecanismo que atenuasse um dos cromossomos X do sexo feminino, pois foi constatado que mulheres homocigóticas apresentavam diversas similaridades genéticas com homens hemizigóticos (XO). O corpúsculo de Barr representa a condensação, e a consequente inativação parcial, de um dos cromossomos X. A hipótese foi corroborada ao se descobrir que apenas 1 cromossomo X é necessário para o metabolismo normal das células das fêmeas.

A quantidade de corpúsculos de Barr em uma célula depende do número de cromossomos X existentes nela. Em um indivíduo normal do sexo feminino, por exemplo, espera-se que haja apenas 1 corpúsculo de Barr, uma vez que esse indivíduo apresenta 2 cromossomos X em suas células, de modo que apenas um deles não é expresso. Portanto, conclui-se que:

$$\text{n}^{\circ} \text{ de corpúsculo de Barr} = \text{n}^{\circ} \text{ de cromossomos X} - 1$$

Como indivíduos do sexo masculino apresentam 44 cromossomos autossômicos e apenas 1 cromossomo X e 1 cromossomo Y, o número de corpúsculos de Barr é 0.

$$\text{n}^{\circ} \text{ de corpúsculos de Barr} = 1 - 1 = 0$$

Quando não existem corpúsculos de Barr, diz-se que a pesquisa da cromatina sexual foi negativa. Porém, se existirem, então diz-se que a pesquisa da cromatina sexual foi positiva. Esse tipo de exame pode ser utilizado em análises forenses, na tentativa de determinar a identidade ou o sexo de uma vítima. Além disso, a pesquisa envolvendo os corpúsculos de Barr auxilia até mesmo em caso de dúvidas em relação às características sexuais de um recém-nascido, como nos casos de malformação do feto. Também é muito utilizada quando existe suspeita de fraudes em competições esportivas oficiais, como nos Jogos Olímpicos. Geralmente coletam-se células da mucosa bucal ou glóbulos brancos (células do sangue) para a realização do exame.

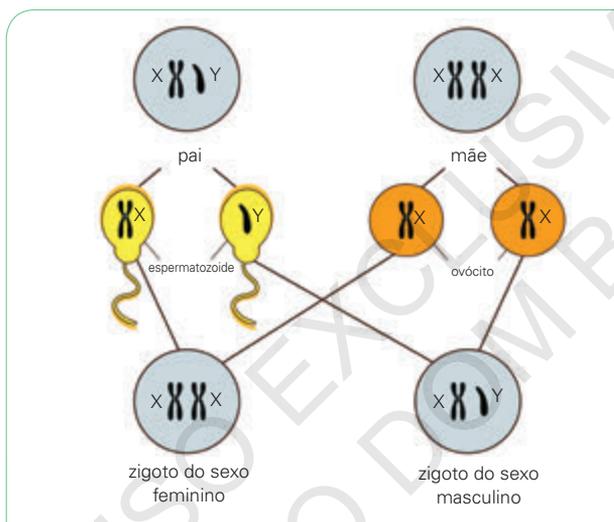
Sistema de determinação cromossômica do sexo

SISTEMA XY

Nos seres humanos, o sistema XY é utilizado para determinar o sexo biológico. Nas células de indivíduos do sexo masculino ou feminino, existem 44 cromossomos autossômicos. No entanto, o que

determina a diferença entre os sexos biológicos é a presença de um par de cromossomos sexuais, os quais podem ser XY (sexo biológico masculino) ou XX (sexo biológico feminino). Então, o cariótipo de indivíduos normais tem um total de 46 cromossomos.

Se o espermatozoide que apresenta o cromossomo Y fecundar o ovócito, será gerada uma criança do sexo masculino. Se o espermatozoide que apresenta o cromossomo X fecundar o ovócito, a gestação será de uma criança do sexo feminino. Assim, 23 cromossomos são de origem paterna, e os outros 23 são de origem materna, o que origina um indivíduo com 46 cromossomos. Esse sistema é observado em mamíferos, alguns artrópodes, certos anfíbios, gimnospermas e angiospermas.



Nessa simulação de cruzamento, podemos notar a distribuição dos cromossomos sexuais. Origina-se, então, um zigoto do sexo feminino e um zigoto do sexo masculino. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA XO

Alguns artrópodes, como besouros e gafanhotos, apresentam o sistema de determinação cromossômica sexual XO, em que 0 indica a ausência de um cromossomo. Nesse sistema, indivíduos machos apresentam 2 conjuntos de cromossomos autossômicos e 1 cromossomo X. As fêmeas têm 2 conjuntos de cromossomos autossômicos e 1 par de cromossomos sexuais XX.

SISTEMA ZW

Ocorre em insetos, peixes, anfíbios e aves. O sexo heterogamético apresenta diferentes características dos sistemas de determinação sexual cromossômicas anteriores. Nesse sistema, o sexo biológico que tem dois cromossomos diferentes é o feminino, enquanto o masculino é homogamético. Ambos os sexos apresentam o cromossomo Z, de modo que o sexo feminino é heterogamético ZW, e o masculino, homogamético (ZZ).

LEITURA COMPLEMENTAR

Sexo determinado pelo ambiente

O sexo de crocodilianos, quelônios e alguns lagartos pode ser determinado pela temperatura do ambiente a que os ovos são submetidos. Em jacarés e lagartos, a temperatura mais baixa determina o sexo de fêmeas, e a mais alta define o sexo de machos. Em quelônios (jabutis, cágados e tartarugas), o fenômeno ocorre de maneira inversa. Por exemplo, os ovos de tartarugas que estão mais ao fundo dos ninhos são mais frios e por esse motivo geram machos. Aqueles mais próximos da superfície são mais aquecidos e por isso originam indivíduos fêmeas.

ROTEIRO DE AULA

SEGUNDA LEI DE MENDEL

Segunda lei de Mendel

Duas ou mais características sofrem segregação independente e, por isso,
podem ser transmitidas juntas ou separadas.

Experimento

Cruzamento entre ervilhas amarelas lisas e ervilhas verdes rugosas.

Geração parental

sementes amarelas lisas vvrr

x

sementes verdes rugosas vvrr

Geração F₁

100% amarelas lisas VvRr

Autocruzamento

amarelas lisas VvRr

x

amarelas lisas VvRr

Geração F₂

V_R_

V_rr

vvR_

vvrr

Fenótipo

amarela

lisa

amarela
rugosa

verde lisa

verde rugosa

Proporção

9:3:3:1

ROTEIRO DE AULA

DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

Cromossomos sexuais

Filamentos de cromatina em formato de bastão responsáveis pelos sexos biológicos

macho ou

fêmea

Sistemas cromossômicos

XY

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

XX

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

XY

X0

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

XX

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

XD

ZW

A fêmea é

heterogamética

e apresenta cromossomos

ZW

O macho é

heterogamético

e apresenta cromossomos

ZZ

Corpúsculo de Barr

Ocorre somente no sexo

feminino

inativação parcial de um dos cromossomos

X

Equilíbrio gênico

Relação entre

quantidade de cromossomo X e quantidade de autossômicos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Famerp-SP – O quadro ilustra um experimento que utilizou ervilhas de cheiro, em que as plantas parentais (P) eram de linhagens puras.

P	ervilha lisa e amarela (P1) × ervilha rugosa e verde (P2)
F1	100% ervilha lisa e amarela
F1 × P2	ervilha lisa e amarela × ervilha rugosa e verde
F2	25% ervilha lisa e amarela
	25% ervilha lisa e verde
	25% ervilha rugosa e amarela 25% ervilha rugosa e verde

Os resultados obtidos em F2 permitiram concluir que os genes que determinam a forma e os genes que determinam a cor das ervilhas

- estão no mesmo par de cromossomos homólogos.
- se combinaram de tal modo que revelaram um desacordo com a segunda lei de Mendel.
- se combinaram de diferentes formas por causa da permutação.
- distam 25 centimorgans, que é unidade de medida para medir a ligação genética.
- estão em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Os resultados obtidos em F2, originados do cruzamento entre F1 e P2, mostram que os genes da forma e da cor das ervilhas estão em pares de cromossomos homólogos diferentes devido à maior diversidade de combinações fenotípicas. Se estivessem no mesmo par de cromossomos, a proporção seria inferior: verde e rugosa obrigatoriamente ou amarela e lisa.

2. Sistema Dom Bosco – Considere uma planta que pode apresentar inflorescência simples ou composta, pétalas vermelhas ou brancas e frutos redondos ou alongados. Um dos indivíduos possui o seguinte genótipo: liPPff. Baseando-se nessas informações e em seus conhecimentos, cite o número possível de gametas que podem ser produzidos a partir desse genótipo e indique quais são.

Poderão ser originados quatro gametas, sendo eles: lPf, lPf, iPf e iPf.

3. UFAM

C4-H13

Considere que, em tomate, a cor do hipocótilo e a borda da folha são características definidas por genes distribuídos independentemente. O hipocótilo roxo é produzido por um gene recessivo (r) e o hipocótilo verde, pelo seu alelo (R). Por outro lado, a folha lisa é produzida por um gene recessivo (f) e a folha serrilhada, pelo seu alelo (F). Considerando, ainda, que o cruzamento entre dois genótipos di-híbridos para as características em questão produz 128 indivíduos, assinale a alternativa que indica corretamente o número de tomateiros da progênie que apresenta genótipo idêntico ao dos pais:

- 40
- 32
- 24
- 16
- 8

O genótipo dos pais é RrFf. Realizando o cruzamento, temos a probabilidade de 1/2 de Rr e 1/2 de Ff, o que dá como probabilidade total: $1/2 \times 1/2 = 1/4$. Ao multiplicarmos $128 \times 1/4$, teremos 32.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

4. Sistema Dom Bosco – Após uma aula sobre a separação dos cromossomos no processo de gametogênese para originar gametas femininos e masculinos, Miguel refletiu a respeito da origem dos cromossomos dele e da irmã, Clara, com base em seus ancestrais. Assim, elaborou algumas ideias:

- Miguel necessariamente teria o cromossomo Y do avô paterno, mas seu cromossomo X poderia ser tanto da avó materna quanto do avô materno.
- Clara deve ter um cromossomo X necessariamente herdado do pai e outro pode ser tanto de origem da avó materna quanto do avô materno.
- Clara tem chance de passar características genéticas determinadas pelo cromossomo X tanto dos ancestrais maternos quanto paternos aos seus descendentes futuros. Porém, Miguel só tem chance de passar características genéticas do cromossomo X materno.

Assinale a alternativa correta.

- Somente a afirmativa I está correta.
- Somente as afirmativas I e II estão corretas.
- Somente as afirmativas II e III estão corretas.
- Somente as afirmativas I e III estão corretas.
- Todas as afirmativas estão corretas.

Todas as afirmativas estão corretas.

5. UECE (adaptado) – O corpúsculo de Barr ocorre devido à inativação de um cromossomo X, tornando-o condensado na periferia do núcleo celular. São esperados dois corpúsculos de Barr nas pessoas portadoras do seguinte conjunto cromossômico:

- 2AXYY (supermacho)
- 2AX0 (síndrome de Turner)
- 2AXXX (superfêmea)
- 2AXXY (síndrome de Klinefelter)

Espera-se que haja dois corpúsculos de Barr em pessoas com síndrome da superfêmea, porque haverá ainda um cromossomo X ativo, de forma que não exista interferência no desenvolvimento nem no metabolismo da pessoa.

6. UECE (adaptado) – Marque a opção que associe corretamente o tipo de organismos ao seu sistema de determinação do sexo:

- Aves apresentam sistema de determinação sexual ZW.
- Abelhas melíferas apresentam sistema de determinação sexual diploide.
- Gafanhotos e besouros apresentam sistema de determinação sexual haploide.
- Homem apresenta sistema de determinação sexual ZW.

As aves apresentam cromossomos sexuais ZW, sendo que estes são fêmeas e ZZ são machos. As abelhas têm sistema de determinação haploide, no qual o macho é haploide e a fêmea é originada da fecundação, ou seja, é diploide. Gafanhotos e besouros apresentam sistema de determinação sexual XO, em que a fêmea é XX e o macho é X0. Os humanos têm sistema de determinação sexual XY, sendo mulheres XX, e homens, XY.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UENP-PR – Em uma espécie de dípteros, o gene A condiciona olhos amarelos e o gene V, localizado nos outros cromossomos, condiciona olhos vermelhos. Os alelos recessivos a e v não permitem a produção de pigmento, levando ao fenótipo branco. O cruzamento entre indivíduos de olhos amarelos e vermelhos produz uma geração F1, constituída exclusivamente de indivíduos de olhos laranjas. Assinale a alternativa que contém a proporção correta do cruzamento entre os indivíduos da F1.

- a) 12/16 indivíduos de olhos laranja; 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- b) 9/16 indivíduos de olhos brancos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos vermelhos.
- c) 9/16 indivíduos de olhos amarelos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos vermelhos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- d) 9/16 indivíduos de olhos vermelhos, 3/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.
- e) 9/16 indivíduos de olhos laranja, 3/16 indivíduos de olhos vermelhos, 3/16 indivíduos de olhos amarelos e 1/16 indivíduos de olhos brancos.

8. UFU-MG – Em ervilhas, a cor da semente amarela é dominante sobre a verde e a textura lisa é dominante sobre a rugosa. A partir do cruzamento de duas plantas duplamente heterozigotas, foram obtidas 3 200 plantas. Sobre o número de plantas amarelas e lisas, é correto afirmar que totalizam

- a) 600.
- b) 1 800.
- c) 1 200.
- d) 200.

9. Fuvest-SP (adaptado) – Um indivíduo apresenta o genótipo AaBb. Um espermatoócito desse indivíduo sofre meiose. Simultaneamente, uma célula sanguínea do mesmo indivíduo entra em divisão meiótica. Ao final da interfase que precede a meiose e a mitose, qual será a constituição genotípica em cada uma dessas células?

10. Sistema Dom Bosco – Suponha que haja o cruzamento entre dois indivíduos com os genótipos AARR e aarr. O resultado genotípico foi o seguinte:

F1: 100% AaRr.

F2: 9/16 A_R_; 3/16 A_rr; 3/16 aaR_; 1/16 aarr.

Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações

abaixo, referentes aos resultados obtidos para o cruzamento descrito.

- () As proporções fenotípicas obtidas em F2 indicam ausência de dominância, pois houve alteração nas proporções esperadas.
- () Os resultados obtidos em F2 indicam um di-hibridismo envolvendo dois genes autossômicos com segregação independente.
- () As proporções obtidas em F2 estão de acordo com a segunda lei de Mendel ou princípio da segregação independente dos caracteres.
- () Os pares de alelos desses genes estão localizados em cromossomos homólogos.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses é:

- a) V – V – F – F
- b) V – F – V – F
- c) V – F – F – V
- d) F – F – V – V
- e) F – V – V – F

11. PUC-RJ – A primeira e a segunda leis de Mendel estão relacionadas, respectivamente, com os seguintes eventos ocorridos na meiose:

- a) Condensação dos cromossomos homólogos na prófase I e *crossing over* na prófase I.
- b) Segregação dos cromossomos homólogos na anáfase I e distribuição independente dos cromossomos na metáfase I.
- c) Segregação dos cromossomos homólogos na anáfase I e separação das cromátides-irmãs na anáfase II.
- d) Alinhamento dos cromossomos homólogos na metáfase I e *crossing over* na prófase I.
- e) Alinhamento dos cromossomos homólogos na metáfase I e alinhamento dos cromossomos na metáfase II.

12. Unifenas-MG (adaptado) – A sensibilidade à feniltiocarbamida (PTC), isto é, a capacidade de sentir o gosto amargo, é condicionada pelo gene dominante I e a insensibilidade a essa substância é devida a seu alelo recessivo i. A queratose, que é o aparecimento de manchas escuras e ásperas na pele, é determinada por gene dominante Q, enquanto a fenilcetonúria (acúmulo de fenilalanina no corpo) e a habilidade para a mão esquerda (canhoto) são condicionadas por genes recessivos f e d, respectivamente. Todas as heranças envolvidas são autossômicas. Num casal em que o homem e a mulher são heterozigotos para as quatro características citadas, determine a probabilidade de nascer uma menina sensível ao PTC, sem queratose, com fenilcetonúria e canhota.

13. UFRGS-RS (adaptado) – Em julho de 2013, pesquisadores da Universidade de Massachusetts publicaram artigo, demonstrando ser possível desligar o cromossomo 21 extra, responsável pela Síndrome de Down. Os autores mimetizaram o processo natural de desligamento cromossômico conhecido para mamíferos denominado como corpúsculo de Barr.

Assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo, referentes a esse processo natural.

- () O desligamento cromossômico ocorre em fêmeas.
- () O cromossomo desligado naturalmente é o X.
- () O corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo específico de fêmeas.
- () O desligamento cromossômico ocorre a partir da puberdade.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V – V – F – F.
- b) V – F – V – F.
- c) F – V – V – F.
- d) F – F – V – V.
- e) V – F – F – V.

14. Unicentro-PR (adaptado) – Na maioria das espécies animais, o ambiente externo não influencia na determinação do sexo, que é definido pela constituição cromossômica dos indivíduos. Nesses casos, a diferença entre machos e fêmeas reside geralmente em um par de cromossomos chamados de cromossomos sexuais. Com relação aos sistemas de determinação do sexo, considere as afirmativas a seguir.

- I. O corpúsculo de Barr é um cromossomo X presentes em células femininas que se encontra inativo, na periferia do núcleo.
- II. No sistema XY, as fêmeas têm um par de cromossomos sexuais homólogos, enquanto os machos têm um dos cromossomos sexuais correspondentes aos da fêmea e outro tipicamente masculino.
- III. No sistema X0, machos e fêmeas diferem entre si quanto a um par de cromossomos, sendo que as fêmeas possuem o par heteromórfico, ou seja, apresentam dois cromossomos sexuais diferentes.
- IV. No sistema ZW, os machos têm um número ímpar de cromossomos no cariótipo, um a menos que as fêmeas.

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.

15. UPE (adaptado) – Em gatos malhados, certas regiões do corpo apresentam coloração preta (XP) ou amarelo-alaranjado (XA), relacionadas a genes presentes no cromossomo X, entremeadas por áreas de pelos brancos, condicionadas pela ação de genes autossômicos de caráter recessivo (bb). As fêmeas heterozigotas apresentam três cores e recebem a denominação de cálico, enquanto os machos possuem apenas duas cores. No Texas (EUA), ocorreu a clonagem de uma gatinha cálico chamada Rainbow. A clonagem é um processo em que uma célula somática é fusionada a um óvulo anucleado por impulsos elétricos. Além disso, o processo não interfere no conjunto gênico do indivíduo, nem na forma em que são expressos. Para surpresa dos pesquisadores, o clone que deveria ser idêntico à matriz apresentou um padrão de manchas diferentes do original. Isso ficou conhecido como o caso Carbon Copy ou Copy Cat. A clonagem da gatinha não foi bem-sucedida devido à(ao):

- a) adição de um cromossomo X em certo par, constituindo uma trissomia e elevando a homozigose; por isso, a clonagem de um cálico nunca resultará em um mesmo padrão.
- b) deleção de determinada região do cromossomo X, causando um fenótipo diferente do esperado, visto Carbon Copy ter sido criada a partir de um óvulo que se misturou com o núcleo de Rainbow.
- c) efeito pleiotrópico, no qual a ação do par de genes é responsável pela ocorrência simultânea de diversas características que ativa os dois cromossomos X da fêmea, no caso de haver clonagem.
- d) processo de inativação ao acaso de um dos cromossomos X da fêmea, relacionado a genes que aparecem em heterozigose, resultando em padrão de pelagem diferente, mesmo quando os indivíduos são geneticamente idênticos.
- e) tipo de herança quantitativa, em que os genes possuem efeito aditivo e recebem o nome de poligenes. Assim, em cada gata, haverá um padrão de pelagem diferente, pois só funcionará um cromossomo X por indivíduo.

16. UFRR – Nas células somáticas de fêmeas de mamíferos, acredita-se que a condensação de um dos cromossomos X das fêmeas seja uma estratégia para inativar os genes nele contidos. Esse mecanismo é chamado de compensação de dose.

Sobre esse mecanismo é incorreto afirmar que

- a) machos (XY) não possuem cromatina sexual, também chamada de corpúsculo de Barr.
- b) fêmeas (XX) apresentam cromatina sexual, também chamada de corpúsculo de Barr.
- c) a cromatina sexual permite diferenciar células dos dois sexos, uma vez que as células femininas são cromatina sexual negativas, enquanto as células masculinas são cromatina sexual positivas.
- d) o cromossomo X inativo torna-se extremamente condensado e assume aspecto de um pequeno grânulo no núcleo das células em interfase e recebe o nome de cromatina sexual ou corpúsculo de Barr.
- e) indivíduos com síndrome de Turner (X0) não apresentam cromatina sexual, apesar de serem fenotipicamente femininos.

17. FGV-SP (adaptado) – “Uma equipe de investigadores da Escócia estudou três galináceos ginandromorfos, ou seja, com características de ambos os sexos. Um dos galináceos estudados, batizado de Sam, apresenta lado esquerdo do corpo com penugem esbranquiçada e os músculos bem desenvolvidos, como observado em galos. Já no lado direito do corpo, as penas são castanhas e os músculos mais delgados, como é normal nas galinhas. No caso dos galináceos, a determinação sexual ocorre pelo sistema ZW.”

Admitindo-se que Sam apresente perfeita diferenciação cromossômica nas células dos lados direito e esquerdo do corpo, e uma gônada de cada lado, é correto afirmar que a gônada do lado

- a) esquerdo produz espermatozoides, constituídos pelo cromossomo Z, ou pelo cromossomo W.
- b) esquerdo produz óvulos, constituídos apenas pelo cromossomo Z.
- c) direito produz óvulos, constituídos apenas pelo cromossomo W.
- d) direito produz óvulos, constituídos pelo cromossomo Z, ou pelo cromossomo W.
- e) direito produz óvulos, constituídos pelo cromossomo W.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

A mosca *Drosophila*, conhecida como mosca-das-frutas, é bastante estudada no meio acadêmico pelos geneticistas. Dois caracteres estão entre os mais estudados: tamanho da asa e cor do corpo, cada um condicionado por um gene autossômico. Em se tratando do tamanho da asa, a característica asa vestigial é recessiva e a característica asa longa, dominante. Em relação à cor do indivíduo, a coloração cinza é recessiva e a cor preta, dominante. Em um experimento, foi realizado um cruzamento entre indivíduos heterozigotos para os dois caracteres, do qual foram geradas 288 moscas, qual a quantidade esperada de moscas que apresentam o mesmo fenótipo dos indivíduos parentais?

- a) 288
- b) 162
- c) 108
- d) 72
- e) 54

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Em 2018, a primeira safra de milho no Brasil atingiu aproximadamente 28% da área, segundo a consultoria Safras, e acredita-se que houve semeadura de 4,11 milhões de hectares, sendo que 57% dessa área corresponde ao Rio Grande do Sul, seguido por Santa Catarina com 39%, Paraná com 36% e São Paulo com 12%.

Sabe-se que os grãos de milho podem ser amarelos ou rosados, cheios ou murchos e que o ideal para a economia é que eles sejam amarelos e cheios. Esses últimos fenótipos são dominantes. Um agricultor decidiu fazer novos cruzamentos entre alguns tipos de milho na tentativa de obter gerações mais vantajosas economicamente e obteve 25% de grãos amarelos e cheios, 25% de grãos rosados e murchos, 25% de grãos amarelos e murchos e 25% de rosados e cheios. Uma das plantas que originaram essa prole é duplamente homocigota. Com base nessas informações, marque a alternativa correta:

- a) Os fenótipos apresentados são de genes que segregam independentemente.
- b) Ambas as plantas da geração parental apresentam genótipos dominantes para as características.
- c) As plantas parentais são completamente homocigotas.
- d) A prole seria mantida na proporção 1:1:1:1 se as parentais fossem duplamente heterocigotas.
- e) As plantas em questão resultado de engenharia genética.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

No ano 2000, Duz e colaboradores realizaram exames histológicos da polpa dentária em dentes íntegros de pacientes odontológicos entre 10 e 30 anos de idade com o intuito de identificar o sexo dos indivíduos. As lâminas histológicas foram produzidas e apresentaram fibroblastos que continham ou não a presença da cromatina sexual.

Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/289143/1/Duz_Sergio_M.pdf>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

Sabendo-se que foram produzidas lâminas histológicas que apresentavam fibroblastos com ou sem cromatina sexual,

- a) foi possível identificar o sexo em razão do número de fibroblastos.
- b) foi possível identificar o sexo, pois indivíduos do sexo masculino não apresentam cromatina sexual condensada na periferia do núcleo.
- c) foi possível identificar o sexo, pois indivíduos do sexo feminino não apresentam cromatina sexual condensada na periferia do núcleo.
- d) não foi possível identificar o sexo, pois as cromatinas sexuais só aparecem nos gametas.
- e) não foi possível identificar o sexo, pois esse método é falho.

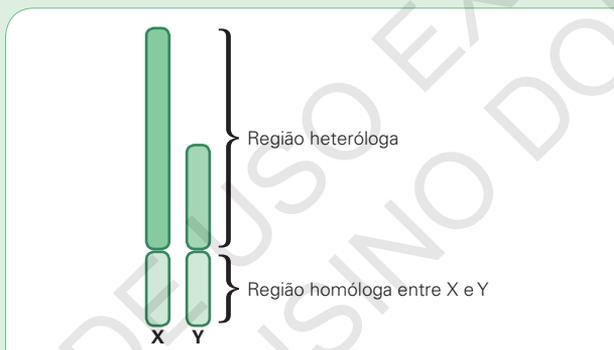
HERANÇA RELACIONADA AO SEXO, PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

20

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO X

Os casos de herança relacionada ao sexo são classificados de acordo com os alelos presentes exclusivamente nos cromossomos sexuais, que influenciam tanto nas características sexuais do indivíduo quanto em outros aspectos, como cor dos olhos e coagulação sanguínea.

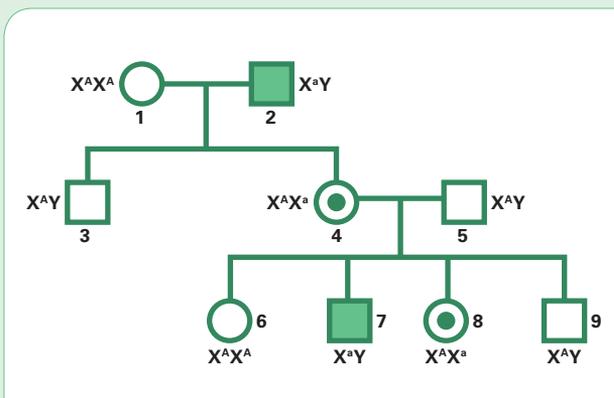
Embora os cromossomos X e Y sejam diferentes morfologicamente, eles apresentam uma pequena **região homóloga**, isto é, com as mesmas informações genéticas de correspondência entre si. Por outro lado, esses cromossomos também têm uma **região heteróloga**, com informações sem nenhuma correspondência, completamente diferentes entre si. Dessa forma, pelo fato de pessoas do sexo feminino apresentarem dois cromossomos X em seu cariótipo, há duas porções homólogas em seus cromossomos sexuais. Já pessoas do sexo masculino, por apresentarem cromossomos sexuais XY, têm uma região homóloga do Y com o X e uma região heteróloga.



Representação das regiões homóloga e heteróloga entre os cromossomos X e Y. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Como os alelos da porção **homóloga** dos cromossomos sexuais são em dose dupla, independentemente do sexo biológico, sua transmissão é semelhante à de alelos de cromossomos autossômicos, sendo conhecida como **herança parcialmente ligada ao sexo**. A cegueira total para cores (acromatopsia total) é um exemplo desse tipo de herança. O indivíduo com essa patologia é incapaz de distinguir as cores.

Por outro lado, a **herança ligada ao X** ocorre quando os alelos se encontram na região **heteróloga** do cromossomo X. Portanto, como mulheres têm dois cromossomos X, os alelos aparecem em dose dupla. Já os homens, por terem apenas um cromossomo X, apresentam apenas um alelo. A presença de um alelo recessivo no cromossomo X do homem é suficiente para uma patologia ser manifestada, uma vez que não há um alelo dominante para impedir sua expressão. Na mulher, por outro lado, para que o alelo recessivo seja expresso, é necessário que ele esteja presente em dose dupla.



Representação das regiões homóloga e heteróloga entre os cromossomos X e Y. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

- Herança ligada ao cromossomo X
- Herança holândrica (ligada ao cromossomo Y)
- Outros mecanismos de herança relacionada ao sexo
- Pleiotropia
- Alelos letais

HABILIDADES

- Compreender a transmissão das características relacionadas ao sexo.
- Reconhecer os principais tipos de herança relacionada ao sexo.
- Citar alguns exemplos clássicos de heranças relacionadas ao sexo.
- Entender a importância de investigar a origem da transmissão de determinadas características.
- Explicar o conceito de pleiotropia e citar exemplos.
- Descrever o conceito de alelos letais e citar exemplos.
- Compreender a importância de eventos pleiotrópicos relacionados a alelos letais.
- Relacionar os conceitos de pleiotropia a doenças e demais características dos fenômenos abordados

Nesse heredograma, os indivíduos 2 e 7 são do sexo masculino e apresentam apenas um alelo recessivo, o qual é suficiente para manifestar a doença. As mulheres podem ter o gene recessivo ligado ao cromossomo X e não ser afetadas, em virtude de apresentarem o alelo dominante no outro cromossomo X.

Os principais exemplos de herança ligada ao sexo na espécie humana são o daltonismo, a hemofilia e a distrofia muscular de Duchenne. Na sequência, abordaremos cada uma dessas doenças.

DALTONISMO

O daltonismo (ou cegueira parcial das cores) é a incapacidade de distinguir cores, geralmente o verde e o vermelho. Provocado por uma condição de herança recessiva ligada ao X, o alelo recessivo se encontra na região heteróloga do cromossomo X.

O daltonismo não se manifesta em mulheres heterozigotas (genótipo $X^D X^d$). No entanto, elas podem transmitir o alelo recessivo para seus descendentes. Por esse motivo, são chamadas *portadoras*. As doenças recessivas ligadas ao sexo têm maior incidência em homens, pelo fato de receberem apenas um cromossomo X. Aqueles afetados pela herança ligada ao cromossomo X são conhecidos como **hemizigotos**, por não serem heterozigotos nem homozigotos para a condição, visto que não apresentam dois alelos homólogos.

Genótipo	Fenótipo
$X^D X^D$	Mulher normal
$X^D X^d$	Mulher normal portadora
$X^d X^d$	Mulher daltônica
$X^D Y$	Homem normal
$X^d Y$	Homem daltônico

Possíveis genótipos e fenótipos para o daltonismo.

HEMOFILIA

Trata-se de um distúrbio de herança recessiva ligada ao cromossomo X, no qual as proteínas denominadas **fator VIII** (hemofilia tipo A) ou **fator IX** (hemofilia tipo B) estão ausentes na cascata de coagulação sanguínea (nome dado à sequência de reações interligadas durante o processo de coagulação). Sem essas proteínas, indivíduos hemofílicos apresentam graves hemorragias mesmo depois de traumatismos banais, como um arranhão ou a extração de um dente. O tratamento consiste na administração do fator deficiente purificado (VIII para hemofílicos do tipo A e IX para os do tipo B) ou na transfusão de sangue de pessoas normais que têm a proteína necessária.

No Brasil, a hemofilia ocorre, em média, em 1 a cada 25 mil pessoas. É mais frequente que o daltonismo, que atinge, em média, 1 a cada 45 mil pessoas.

Existe a ideia de que não há mulheres hemofílicas, uma vez que todas morreriam nos primeiros ci-

clos menstruais. Porém, essa afirmação é falsa, pois a interrupção do sangramento menstrual se deve à constrição dos vasos sanguíneos do endométrio e à regeneração desse epitélio por ação de hormônios sexuais femininos, como o estrogênio.

A frequência de mulheres hemofílicas é calculada da seguinte forma: se a ocorrência de homens hemofílicos é, em média, de 1 a cada 30 mil homens, as mulheres hemofílicas são $(1/30000)^2$, uma vez que elas precisam ter alelo recessivo em **dose dupla** para ser afetadas pela doença. Já o homem necessita de apenas um alelo recessivo.

Observe no quadro a seguir os diferentes fenótipos para hemofilia, elaborados por meio do cruzamento dos genótipos.

Genótipo	Fenótipo
$X^H X^H$	Mulher normal
$X^H X^h$	Mulher normal portadora
$X^h X^h$	Mulher hemofílica
$X^H Y$	Homem normal
$X^h Y$	Homem hemofílico

Possíveis genótipos e fenótipos para a hemofilia.

DISTROFIA MUSCULAR DE DUCHENNE

Essa doença ocorre em 3 a cada 100 mil pessoas. Tem caráter degenerativo e apresenta herança recessiva ligada ao X. Indivíduos do sexo masculino predominantemente são os mais atingidos. Pessoas que apresentam essa doença raramente chegam à idade adulta, em razão da perda progressiva da capacidade motora. Em estágios avançados, ocorre inclusive a incapacidade de respiração. É causada por uma mutação no gene de uma proteína cuja função é manter a integridade da fibra muscular.

Não há relato de mulheres afetadas pela doença, pois, para que a manifestem, precisam ter os alelos recessivos em dose dupla, sendo um deles herdado do pai. Como a maioria dos homens afetados não atinge a puberdade, logo não consegue transmitir o alelo recessivo adiante. Portanto, mulheres afetadas apresentam genótipo $X^a X^a$, enquanto homens com a doença têm genótipo $X^a Y$.

Observe o quadro.

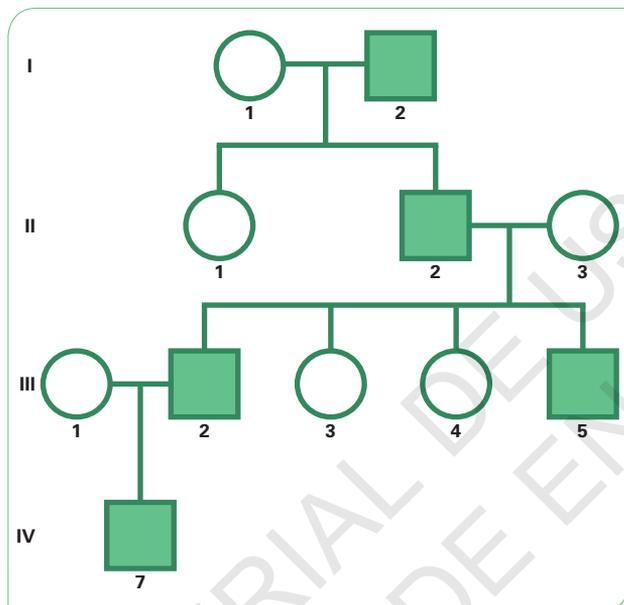
Genótipo	Fenótipo
$X^A X^A$	Mulher normal
$X^A X^a$	Mulher normal portadora
$X^a X^a$	Mulher doente
$X^A Y$	Homem normal
$X^a Y$	Homem doente

Possíveis genótipos e fenótipos para a distrofia muscular de Duchenne.

HERANÇA HOLÂNDRICA (LIGADA AO CROMOSSOMO Y)

É condicionada por alelos que se encontram na região heteróloga do cromossomo Y, isto é, que estão diretamente ligados às características masculinas. Por esse motivo, a herança holândrica também pode ser chamada **herança restrita ao sexo**. Dessa forma, as características relacionadas ao cromossomo Y são transmitidas apenas do pai para os filhos homens.

Alguns casos de esterilidade podem ocorrer por deleção de determinados genes. Um exemplo é o gene SRY (do inglês *sex-determining region Y*), que codifica o fator determinante dos testículos e está presente na região heteróloga do cromossomo Y. Existem estudos que relacionam a esterilidade a uma mutação no gene USP9Y, que pode causar a produção de espermatozoides disfuncionais.



Heredograma que exemplifica uma característica ligada ao cromossomo Y. Todos os filhos do sexo masculino de um pai afetado também serão acometidos pela patologia, uma vez que recebem a cópia do cromossomo Y do pai.

OUTROS MECANISMOS DE HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

HERANÇA COM EFEITO LIMITADO AO SEXO

Refere-se aos genes presentes em ambos os sexos, mas que se manifestam apenas em um deles. Exemplos dessa herança são: aumento de pelos no corpo; voz grave e ombros largos em homens; crescimento dos seios; alargamento da bacia e menstruação em mulheres.

A presença de pelos em excesso nas orelhas, também conhecida como hipertricosose auricular, era considerada uma herança ligada ao cromossomo Y. No entanto, descobriu-se depois que ela ocorre em virtude de um gene autossômico dominante, raro na população em geral, mas frequente na Índia.

HERANÇA INFLUENCIADA PELO SEXO

São heranças localizadas em genes autossômicos cuja expressão é influenciada pelo sexo e pela ação hormonal. No caso da calvície, por exemplo, o alelo C é dominante nos homens, enquanto em mulheres há maior ocorrência do alelo recessivo c. Dessa forma, indivíduos do sexo feminino só apresentam calvície se tiverem o genótipo CC. Já os do sexo masculino podem apresentar tal fenótipo tendo genótipos CC ou Cc. Os mecanismos envolvidos nessa influência estão principalmente relacionados à produção de hormônios, o que, por sua vez, pode estar ligado a genes localizados nos cromossomos sexuais do indivíduo.

PLEIOTROPIA

Muitos cientistas procuram compreender quais genes e mutações são responsáveis pela diversidade morfológica dos grupos de organismos que evoluíram ao longo da história da vida na Terra.

Foram realizadas várias pesquisas com base no desenvolvimento dos organismos e nas teorias evolutivas que abordam os principais modelos de divergência entre as espécies. Por exemplo, analisando o genótipo das moscas-da-fruta (*Drosophila melanogaster*), descobriu-se que o gene denominado PAX-6, responsável pela síntese da rodopsina (pigmento presente na retina desses animais), também atua no desenvolvimento dos neurônios e do corpo pedunculado (estrutura presente em insetos que interpreta as informações olfativas). Constatou-se que o gene PAX-6 é responsável por regular mais de um fenótipo – um associado à visão e o outro à interpretação de informações captadas pelo sistema olfativo. Tal característica genética é considerada **pleiotrópica**.

Existem ainda algumas combinações alélicas consideradas incompatíveis com a vida ou que podem causar danos severos ao organismo portador delas. Embora tenham importante participação nos processos evolutivos e exerçam papel essencial na adaptação e na seleção natural das populações, essas combinações alélicas são letais.

Em camundongos da espécie *Mus musculus*, a característica "manso" em indivíduos brancos e a característica "agressivo" em cinzentos são determinadas por um gene que expressa mais de um fenótipo simultaneamente. Trata-se, portanto, de um gene **pleiotrópico**.

Em vegetais, a coloração das cebolas e a resistência a fungos acontecem por conta de um alelo recessivo que, em homozigose, é responsável tanto pela coloração roxa quanto pela produção de uma substância fungicida – fato

que torna esses indivíduos resistentes e de coloração roxa. Entretanto, o alelo dominante é o responsável pela coloração branca e não produz a substância fungicida – o que torna essa variação de cebola suscetível a fungos.



As cores branca e roxa em cebolas são características pleiotrópicas.

Em humanos, a **fenilcetonúria** é uma doença pleiotrópica recessiva, provocada pela redução da atividade de uma enzima denominada fenilalanina hidroxilase (PAH). Essa proteína atua na transformação da fenilalanina em tirosina – um aminoácido encontrado em proteínas. Se o indivíduo apresentar o gene recessivo, não ocorre a conversão correta desses aminoácidos e a fenilalanina acumula-se no sangue. Isso provoca lesões no sistema nervoso central e resulta em sintomas como deficiência mental, comportamento agitado, padrão autista, convulsões e odor característico na urina. Além disso, como a tirosina participa da produção de melanina, a ausência desse aminoácido faz com que a pele se torne mais clara que o comum. O diagnóstico é feito por meio do teste do pezinho. Bebês com a patologia recebem dieta adequada e não desenvolvem a condição.

ALELOS LETAIS

São aqueles capazes de provocar a morte de indivíduos, determinando alterações nas proporções mendelianas esperadas no cruzamento. Dessa forma, em vez de originar indivíduos na proporção 3:1, será encontrada a proporção 2:1, pelo fato de um dos indivíduos morrer.

Os alelos letais podem ser expressos de diversas formas, tanto em homozigose recessiva quanto em alelos letais dominantes, em que apenas a presença de um dos alelos é suficiente para provocar a morte do organismo. Em ambos os casos, os indivíduos não geram descendentes para propagar o gene e, por esse motivo, geralmente desaparecem da população.

Os alelos letais podem ser “semiletais” (quando o organismo ainda consegue sobreviver por muitos anos, para além da idade reprodutiva) ou “completos” (no caso de o organismo ter alelos que não possibilitem alcançar a idade reprodutiva).

ALELOS LETAIS EM CAMUNDONGOS

Em pelagem de camundongos, o alelo para a cor amarela é letal quando se encontra em homozigose. Assim, indivíduos que apresentam o genótipo dominante em dose dupla (AA) morrem. Aqueles com genótipo heterozigoto

(Aa) apresentam a pelagem amarela. Indivíduos com genótipo homozigoto recessivo (aa), por sua vez, apresentam coloração aguti. Trata-se de um alelo letal homozigoto recessivo “completo”, e seu portador morre antes da idade fértil. Mesmo que o alelo A seja dominante, é apenas para determinar a cor da pelagem, pois, quando em dose dupla, esse alelo se comporta como um recessivo letal.

ALELOS LETAIS EM GATOS

Em gatos com fenótipo Manx, uma única cópia do alelo M^L , recessivo, interfere no desenvolvimento da coluna dorsal do animal. Esse gene determina o fenótipo heterozigoto $M^L M$, o que caracteriza a ausência de cauda. Porém, se o genótipo do indivíduo for $M^L M^L$, a anomalia na coluna será tão severa que o indivíduo não será capaz de sobreviver.

ALELOS LETAIS EM HUMANOS

Em humanos, a síndrome de Huntington geralmente aparece tardiamente, por volta dos 40 anos. Essa doença se caracteriza pela perda progressiva da coordenação motora, da fala e da deglutição, em virtude da degeneração dos nervos. Trata-se de uma doença característica dos alelos letais dominantes, de modo que apenas um alelo é suficiente para desenvolver a doença. Após os 40 anos de idade, os indivíduos continuam sendo capazes de se reproduzir. Dessa forma, o alelo pode se propagar na população, já que os filhos dos indivíduos portadores dessa condição têm 50% de chance de herdar o alelo letal, o que caracteriza esse alelo como semiletal.

LEITURA COMPLEMENTAR

A acondroplasia, responsável pelo fenótipo de nanismo em humanos e bovinos, é uma condição de herança autossômica dominante que apresenta genes letais quando o alelo dominante se encontra em homozigose (DD), de maneira que o indivíduo com esse genótipo não sobrevive. Em dose única (Dd), o indivíduo apresenta estatura baixa, típica da doença.



Esportistas acondroplásicas.

Da união entre um indivíduo de estatura normal (genótipo dd) e um indivíduo acondroplásico (Dd), a probabilidade de se gerar um indivíduo com uma característica

é de 50%. Por outro lado, se houver união entre indivíduos acondroplásicos, a probabilidade de se gerar um indivíduo que não sobrevive (DD) é de 25%. A chance de nascer um indivíduo acondroplásico (Dd) é de 50%. Já a probabilidade de se gerar um indivíduo de estatura normal (dd) é de 25%.

ROTEIRO DE AULA

HERANÇA RELACIONADA AO SEXO

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO X

Os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo X

Pessoas portadoras apresentam genótipo heterozigoto

Homens são hemizigotos por terem apenas um cromossomo X

HERANÇA LIGADA AO CROMOSSOMO Y

Também chamada de herança holandrica

O pai transmite suas características apenas para filhos do sexo masculino

OUTROS MECANISMOS DE HERANÇA RELACIONADOS AO SEXO

HERANÇA COM EFEITO LIMITADO AO SEXO

Os genes existem no(s) sexo(s) masculino e feminino

Manifesta-se apenas em um dos sexos

HERANÇA INFLUENCIADA PELO SEXO

Genes localizados em cromossomos autossômicos cuja expressão é influenciada pelo sexo

ROTEIRO DE AULA

PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

Pleiotropia

Um gene promove

duas ou mais

característica(s)

Em camundongos, um único gene expressa as seguintes características

brancos e mansos; cinzas e agressivos

Em cebolas, fenótipos gerados por um único gene e resultam nas colorações

roxa

resistente a fungos

branca

não resistente a fungos

Em humanos, fenilcetonúria (não conversão de fenilalanina em tirosina) pode gerar sintomas como

deficiência mental

convulsões

odor característico na urina

Alelos letais

São alelos que

não possibilitam ao indivíduo sobreviver

Proporção fenotípica

2:1

Exemplos

camundongos amarelos

gatos sem cauda

acondroplasia

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fatec-SP (adaptado) – Na espécie humana, a determinação cromossômica do sexo é dada pelos cromossomos X e Y. O cromossomo Y apresenta genes holândricos, isto é, genes que não possuem homologia com o cromossomo X. As características condicionadas por tais genes são

- a) transmitidas da mãe para 100% das filhas.
- b) transmitidas do pai para 100% dos filhos homens.**
- c) transmitidas do pai só para algumas filhas.
- d) transmitidas para filhos e filhas.
- e) ocorre somente em mulheres.

Genes holândricos são aqueles que dão características específicas ao sexo. No caso do cromossomo Y, como ele existe apenas no sexo masculino, obrigatoriamente, o pai transmite as características do seu cromossomo Y para todos os filhos do sexo masculino.

2. UPF-RS (adaptado) – O quadro a seguir trata dos tipos de herança de genes localizados em cromossomos sexuais. Associe corretamente os tipos de herança da primeira coluna com sua respectiva descrição, na segunda coluna.

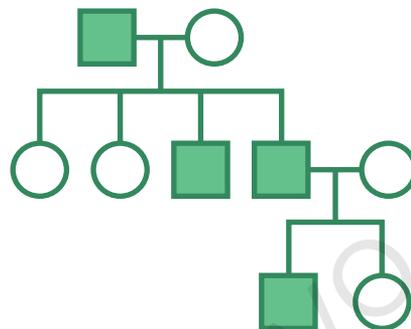
Tipos de herança	Descrição e exemplos
(a) Herança holândrica	() Está relacionada a genes localizados na porção não homóloga do cromossomo X.
(b) Herança influenciada pelo sexo	() Está relacionada a genes localizados na parte homóloga dos cromossomos X e Y, ou nos autossomos, cuja dominância ou recessividade é influenciada pelo sexo do portador.
(c) Herança ligada ao sexo	() Está relacionada a genes localizados na porção do cromossomo Y sem homologia com o cromossomo X.
(d) Herança limitada ao sexo	() Os genes existem em ambos os sexos mas se expressam somente em um deles.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) a, b, c, d
- b) c, b, a, d**
- c) c, a, d, b
- d) a, c, b, d

Herança holândrica é aquela em que os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo Y, o qual é responsável pela característica daquele sexo. Herança influenciada pelo sexo é aquela em que ambos os sexos têm os genes, mas a expressão é influenciada pelo sexo. Herança ligada ao sexo se refere àquela em que os genes se encontram na região heteróloga do cromossomo X. Herança limitada ao sexo é aquela em que ambos os sexos apresentam o gene, mas somente em um deles é expresso o fenótipo.

3. Sistema Dom Bosco – O heredograma a seguir demonstra uma anomalia que acomete apenas homens na família.



Qual é o tipo de herança dessa anomalia? Justifique sua resposta.

Trata-se de uma herança ligada ao cromossomo Y, porque todos os homens são afetados, sem que haja a transmissão dessa característica às mulheres.

4. UECE (adaptado)

C4-H13

A fração que representa a heterozigose no cruzamento entre monóibridos do modelo mendeliano, em que o alelo recessivo em dose dupla é letal, é

- a) 2/3.**
- b) 3/4.
- c) 2/4.
- d) 1/4.

No cruzamento entre indivíduos heterozigotos, há 1/4 AA, 1/2 Aa e 1/4 aa. Entretanto, das quatro possibilidades, o genótipo aa é letal, sobrando apenas três possibilidades. Entre elas, duas são para que o indivíduo seja heterozigoto, ou seja, 2/3.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

5. UFPE (adaptado) – Existe um gene na espécie humana que determina que o indivíduo apresente simultaneamente fragilidade óssea, surdez congênita e esclerótica azulada. Marque a alternativa que define o caso.

- a) Herança autossômica dominante
- b) Herança autossômica recessiva
- c) Pleiotropia**
- d) Herança ligada ao sexo
- e) Polialelia

Um evento pleiotrópico caracteriza-se quando há um gene que exerce sua ação em mais de duas características.

6. Sistema Dom Bosco – Considere uma doença congênita em que indivíduos que apresentam o genótipo homocigoto dominante não sobrevivem. Um casal deseja ter filhos, sendo ambos normais. A mulher é heterocigota, e o homem, homocigoto recessivo. Qual é a probabilidade de esse casal gerar filhos com o genótipo letal da doença?

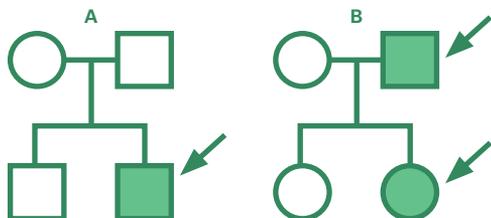
Sendo a mulher heterocigota (Aa) e o homem homocigoto recessivo (aa), o cruzamento desses indivíduos gera genótipos: 1/2 Aa e 1/2 aa. Como

o genótipo letal é homocigoto dominante (AA), não há chance de esse

casal gerar filhos com tal genótipo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Fac. Albert Einstein-SP – Nos heredogramas abaixo, o casal indicado por A tem dois filhos e o casal indicado por B, duas filhas. As setas indicam pessoas que apresentam uma dada doença:



Após a análise dos heredogramas, é possível concluir que a doença

- é obrigatoriamente devido a um gene recessivo localizado no cromossomo.
- é obrigatoriamente devido a um gene autossômico recessivo.
- pode ser devido a um gene dominante, tanto autossômico como no cromossomo X.
- pode ser devido a um gene recessivo, tanto autossômico, como localizado no cromossomo X.

8. UERN (adaptado) – Os genes são os principais fatores determinantes do sexo, pois eles estão situados nos cromossomos sexuais. Por esses cromossomos possuírem também genes para outras características, a transmissão delas guarda alguma relação com o sexo do indivíduo.

Legenda

- Portador
- Mulher afetada
- Homem afetado

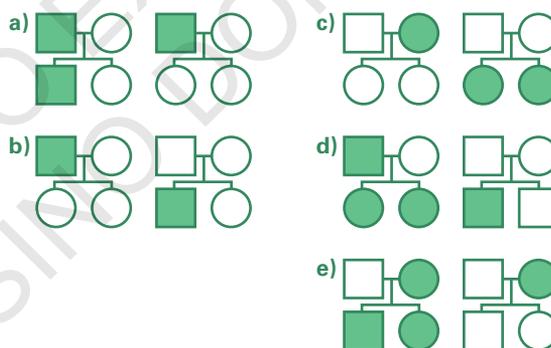


Desse modo, o heredograma pode se referir a um tipo de herança relacionada ao sexo, denominada

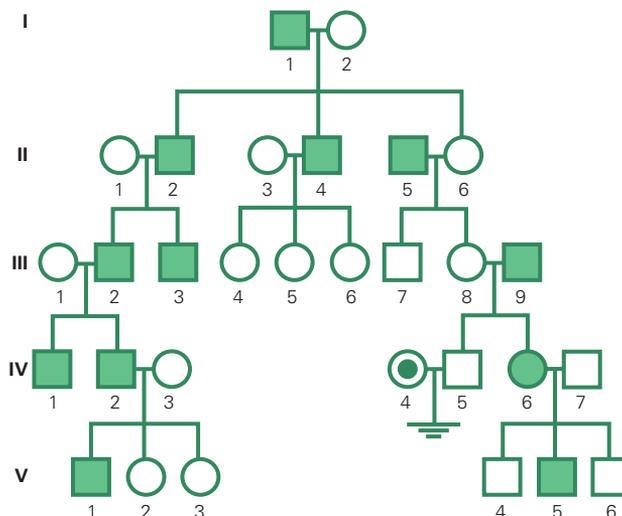
- herança restrita ao sexo.
- herança limitada ao sexo.
- herança influenciada pelo sexo.
- herança ligada ao Y.

9. Sistema Dom Bosco – Os caracteres sexuais secundários se manifestam principalmente quando os indivíduos entram na puberdade. São exemplos: ombros largos; pelos no corpo e voz grave em homens; crescimento dos seios, alargamento da bacia e até mesmo a menstruação em mulheres. Portanto, apresentam herança limitada ao sexo. Explique o que isso significa do ponto de vista genético.

10. Fuvest-SP (adaptado) – Nos heredogramas apresentados nas alternativas, ocorrem pessoas que têm alterações na formação do esmalte dos dentes, representados por quadrados e círculos coloridos. Os heredogramas em que as alterações do esmalte dos dentes têm herança ligada ao cromossomo X dominante e recessiva, estão representados respectivamente em:



11. UNCISAL – Julia e André se casaram no ano passado e pretendem adotar uma criança em breve, visto que ela é portadora de uma doença e André tem histórico na família dessa doença. Ao se aconselhar com o médico, Julia preferiu não ter filhos. Dadas as assertivas abaixo sobre o heredograma.



- I. Os indivíduos afetados na segunda geração apresentam uma característica holândrica, que é confirmada na geração seguinte.
- II. A característica dominante ou recessiva que o quinto indivíduo da quinta geração apresenta está ligada ao cromossomo X.
- III. O casal 4 e 5 da quarta geração não teve filhos, pois existe 50% de chance de um filho homem ser afetado e 50% de chance de as mulheres serem portadoras do gene afetado.
- IV. O heredograma mostra três doenças ligadas aos cromossomos sexuais, duas no X e uma no Y.
- V. O padrão de herança não é mendeliano.

Verifica-se que estão corretas

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

- 12. Unifenas-MG (adaptado)** – A distrofia muscular (DM) apresenta incidência de 1 a cada 3500 nascimentos de meninos. Trata-se de uma doença genética, com padrão de herança recessiva ligado ao cromossomo X. Um homem, com DM e com visão normal, se casa com uma mulher sem DM e míope. A primeira criança desse casal é um menino com DM e míope. Sabendo que a miopia é devido a um gene autossômico recessivo, qual a probabilidade de esse casal, em gestações independentes e consecutivas, ter duas crianças do sexo masculino com visão normal e sem DM?

- 13. UERJ (adaptado)** – Em determinado tipo de camundongo, a pelagem branca é condicionada pela presença do gene "A", letal em homozigose. Seu alelo recessivo "a" condiciona pelagem preta. Marque a alternativa que apresente a proporção de camundongos de pelagem branca e preta, respectivamente, originados de um casal heterozigoto:

- | | |
|--------------|--------------|
| a) 1/2 e 1/2 | c) 2/3 e 1/3 |
| b) 1/4 e 3/4 | d) 3/4 e 1/4 |

- 14. UECE** – Os genes letais foram identificados, em 1905, pelo geneticista francês Lucien Cuénot. A acondroplasia é uma forma de nanismo humano condicionada por um alelo dominante D que prejudica o desenvolvimento ósseo. Pessoas que apresentam a acondroplasia são heterozigotas e pessoas normais são homozigotas recessivas. Assinale a opção que corresponde ao genótipo em que o gene é considerado letal.

- | | |
|-------|-------|
| a) Dd | c) D_ |
| b) dd | d) DD |

- 15. PUCCamp-SP (adaptado)** – Existe uma anomalia em aves que se caracteriza pelo encurtamento das asas. Quando aves anômalas heterozigóticas são cruzadas, são originados indivíduos anômalos e normais numa proporção de 2:1, respectivamente. A partir desses dados, é possível deduzir que se trata de uma herança

- a) de alelos letais em homozigose.
- b) de alelos letais recessivos.
- c) pleiotrópica.
- d) dominante autossômica.
- e) recessiva autossômica.

- 16. PUC-SP (adaptado)** – Existe uma doença humana com padrão de herança autossômico na qual o genótipo AA determina indivíduos normais, o genótipo AA1 determina uma forma branda da doença e o genótipo A1A1 determina uma forma grave da doença, de forma que o indivíduo morre durante a embriogênese. Um casal heterozigoto decidiu se casar e tem medo de não conseguir conceber um filho por conta da forma grave da doença. Com base nessas informações e em seu conhecimento, responda:

- a) Ambos os pais são portadores do gene responsável pela forma grave da doença?

- b) Qual a probabilidade de eles terem filhos que não sobreviverão?

- 17. UFG-GO** – No homem, a acondroplasia é uma anomalia genética, autossômica dominante, caracterizada por um tipo de nanismo em que a cabeça e o tronco são normais, mas os braços e as pernas são curtos. A letalidade dessa anomalia é causada por um gene dominante em dose dupla. Dessa forma, na descendência de um casal acondroplásico, a proporção fenotípica esperada em F1 é

- a) 100% anões.
- b) 100% normais.
- c) 33,3% anões e 66,7% normais.
- d) 46,7% anões e 53,3% normais.
- e) 66,7% anões e 33,3% normais.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H13

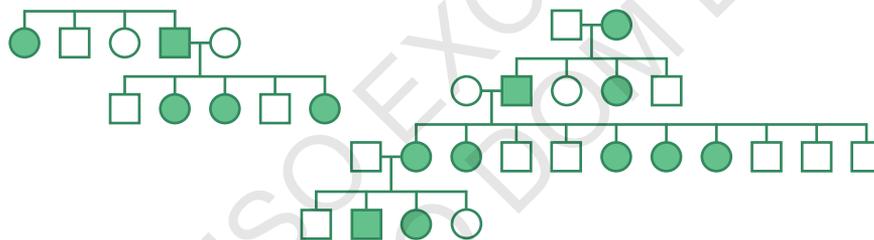
Os indivíduos de uma população de uma pequena cidade, fundada por uma família de europeus, são, frequentemente, frutos de casamentos consanguíneos. Grande parte dos grupos familiares dessa localidade apresenta membros acometidos por uma doença rara, identificada por fraqueza muscular progressiva, com início aos 30 anos de idade. Em famílias com presença dessa doença, quando os pais são saudáveis, somente os filhos do sexo masculino podem ser afetados. Mas em famílias cujo pai é acometido pela doença e a mãe é portadora do gene, 50% da descendência, independente do sexo, é afetada. Considerando as características populacionais, o sexo e a proporção dos indivíduos afetados, qual é o tipo de herança da doença descrita no texto?

- a) Recessiva, ligada ao cromossomo X. d) Recessiva autossômica.
 b) Dominante, ligada ao cromossomo X. e) Dominante autossômica.
 c) Recessiva, ligada ao cromossomo Y.

19. Enem

C4-H13

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?

- a) Dominante autossômico, pois a doença aparece em ambos os sexos.
 b) Recessivo ligado ao sexo, pois não ocorre a transmissão do pai para os filhos.
 c) Recessivo ligado ao Y, pois a doença é transmitida dos pais heterozigotos para os filhos.
 d) Dominante ligado ao sexo, pois todas as filhas de homens afetados também apresentam a doença.
 e) Codominante autossômico, pois a doença é herdada pelos filhos de ambos os sexos, tanto do pai quanto da mãe.

20. Sistema Dom Bosco

C4-H13

Com preguiça de fazer o dever de casa, a americana Lizzie Velasquez resolveu assistir a clipes de músicas *online*. Encontrou um vídeo que se chamava "A mulher mais feia do mundo" e clicou. Não esperava que o vídeo fosse sobre ela. Essa história aconteceu quando ela tinha 17 anos. O vídeo, de oito segundos, já havia sido assistido 4 milhões de vezes. Agora, nove anos depois, Velasquez é uma ativista *anti-bullying* e protagoniza um documentário que estreou nos Estados Unidos no sábado. Velasquez já estava acostumada a sofrer *bullying* diariamente devido a sua aparência. Nascida com duas condições raras - síndrome de Marfan e lipodistrofia - ela é incapaz de ganhar peso, não importa o quanto coma. Ela lembra que, quando entrou no jardim de infância, as crianças costumavam a se afastar dela, com medo.

HAWKINS, Kathleen. Filme mostra como mulher chamada de 'mais feia do mundo' superou *bullying*. BBC Brasil. 18 mar. 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/03/150318_mulher_mais_feia_lab>. Acesso em: jan. 2019.

Sobre a síndrome de Marfan:

- a) É uma doença incapaz de ser passada às próximas gerações.
 b) É uma doença em que há diversos genes atuando.
 c) O indivíduo portador não consegue ganhar peso, independentemente do quanto se alimenta.
 d) É uma doença genética recessiva ligada ao sexo.
 e) É uma doença congênita pleiotrópica, porque um único gene desenvolve diversas características.

21

INTERAÇÕES GÊNICAS, LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

INTERAÇÃO GÊNICA

As **interações gênicas** são aquelas em que há interação entre dois ou mais genes, localizados em cromossomos não homólogos, produzindo determinada característica. Existem três tipos principais de interação gênica: epistasia, interação entre genes complementares e herança quantitativa.

EPISTASIA

A **epistasia** é um tipo de herança em que um alelo de um gene impede o alelo de outro gene, localizado em outra região ou outro cromossomo, de ser expresso. O alelo inibidor é denominado **epistático**, enquanto o alelo inibido é denominado **hipostático**.

EPISTASIA DOMINANTE

Na **epistasia dominante**, o alelo tem efeito inibidor e pode estar tanto em dose dupla (genótipo homocigoto dominante) como em dose simples (genótipo heterocigoto). Quando ocorre esse tipo de herança, a proporção não é a mendeliana de 9:3:3:1, mas é alterada para **13:3** ou para **12:3:1**.

A determinação do padrão de penas de galinhas da raça *leghorn* é um exemplo de epistasia dominante. Nesse caso, existe um gene em determinado cromossomo cujo alelo **C** é associado à plumagem colorida e o **c** à plumagem branca. Em outro par de cromossomos, existe um gene em que o alelo **I** é responsável pela inibição do gene **C**, enquanto seu alelo recessivo **i** permite a expressão do gene **C**. Portanto, o alelo **I** é epistático, e o alelo **C** é hipostático. Quando há um genótipo **CCII**, por exemplo, a ave apresenta plumagem branca, como se o alelo **c** estivesse atuante, pois, mesmo tendo o alelo **C**, o alelo **I** não permite que o fenótipo **C** seja expresso.

Considere o cruzamento entre os alelos abaixo e os possíveis genótipos:

Gametas	CI	Ci	cl	ci
CI	CCII	CCii	CcII	Ccii
Ci	CCii	CCii	Ccii	Ccii
cl	CcII	Ccii	ccII	ccii
ci	Ccii	Ccii	ccii	ccii

Com isso, temos:

9 aves brancas (genótipo C_I_);

3 aves coloridas (genótipo C_ii);

3 aves brancas (genótipo cc_I_);

1 ave branca (genótipo ccii).

Total: 13 aves brancas : 3 aves coloridas.

EPISTASIA RECESSIVA

A **epistasia recessiva** é aquela em que o alelo epistático precisa estar em dose dupla para inibir o efeito de outro gene localizado em outro *locus*. Em geral, esse tipo de herança apresenta a **proporção 9:4:3**.

- Interação gênica
- Interação gênica não epistática
- Ligação gênica
- Permutação gênica

HABILIDADES

- Explicar como ocorrem as principais formas de interações gênicas.
- Citar exemplos de interações gênicas.
- Descrever as principais características de cada tipo de interação gênica.
- Compreender a importância dos genes na produção de determinados fenótipos.
- Calcular a probabilidade de determinado fenótipo ser expresso.
- Compreender o que são genes ligados.
- Explicar o padrão de segregação de genes ligados e não ligados na formação de gametas.
- Compreender o que é permutação gênica.
- Explicar a importância desses processos para a variabilidade genética das espécies

Um exemplo é a determinação do padrão da pelagem em ratos. O alelo **A** determina a pelagem aguti (selvagem), podendo ser amarela ou castanha; o alelo **a** determina a pelagem preta. Outro par de alelos em outro *locus*, no qual o alelo **i** é epistático sobre **A** e **a** e impede a produção de indivíduos pigmentados, determina indivíduos albinos (pelagem branca e olhos vermelhos). Seu alelo dominante **I** permite que a pigmentação seja produzida.

Ao serem cruzados indivíduos duplo heterozigotos amarelos, obtém-se:

Geração parental



Geração F1



Desse cruzamento, os genótipos possíveis são:

Gametas	AI	Ai	al	ai
AI	AAIi	AAii	AaIi	AaII
Ai	AAIi	AAii	AaIi	AaII
al	AaIi	AaII	aaIi	aaII
ai	AaIi	AaII	AaIi	AaII

INTERAÇÃO GÊNICA NÃO EPISTÁTICA

Trata-se da interação que ocorre entre dois ou mais alelos para formar o fenótipo dos indivíduos, sem que nenhum alelo de um *locus* impeça a expressão dos alelos dos outros *loci*. Ao contrário da interação epigênica, nesta os genes afetam um ao outro, interagindo para originar uma característica fenotípica diferente. A proporção fenotípica desse tipo de interação é igual àquela encontrada na segunda lei de Mendel (9:3:3:1). Entretanto, neste caso é originada apenas uma característica para cada genótipo, enquanto na segunda lei de Mendel surgem duas características para cada genótipo.

GENES COMPLEMENTARES

Um exemplo comum são os genes que determinam o tipo de crista das galinhas. O alelo dominante **R**, quando isolado, determina o aparecimento de crista rosa; o alelo **E**, presente em outro *locus*, determina o aparecimento de crista ervilha. Nas aves com esses dois alelos dominantes (**R** e **E**), a crista é noz e, em aves com alelos recessivos (**rree**) para ambos os *loci*, a crista é simples.



crista rosa
(genótipo R_ee)



crista ervilha
(genótipo rrE_)



crista simples
(genótipo rree)

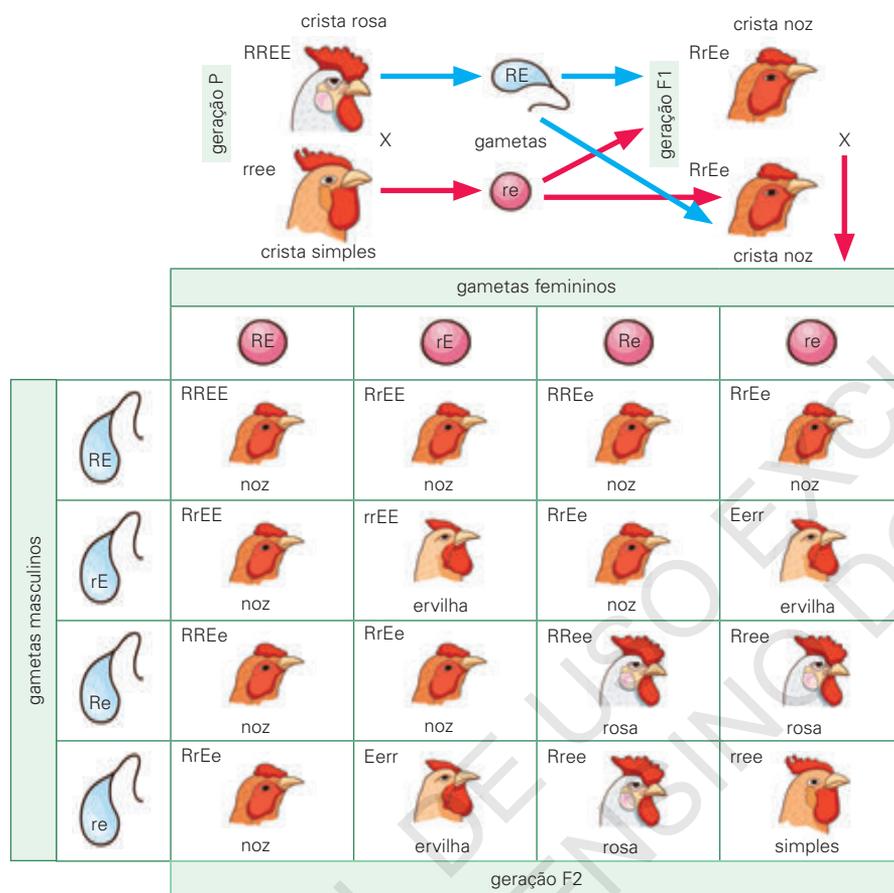


crista noz
(genótipo R_E_)

Fenótipos das cristas de galos e seus respectivos genótipos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Do cruzamento de uma ave que apresenta crista rosa duplo homocigota (genótipo RREE) com uma ave que apresenta crista simples (genótipo rree), toda a geração F1 apresentará crista noz. Do cruzamento de indivíduos da geração F1 entre si, a geração F2 apresentará a se-

guinte proporção fenotípica: 9 indivíduos do tipo noz (R_E_), 3 do tipo rosa (R_ee), 3 do tipo ervilha (rrE_) e 1 do tipo simples (rree), conforme mostrado no esquema a seguir:



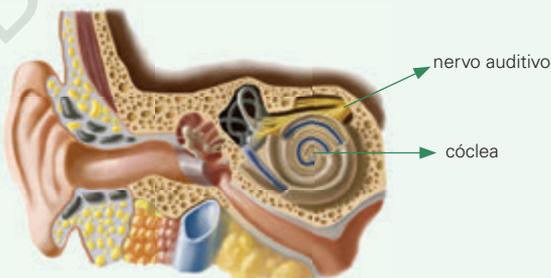
Esquema de cruzamentos de possíveis fenótipos de cristas de galos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Surdez humana congênita

A surdez congênita humana apresenta um padrão de interação gênica não epistática, em que existem dois genes complementares: gene D e gene E. O gene D determina a formação normal da cóclea da orelha interna, enquanto o gene E determina a formação do nervo auditivo. Os alelos recessivos de cada um deles não permitem que tais estruturas sejam desenvolvidas e a homocigose recessiva para qualquer um deles faz com que um indivíduo seja surdo. Pessoas com o genótipo dd são surdas por não apresentarem a cóclea, e pessoas com o genótipo ee são surdas por não terem desenvolvido o nervo auditivo.

SCIENCE HISTORY IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO



Representação do ouvido humano com destaque para a localização da cóclea e do nervo auditivo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Portanto, ao considerarmos o casamento entre indivíduos duplo homocigotos para ambos os genótipos, teremos, na geração F1, 100% dos indivíduos ouvintes. Caso duas pessoas duplo heterocigotas se casem, as possibilidades genotípicas e fenotípicas serão as seguintes:

Geração P:	EEDD (normal)	x	eedd (surdo)
Geração F1:	100% EeDd (normal)		

Geração F2:

9 E_D_ (normais)
3 E_dd (surdos)
3 eeD_ (surdos)
1 eedd (surdo)

Portanto, a proporção genotípica será 9:3:3:1, respeitando a segunda lei de Mendel, mas a proporção fenotípica será alterada para 9:4, uma vez que haverá três tipos de surdo: surdos por não terem a cóclea formada, surdos por não terem o nervo auditivo formado, e surdos por não desenvolverem nenhuma dessas estruturas simultaneamente.

HERANÇA QUANTITATIVA

Esse tipo de herança ocorre quando o fenótipo é condicionado por dois ou mais alelos, ou sequências gênicas, em que há um **alelo aditivo** (representado pela letra maiúscula) e um **alelo indiferente** ou **não aditivo** (representado pela letra minúscula). Cada um dos alelos aditivos participa da formação do fenótipo, determinando a intensidade da expressão do fenótipo, independentemente do par em que ele se encontra; já os alelos não aditivos não são expressos no fenótipo. Esse tipo de herança também pode ser chamado de **poligênico**, **multifatorial** ou **polimeria**. Em geral, a herança quantitativa tem como característica fenótipos que **apresentam variação contínua ou gradual**, como a pigmentação da pele humana.

A pigmentação da pele é determinada por dois ou mais alelos localizados em cromossomos diferentes, que serão representados aqui como os genes **B** e **N**. Quando há quatro alelos envolvidos na produção do pigmento (melanina), a cor da pele é negra. Quando há três alelos, o fenótipo é considerado pardo escuro, ou moreno; quando há dois alelos, o fenótipo é pardo médio; quando há apenas um alelo, o fenótipo é pardo claro; quando não há alelos de produção de melanina, o fenótipo é denominado branco.

Genótipos	Fenótipos	Proporção
NNBB	negro	1:16
NNBb, NnBB	pardo escuro	4:16
NnBb, NNbb, nnBB	pardo médio	6:16
Nnbb, nnBb	pardo claro	4:16

Os fenótipos de herança quantitativa apresentam **distribuição em curva normal** ou **curva de Gauss**, isto é, os fenótipos extremos têm menor frequência; e os fenótipos intermediários, maior frequência.

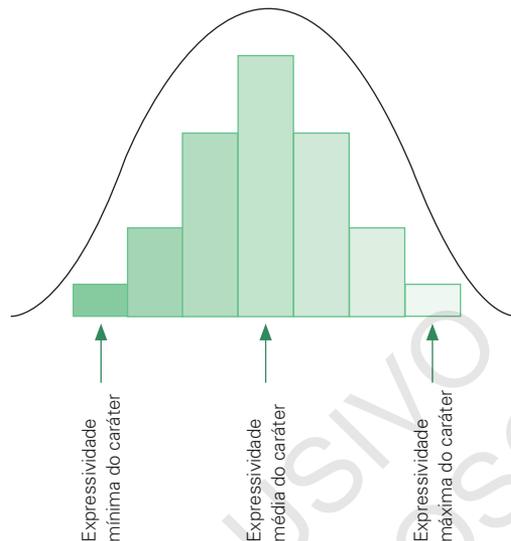


Gráfico da curva de Gauss de distribuição fenotípica de um caráter com distribuição normal.

A altura das plantas é outro exemplo quantitativo, uma vez que é determinada por mais de um par de alelos. Há plantas com altura máxima, outras com altura mínima e uma grande quantidade com alturas intermediárias. O mesmo acontece com a estatura do ser humano, com uma grande quantidade de fenótipos intermediários diferentes.

CÁLCULO DO NÚMERO DE FENÓTIPOS E FREQUÊNCIA DOS FENÓTIPOS EXTREMOS

Na herança quantitativa, o número de fenótipos encontrados depende do número de pares de alelos envolvidos, denominados como **n**. Portanto, o número de fenótipos será duas vezes o número de alelos envolvidos + 1.

$$n^{\circ} \text{ fenótipos} = 2n + 1$$

Sendo assim, se uma característica é determinada por 4 pares de alelos, então o número de fenótipos distintos encontrados será 9. Ou, ainda, se há 6 pares de alelos envolvidos, o número de fenótipos distintos será igual a 13.

Para calcular a frequência dos fenótipos extremos, basta lembrar que os alelos para cada gene precisam estar em homozigose dominante. Se cada gene tem a probabilidade de 1/4 de apresentar um genótipo, basta elevar esse valor ao número de pares de alelos presentes para uma dada característica.

$$\text{Frequência dos fenótipos extremos} = (1/4)^n$$

Portanto, para uma característica que apresenta 5 genes ser expressa, a probabilidade de ocorrer um fenótipo extremo será $(1/4)^5 = 0,000976$.

LIGAÇÃO GÊNICA

Como estudado em módulos anteriores, dois ou mais pares de alelos localizados em cromossomos diferentes segregam de forma independente. Entretanto, quando dois ou mais pares de alelos se encontram muito próximos no mesmo cromossomo ou no par de homólogos, eles segregam juntos e não se separam na formação dos gametas. Tal fenômeno pode ser denominado **ligação gênica** – também chamado de *linkage* ou lei de Morgan.

A ideia foi proposta pela primeira vez em 1903 por Walter Sutton, na época um estudante da Universidade de Columbia, Estados Unidos. Houve grande repercussão na comunidade científica, que continuava bastante apegada às predições das leis de Mendel.

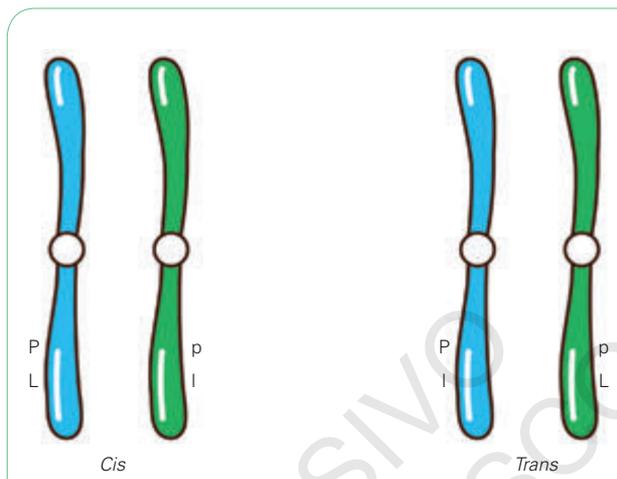
Somente em 1910 foi possível elaborar uma base sólida para essa teoria. Isso ocorreu após diversas complementações e outras experiências realizadas pelo geneticista Thomas Morgan e sua equipe, ao estudarem a transmissão de algumas características em *Drosophila melanogaster* (mosca-da-fruta), como a ausência de cerdas nas antenas, patas curtas, coloração do corpo, asas vestigiais, asas enroladas e cor dos olhos.

Morgan e seus colaboradores identificaram em drosófilas um padrão de características. Olhos marroms avermelhados e asas vestigiais e enroladas eram caracteres sempre observados juntos. Assim, não havia indivíduos, por exemplo, com olhos pretos e asas vestigiais. Portanto, tais características não seguiam o padrão postulado pela segunda lei de Mendel.

Com base nesses estudos, foi comprovado que todas essas características se encontravam no mesmo cromossomo homólogo e que durante a anáfase I da meiose elas eram segregadas em conjunto, uma vez que os genes se encontravam muito próximos uns dos outros no cromossomo.

POSIÇÃO DOS ALELOS NO PAR DE HOMÓLOGOS

Além de conhecer o genótipo do indivíduo, é necessário determinar a posição dos alelos no par de cromossomos homólogos. Assim, é possível encontrar as posições entre os alelos de um duplo heterozigoto, situado em dois *loci* diferentes. Quando os dois alelos dominantes estão em um cromossomo (**PL**) e os dois alelos recessivos em outro cromossomo (**pl**), a ligação é denominada *cis*. Quando o alelo dominante **P** e um recessivo **I** estão no mesmo cromossomo e os alelos **p** e **L** estão em um homólogo, a ligação é chamada *trans*. A ligação *cis* pode ser representada como **PL/pl** e a ligação *trans* como **Pl/pL**.

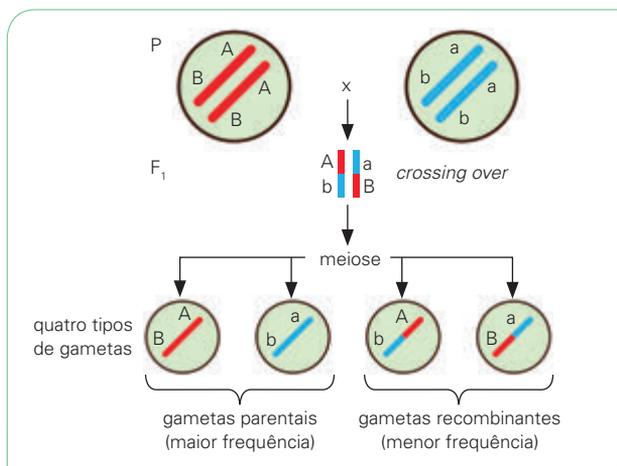


Representação de ligações gênicas *cis* e *trans* em cromossomos homólogos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PERMUTAÇÃO GÊNICA

A permutação gênica (ou *crossing over*) é o rearranjo de regiões de cromossomos por meio de troca de fragmentos durante a prófase I da meiose. Por meio desse processo ocorre a variabilidade genética entre os indivíduos da mesma espécie. Ele é responsável também pelo surgimento de novas espécies. A permutação gênica acontece geralmente em alelos que se segregam de forma independente, embora os genes ligados entre si possam também sofrer permutação. Trata-se de um processo capaz de alterar a tendência de união entre os alelos.

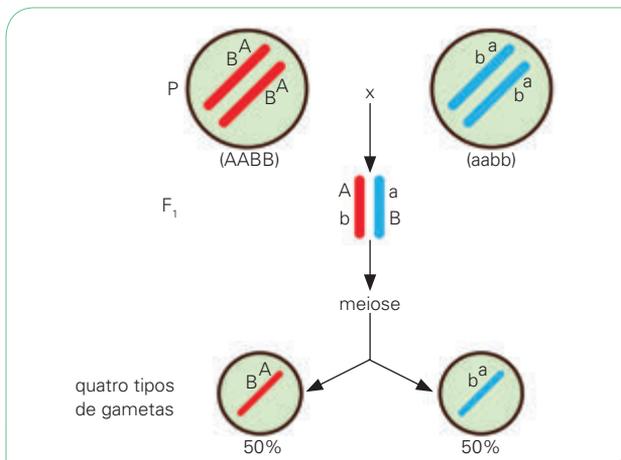
O *crossing over* produz novos rearranjos na posição inicial dos genes, o que possibilita a um indivíduo duplo heterozigoto gerar quatro gametas distintos com diferentes proporções. Observe a figura.



Representação esquemática de gametas produzidos por cromossomos homólogos duplo heterozigotos que apresentam genes parcialmente ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O *crossing over* ocorre apenas entre cromossomos que apresentam alelos que se encontram com **ligação incompleta** ou **linkage parcial** – ou seja, os alelos estão relativamente separados, o que possibilita a permutação

Em caso de **ligação total** ou **linkage total**, é impossível ocorrer permutação, e os alelos segregam sempre unidos.



Representação esquemática de gametas produzidos por cromossomos homólogos duplo heterocigotos que apresentam genes totalmente ligados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O *crossing over* favorece o aumento da variabilidade genética porque produz gametas diferentes, originados de novos rearranjos. O mesmo não acontece em casos de genes totalmente ligados, e sempre há somente duas possibilidades de gametas. O *crossing over* ocorre ao acaso, de forma que é impossível prever em quais trechos do cromossomo as trocas acontecerão.

LEITURA COMPLEMENTAR

Variabilidade genética

A **variabilidade genética** pode ser definida como a diferença no material genético dos indivíduos de determinada população. Essa variação na carga genética dentro de uma população tem papel fundamental na evolução das espécies, uma vez que a seleção natural atua nos indivíduos mais bem adaptados. Assim, os genótipos mais vantajosos para certa condição ambiental apresentarão maior probabilidade de terem seus genes passados para as gerações futuras. Os indivíduos menos adaptados, por outro lado, têm menor taxa de sobrevivência para o ambiente em questão, e seus genes se tornam mais raros na população. A variação genética entre os indivíduos pode ser resultado de mutações es-

pontâneas no DNA, de fluxo gênico entre populações e de reprodução sexuada.

As mutações são mudanças aleatórias no DNA, que determina a aparência, o comportamento e a fisiologia dos organismos. Essas alterações são as principais responsáveis pela variabilidade genética entre indivíduos de uma população. Ocorrem na maioria das vezes de formas naturais, quando o DNA não se replica corretamente. Mudanças no DNA também podem ser causadas por fatores externos, como a exposição a produtos químicos ou à radiação. Neste caso, no entanto, geralmente são fatais e causam alterações tão drásticas no funcionamento do DNA que levam à morte do indivíduo.

O fluxo gênico (ou a migração) é um movimento de genes de uma população para outra. Essa troca de genes pode ser feita de diferentes maneiras, como a dispersão de indivíduos que podem se estabelecer em uma população diferente da que nasceu, ou mesmo um grão de pólen sendo transportado a um local distante.

As combinações gênicas podem ocorrer em uma população por meio da reprodução sexuada. Quando os organismos se reproduzem sexuadamente, ocorre uma mistura genética, resultando em novas recombinações de genes. Isso é percebido facilmente ao observar que os filhos nunca são iguais aos seus pais nem aos seus irmãos (com exceção aos gêmeos idênticos). Essa é uma vantagem em relação à reprodução assexuada, uma vez que a maior variabilidade genética promove proteção da população contra mudanças drásticas no ambiente, como mutações, doenças, mudanças climáticas, etc.

Além desses fatores, a variabilidade genética de uma população pode ser alterada pela deriva genética. Esse processo modifica aleatoriamente as frequências dos alelos ao longo do tempo, o que pode ocasionar a redução da variabilidade genética de determinada população e diminuir sua habilidade em se manter caso ocorra alguma alteração em seu ambiente. Além disso, a deriva genética age drasticamente em populações com um número de indivíduos reduzido, sendo particularmente importante para a conservação de espécies raras ou ameaçadas de extinção.

DUTRA, Pâmela Castro. Variabilidade genética. *InfoEscola*. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/biologia/variabilidade-genetica/>>.
Acesso em: fev. 2019. (Adaptado)

ROTEIRO DE AULA

INTERAÇÕES GÊNICAS

INTERAÇÕES EPISTÁTICAS

Um alelo

inibe

a expressão de um outro alelo

Gene epistático:

gene que impede a expressão de outro gene

Gene hipostático:

gene que é impedido de se expressar

Proporções de epistasia dominante:

13:3 e 12:3:1

Proporção de epistasia recessiva:

9:4:3

INTERAÇÕES NÃO EPISTÁTICAS

Genes complementares

Proporção:

9:3:3:1

Apresenta

uma

característica por genótipo

Herança quantitativa

Alelo aditivo:

determina a intensidade de expressão fenotípica

Alelo não aditivo:

indiferente à expressividade do fenótipo

O fenótipo apresenta variação

gradual

A distribuição fenotípica do gráfico de Gauss tem padrão

normal

ROTEIRO DE AULA

LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

Ligação gênica

Quando dois ou mais pares de alelos se encontram

no mesmo cromossomo

Quando alelos dominantes de cada par se encontram no mesmo cromossomo, é do tipo

cis

Quando alelos dominantes de cada par se encontram em cromossomos diferentes, é do tipo

trans

É ligação total quando os genes estão

próximos

e segregam

juntos

Em duplo heterozigotos formam

dois tipos de

gametas

É ligação parcial quando os genes estão

relativamente distantes

Isso possibilita a ocorrência de

crossing over

Permutação

Quando há trocas de pedaços entre cromossomos

homólogos

Ocorre durante a

prófase I

da meiose

Processo importante para promover

variabilidade genética

Em duplo heterozigotos formam

quatro tipos de

gametas

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Mackenzie-SP (adaptado) – A cor da plumagem nas galinhas é determinada por 2 pares de genes: o gene C condiciona plumagem colorida enquanto seu alelo c determina plumagem branca. O gene I impede a expressão do gene C, enquanto seu alelo i não interfere nessa expressão. Com esses dados, conclui-se que se trata de um caso de

- a) epistasia recessiva.
- b) herança quantitativa.
- c) pleiotropia.
- d) codominância.
- e) epistasia dominante.**

Trata-se de epistasia dominante, pelo fato de o gene I inibir a expressão do gene C.

2. UFRR

C4-H13

Considerando o cruzamento entre dois cães labradores, sabendo que a pelagem é um exemplo de epistasia recessiva e que somente dois genes condicionam as três pelagens típicas dessa raça: preta, chocolate e dourada, é correto afirmar que o cruzamento de cães pretos duplo heterozigotos (BbEe) produz descendentes na proporção

- a) 9 pretos: 3 chocolate: 1 dourado.
- b) 9 pretos: 3 chocolate: 4 dourados.**
- c) 3 pretos: 1 dourado.
- d) cães pretos, chocolate e dourados nas mesmas proporções.
- e) somente cães pretos.

No caso de epistasia recessiva, o alelo e precisa estar em dose dupla para que os alelos B e b sejam inibidos, de modo que a proporção da prole geralmente é 9:4:3. Dessa forma, do cruzamento de cães pretos duplo heterozigotos, temos: BbEe × BbEe = 9 B_E_ (pretos), 4 B_ee ou bbee (dourados) e 3 bbE_ (chocolates).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

3. UPF-RS (adaptado) – A herança quantitativa ou poligênica estuda caracteres genéticos de variação contínua, como a estatura na espécie humana, a cor da pele, a inteligência, a produtividade de leite no gado e a de sementes ou frutos. Admitindo que a cor da pele humana seja um desses casos e que seja determinada por dois pares de genes (alelo N e alelo B), determine a probabilidade esperada do nascimento de crianças brancas (genótipo nnbb) do cruzamento de dois pardos claros, heterozigotos para o gene N (genótipo Nnbb).

Pardos claros são indivíduos que apresentam apenas um alelo dominante.

Portanto, o cruzamento é: Nnbb × Nnbb. Separando os genes, teremos:

Para o gene N: 1/4 NN, 1/2 Nn e 1/4 nn. Para o gene B, teremos:

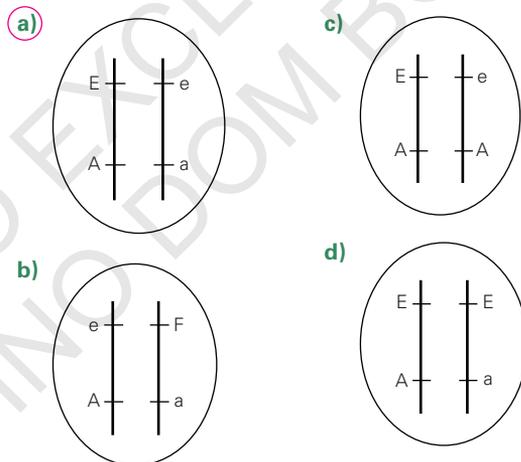
100% bb. Para o indivíduo ser branco, é necessário ter o genótipo nnbb.

Dessa forma, a probabilidade será $1/4 \times 1 = 1/4$.

ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

4. UFU-MG – Nos camundongos, o gene recessivo e produz pelos encrespados, e seu alelo dominante E pelos normais. Em outro par de genes alelos, o gene recessivo a produz fenótipo albino, enquanto seu alelo dominante A produz fenótipo selvagem. Quando camundongos diíbridos foram cruzados com camundongos albinos e de pelos encrespados, foram obtidos 79 camundongos de pelos encrespados e selvagens, 121 com pelos encrespados e albinos, 125 de pelos normais e selvagens e 75 com pelos normais e albinos.

Qual esquema representa a posição dos genes no diíbrido?



De acordo com as informações, do cruzamento entre um indivíduo EeAa e um eeaa, são gerados quatro descendentes diferentes, sendo dois em maiores proporções. Portanto, é um caso de *linkage* com *crossing over*. O indivíduo eeaa produz 100% de gametas ea, enquanto o duplo heterozigoto forma gametas EA e ea em maiores proporções (gametas parentais) e Ea e eA (gametas recombinantes) em menores proporções. Dessa forma, conclui-se que os gametas parentais EA e ea vieram de um di-híbrido na posição *cis* (EA/ea).

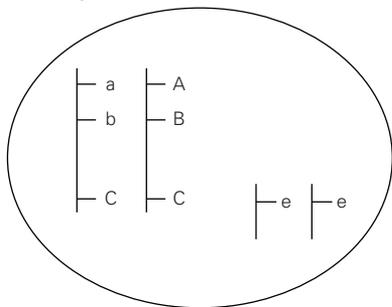
5. Unisinos-RS – O cruzamento cromossômico (*crossing over*) é a troca de material genético entre cromossomos homólogos que ocorre durante a _____ da _____. Essa recombinação gênica forma células-filhas geneticamente _____, que _____ a variabilidade genética da espécie.

Sobre o processo de divisão celular descrito acima, qual das alternativas abaixo preenche corretamente as lacunas?

- a) prófase I; meiose; iguais; diminui
- b) prófase II; mitose; diferentes; aumenta
- c) prófase I; mitose; diferentes; aumenta
- d) prófase I; meiose; diferentes; aumenta**
- e) prófase II; meiose; iguais; diminui

O *crossing over* acontece na prófase I da meiose, quando os cromossomos homólogos são segregados. Dessa forma, são produzidos gametas diferentes, o que aumenta a variabilidade genética da espécie. Esse processo não ocorre na mitose.

- 6. UFRGS-RS (adaptado)** – O esquema a seguir se trata de uma célula diploide em que pode ocorrer permutação entre os genes A e B.



Marque a alternativa que apresenta todos os tipos de gametas normais que podem ser formados por essa célula.

- a)** AbCe; abCe; aBCe; ABCe
b) AbC; e; aBC; e
c) AbCe; ABCe
d) AbCe; aBCe
e) AabCe; AaBCe; AbCe; aBCe

Essa célula tem genes no mesmo grupo de ligação A, B, C. Ela pode originar os gametas abCe, ABCe (parentais) e aBCe, AbCe (recombinantes).

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 7. UFU-MG** – A cor da pelagem em cavalos depende, dentre outros fatores, da ação de dois pares de genes Bb e Ww. O gene B determina pelos pretos e o seu alelo b determina pelos marrons. O gene dominante W “inibe” a manifestação da cor, fazendo com que o pelo fique branco, enquanto o alelo recessivo w permite a manifestação da cor. Cruzando-se indivíduos heterozigotos para os dois pares de genes obtêm-se

- a)** 3 brancos : 1 preto.
b) 9 brancos : 3 pretos : 3 mesclados de marrom e preto : 1 branco.
c) 1 preto : 2 brancos : 1 marrom.
d) 12 brancos : 3 pretos : 1 marrom.
e) 3 pretos : 1 marrom.

- 8. UFRGS-RS (adaptado)** – As flores de uma determinada planta podem ser brancas, vermelhas ou creme. O alelo A determina a deposição do pigmento e o alelo recessivo (aa) leva à ausência de deposição de pigmento, resultando na cor branca. O alelo dominante B produz pigmento vermelho, enquanto seu recessivo, a cor creme. Cruzando-se plantas heterozigotas para os dois genes entre si, a probabilidade de obtermos uma planta creme é de

- a)** 3/16. **d)** 9/16.
b) 4/16. **e)** 12/16.
c) 7/16.

- 9. UNESP** – Na cobra do milharal, os alelos A/a e B/b regulam a coloração da pele. O pigmento preto é determinado pelo alelo dominante A, enquanto o alelo recessivo a não produz esse pigmento. O pigmento laranja é determinado pelo alelo dominante B, enquanto o alelo b não produz esse pigmento. A cobra selvagem produz os pigmentos pretos e laranja. Cobras pretas produzem apenas pigmento preto. Cobras laranja produzem apenas pigmento laranja. Existem ainda cobras albinas, que não produzem os dois pigmentos.

Assinale a alternativa na qual os genótipos representam, respectivamente, uma cobra selvagem e uma cobra albina.

- a)** AaBb e aabb **d)** aaBB e Aabb
b) aaBb e aabb **e)** Aabb e aaBb
c) AaBb e AAbb

- 10. UFTM-MG** – Em certa variedade de plantas, a altura mínima das flores é de 20 cm a partir do solo e a altura máxima é de 32 cm. Sabendo que se trata de um caso de herança quantitativa e que cada alelo efetivo contribui com 2 cm, pode-se afirmar corretamente que uma planta cuja altura de suas flores seja 28 cm, pode apresentar o genótipo

- a)** AABBCc.
b) AaBBcc.
c) AabbCc.
d) AaBbCc.
e) AABbCc.

- 11. Unifor-CE** – Na moranga, a cor dos frutos deve-se às seguintes combinações de genes:

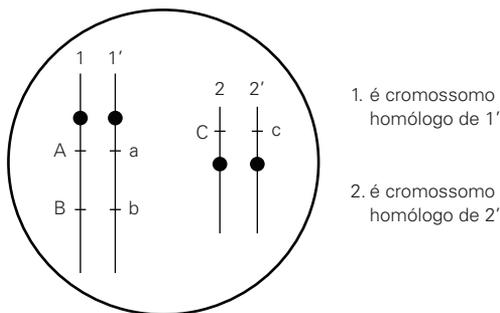
- B_aa = amarelo
 B_A_ = branco
 bbA_ = branco
 bbaa = verde

Estas informações permitem concluir que o gene

- a)** A é epistático sobre seu alelo.
b) B é epistático sobre A e sobre a.
c) a é hipostático em relação a A.
d) b é hipostático em relação a B.
e) A é epistático sobre B e sobre b.

- 12. Sistema Dom Bosco** – Suponha que uma determinada característica de herança poligênica apresenta quatro pares de alelos interagindo entre si. Calcule o número de fenótipos possíveis para essa característica.

13. PUC-SP (adaptado) – Um indivíduo é heterozigoto para três pares de genes ($AaBbCc$), e esses genes estão localizados nos cromossomos, conforme é mostrado na figura.



Se uma célula desse indivíduo entrar em meiose e não ocorrer *crossing over*, podem ser esperadas, ao final da divisão, células com constituição

- AbC ; aBc ou Abc ; aBC .
- ABC ; abc ou abC e abC .
- apenas ABC e abc .
- apenas Abc e abC .
- apenas $AaBbCc$.

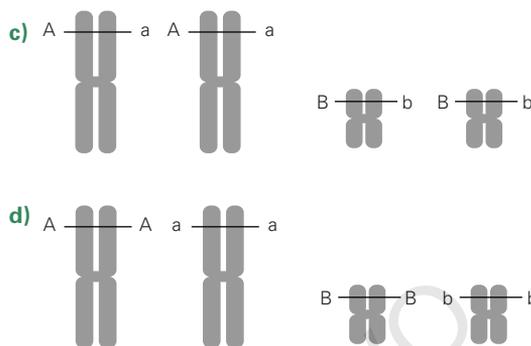
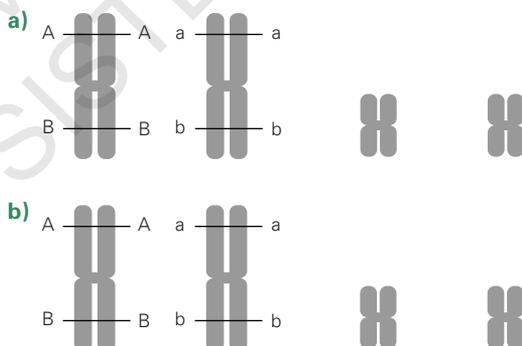
14. PUC-SP – O cruzamento entre um heterozigoto $AaBb$ e um homozigoto recessivo $aabb$ produziu uma descendência com as seguintes taxas:

- $AaBb$ – 2,5%
- $aaBb$ – 47,5%
- $Aabb$ – 47,5%
- $aabb$ – 2,5%

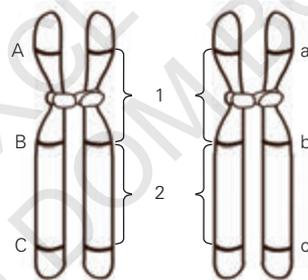
Em relação ao resultado obtido, foram feitas cinco afirmações. Assinale a única **incorreta**.

- O resultado não está de acordo com a segunda lei de Mendel.
- No caso de herança mendeliana, o resultado esperado seria 25% para cada classe de descendente.
- Os genes em questão localizam-se no mesmo cromossomo.
- O heterozigoto utilizado no cruzamento produziu gametas Ab e aB por permutação ou *crossing over*.
- O heterozigoto utilizado no cruzamento apresenta constituição *trans*.

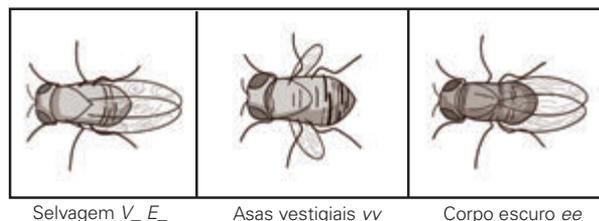
15. Unicamp-SP – Considere um indivíduo heterozigoto para dois *loci* gênicos que estão em *linkage*, ou seja, não apresentam segregação independente. A representação esquemática dos cromossomos presentes em uma de suas células somáticas em divisão mitótica é:



16. Unioeste-PR (adaptado) – O desenho a seguir representa um par de cromossomos homólogos, com 3 genes: *gene A*, *gene B* e *gene C*, cada um destes possuindo dois alelos (alelo dominante e alelo recessivo). A partir deste desenho, cite os possíveis gametas, considerando que houve *crossing over* apenas na região 2.



17. FGV-SP – Em experimentos envolvendo cruzamentos de moscas *Drosophila melanogaster*, cujos alelos apresentam ligação gênica, estudantes analisaram insetos selvagens, insetos com asas vestigiais e insetos com corpo escuro. As características fenotípicas e genotípicas estão ilustradas no quadro a seguir.



O cruzamento entre moscas duplo heterozigotas, VE/ve , com duplo recessivas, ve/ve , para essas características gerou cerca de 4800 descendentes. Admitindo-se que não ocorreu permutação entre os alelos, espera-se que o número de descendentes selvagens; com asas vestigiais; com corpo escuro; e com asas vestigiais e corpo escuro seja, respectivamente, em torno de

- 3600; 450; 450 e 300.
- 2700; 900; 900 e 300.
- 2400; 0; 0 e 2400.
- 2400; 1200; 1200 e 0.
- 1200; 1200; 1200 e 1200.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

As abóboras podem apresentar três colorações diferentes: amarela, branca ou verde. Isso ocorre devido à interação de dois genes que se encontram em cromossomos diferentes: o gene Y e o gene W. O alelo Y determina o pigmento amarelo, enquanto o alelo y determina o pigmento verde. O alelo W não permite que os pigmentos sejam produzidos, enquanto o alelo w permite. No cruzamento entre abóboras brancas duplo heterozigotas, teremos abóboras brancas, amarelas e verdes. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, que tipo de herança é essa?

- a) Autossômica dominante.
- b) Pleiotropia.
- c) Interação gênica não epistática.
- d) Epistasia recessiva.
- e) Epistasia dominante.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H13

A surdez congênita pode ocorrer por duas vias gênicas diferentes: um gene denominado D, responsável pela formação da cóclea, ou um gene denominado E, responsável pelo desenvolvimento do nervo auditivo. Ambos os *loci* apresentam dois alelos cada um, sendo que os alelos recessivos de cada *locus*, em homozigose, não desenvolvem as respectivas estruturas auditivas. Portanto, um indivíduo pode ser surdo por não desenvolver a cóclea (genótipo __dd) ou não desenvolver o nervo auditivo (genótipo ee__), ou, ainda,

por não desenvolver nenhuma dessas estruturas (genótipo eedd). Com base nessas informações, pode-se afirmar que se trata da anomalia

- a) herança poligênica.
- b) interação gênica não epistática.
- c) epistasia dominante.
- d) epistasia recessiva.
- e) pleiotropia.

20. Enem

C4-H13

O Brasil possui um grande número de espécies distintas entre animais, vegetais e microrganismos envolvidos em uma imensa complexidade distribuídas em uma grande variedade de ecossistemas.

Fonte: SANDES, A.R.R.; BLASI, G. Biodiversidade e diversidade química e genética. Disponível em: <http://novastecnologias.com.br>. Acesso em: 22 set. 2015. (Adaptado)

O incremento da variabilidade ocorre em razão da permuta gênica, a qual propicia a troca de segmentos entre cromátides não irmãs na meiose. Essa troca de segmentos é determinante na

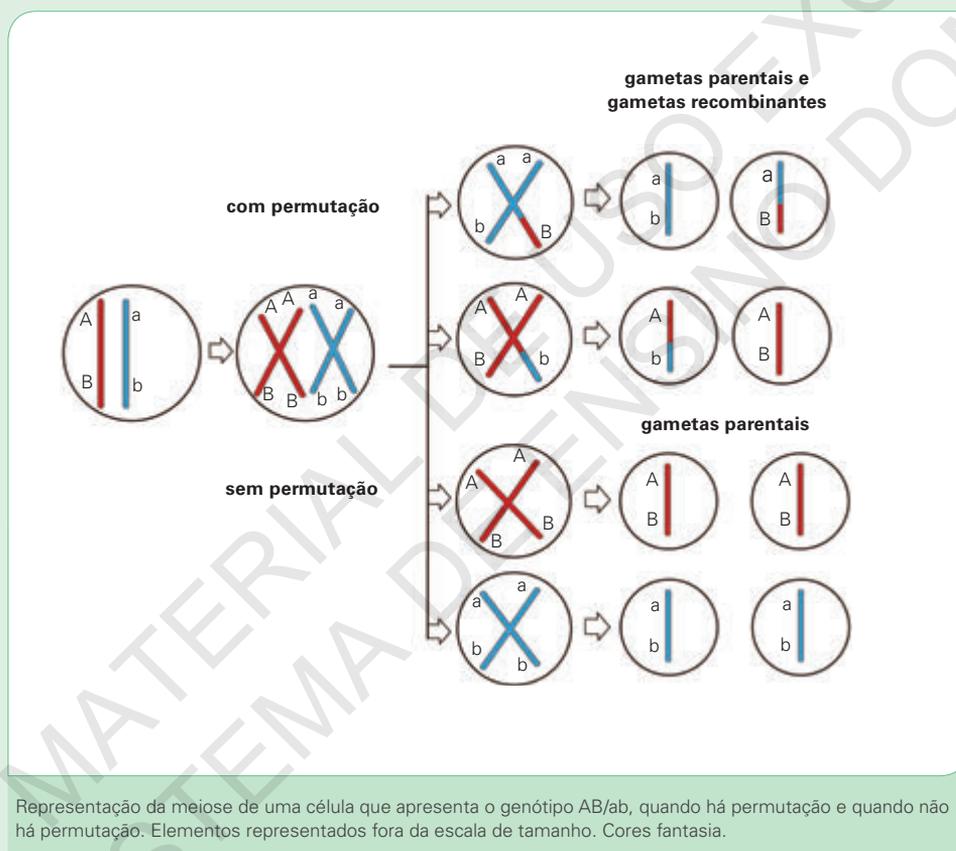
- a) produção de indivíduos mais férteis.
- b) transmissão de novas características adquiridas.
- c) recombinação genética na formação de gametas.
- d) ocorrência de mutações somáticas nos descendentes.
- e) variação do número de cromossomos característicos da espécie.

GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES, MAPAS CROMOSSÔMICOS E BIOTECNOLOGIA

22

GAMETAS PARENTAIS E RECOMBINANTES

Quando as células de um indivíduo que apresenta genótipo **AB/ab** sofrem meiose para formar gametas, podem ocorrer variações se houver ou não permutação (*crossing over*). Se não houver *crossing over*, apenas dois tipos de gametas são formados: **AB** e **ab**. Por outro lado, se ocorrer *crossing over*, poderão ser formados, além dos gametas parentais (AB e ab), os gametas **aB** e **Ab**.

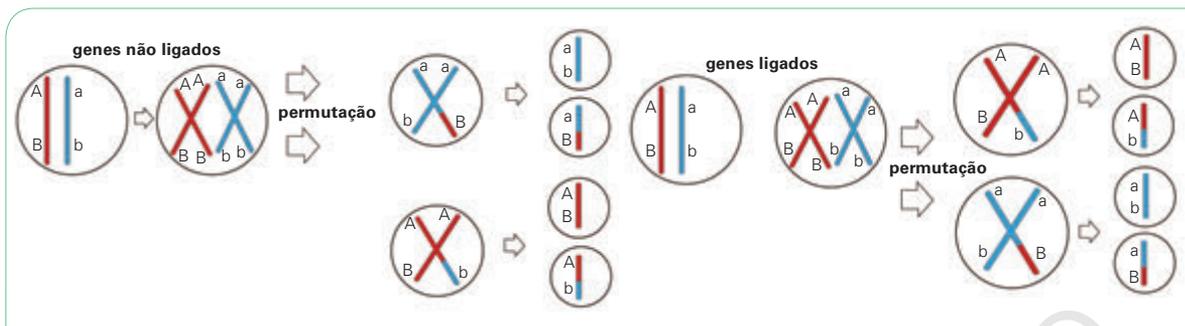


HABILIDADES

- Gametas parentais e recombinantes
- Mapas cromossômicos
- Biotecnologia e tecnologia do DNA recombinante
- Organismos transgênicos
- Diferenciar gametas parentais e recombinantes.
- Calcular a taxa de recombinação entre os cromossomos.
- Mapear um cromossomo baseado nas taxas de recombinação.
- Explicar o processo de mapeamento cromossômico.
- Compreender a importância da recombinação e do mapeamento cromossômico.
- Descrever os principais métodos utilizados na engenharia genética.
- Relacionar o uso de enzimas de restrição e ligação com clonagem gênica.
- Diferenciar organismos geneticamente modificados de organismos transgênicos.
- Citar os pontos positivos e negativos da produção de transgênicos.

Quando não há permutação, são produzidos gametas com genótipos iguais aos da célula parental, sendo, portanto, denominados **gametas parentais**, dos quais 50% são **AB** e 50% são **ab**. Caso haja permutação, as proporções serão diferentes, sendo 25% **AB** e 25% **ab** de gametas parentais, e 25% **aB** e 25% **Ab** de **gametas recombinantes** em razão do *crossing over*. Esses novos rearranjos aumentam a variabilidade genética entre as espécies.

Dessa forma, essas taxas podem variar quando há ligação gênica, pois genes que se encontram ligados apresentam apenas dois tipos de gametas diferentes, enquanto aqueles que se encontram separados podem sofrer permutação.



Representação das diferenças na formação de gametas quando há genes não ligados e genes ligados, respectivamente. Os genes ligados sofrem duas interações: uma na qual os alelos estão ligados e, por isso, não sofrem *crossing over*, e uma na região proveniente de outro cromossomo (a região de cor diferente) e que não é ligada. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

TAXA DE RECOMBINAÇÃO

Thomas Morgan e outros geneticistas observaram que a chance de ocorrer permutação entre dois pares de alelos em *linkage* é proporcional à distância existente entre eles. Assim, quanto maior for a distância, maior a probabilidade de ocorrer *crossing over*. Não se trata de uma distância absoluta, mas de um valor relativo para mapear os cromossomos.

Para avaliar a ocorrência de permutação, determina-se a taxa de recombinação entre dois alelos da seguinte forma:

$$\text{Taxa de recombinação} = \frac{\text{gametas recombinantes} \times 100}{\text{total de gametas}}$$

O valor expressa a porcentagem de gametas recombinantes no total de gametas, uma vez que a relação é multiplicada por 100. Assim, se os gametas recombinantes representam 45% do total, a taxa de recombinação é de 45%.

Foi estabelecido que, para cada 1% de taxa de recombinação, a distância entre dois genes seria convencionada a uma unidade de recombinação, denominada **unidade de mapeamento cromossômico (UMC, UR ou centimorgan**, em homenagem a Thomas Morgan).

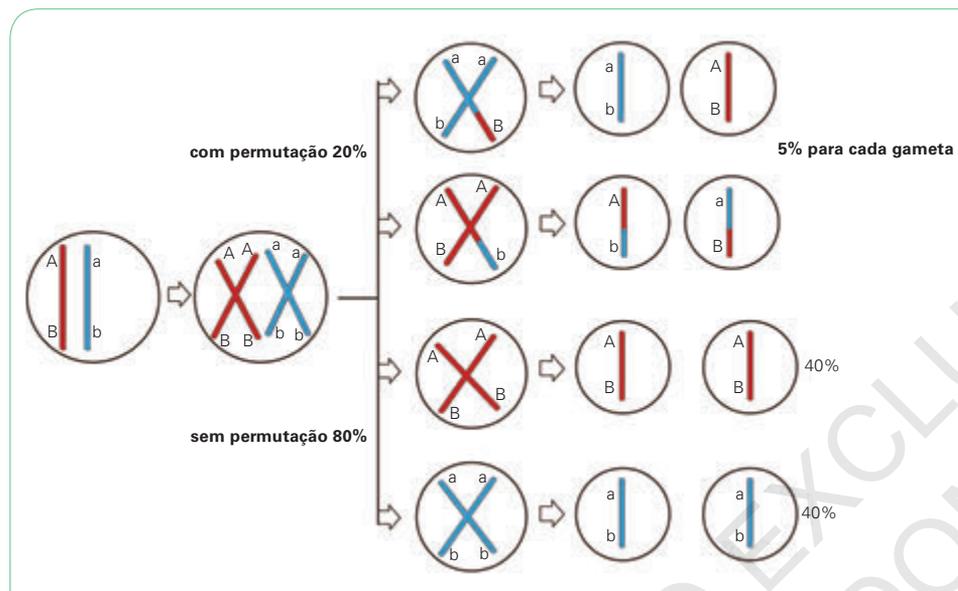
Cada **UMC** ou **centimorgan** é igual a 1% de permuta.

Se a distância entre dois genes for de 15 UMC, então a taxa de recombinação será de 15%. Vale ressaltar que a taxa de recombinação não reflete a quantidade de células que sofrem recombinação, mas a porcentagem de gametas que são recombinantes. Mesmo nas células em que ocorre *crossing over*, as cromátides externas não trocam fragmentos e dão origem a gametas parentais.

Suponha que um indivíduo apresente o genótipo AB/ab e que, durante a formação de gametas, 20% sofram permutação. Portanto, 80% não sofrem permutação e formam dois tipos de gametas: 40% **AB** e 40% **ab** (gametas parentais). Como 20% das células sofreram permutação, foram originados quatro tipos de gametas: 5% **AB**, 5% **ab**, 5% **aB** e 5% **Ab**, apresentando:

45%	AB
45%	Ab
5%	aB
5%	Ab

Dessa forma, 90% dos gametas são parentais (**AB** e **ab**) e 10% são recombinantes (**aB** e **Ab**). A partir desses resultados, pode-se concluir que a taxa de recombinação equivale à metade da quantidade de gametas que sofrem permutação, e os gametas parentais são sempre aqueles que surgem em maiores proporções.



Esquema que representa os possíveis gametas de uma célula que tem 20% de taxa de recombinação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

MAPAS CROMOSSÔMICOS

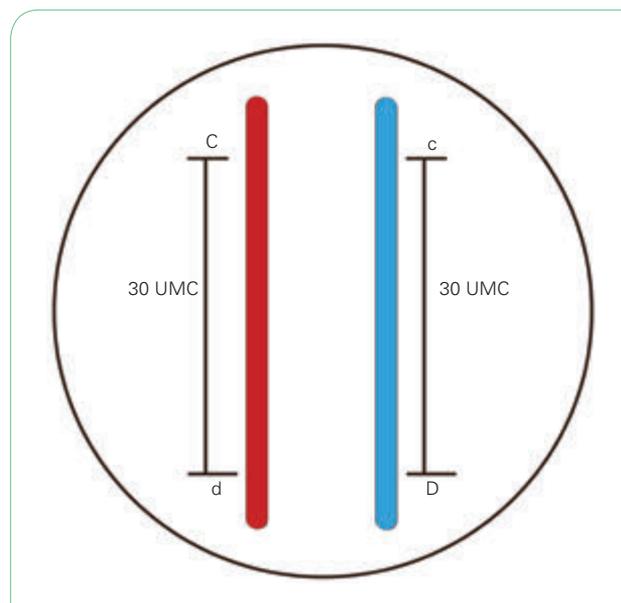
Os mapas cromossômicos são a representação linear da distribuição dos genes em um cromossomo. São feitos com base na distância relativa entre os genes, calculada a partir da taxa de recombinação entre eles.

Suponha que um indivíduo produza gametas nas seguintes proporções: 15% **CD**, 15% **cd**, 35% **cD** e 35% **Cd**. Com essas proporções, é possível identificar que se trata de um caso de *linkage*, caso contrário a proporção gamética seria igual para todos os gametas.

Os gametas que aparecem em maior proporção (**Cd** e **cD**) são os gametas parentais e, portanto, o genótipo desse indivíduo é **Cd/cD**, ou seja, duplo heterozigoto do tipo *trans*. Uma vez identificada a distribuição alélica, é possível determinar a distância entre eles pela taxa de recombinação. Do total de gametas gerados, 70% são gametas parentais, e 30%, são recombinantes (gametas **CD** e **cd**), o que indica que a taxa de recombinação é de 30% e a distância entre os *loci* é igual a 30 UMC. Tanto em gametas parentais quanto em recombinantes a distância obedece à proporção dos gametas recombinantes.

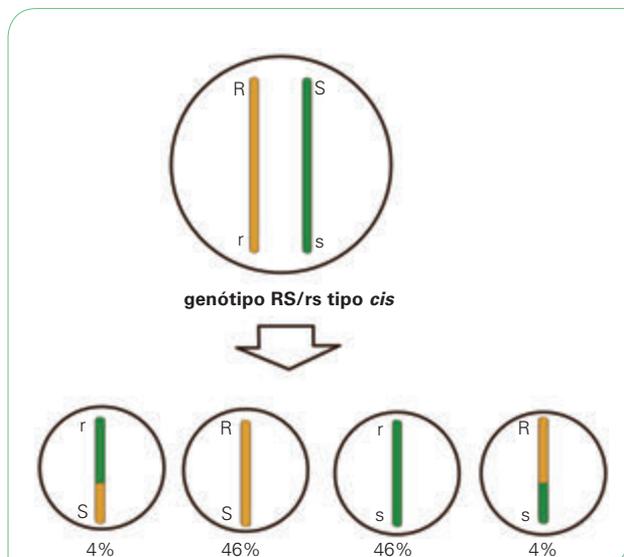
Quando se quer saber a porcentagem de gametas parentais e recombinantes, sabendo qual a posição dos pares de genes no cromossomo, é possível utilizar o mesmo raciocínio.

Em moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), por exemplo, há dois pares de alelos **Rr** e **Ss** que apresentam distância igual a 8 UMC. Suponha que um indivíduo apre-



Representação dos cromossomos parentais, em posição *trans*, e distância entre os pares de genes em questão. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

sente genótipo duplo heterozigoto em posição *cis*. Os gametas parentais são **RS** e **rs** e devem formar esses gametas em maiores proporções. Como a distância entre os *loci* é de 8 UMC, a taxa de recombinação é de 8% e, assim, 92% são gametas parentais. Dessa forma, os possíveis gametas produzidos são: 46% **RS**, 46% **rs**, 4% **rS** e 4% **Rs**.



Representação dos possíveis gametas formados a partir de um indivíduo duplo heterozigoto com genes ligados do tipo *cis*, apresentando 8% de taxa de recombinação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CONSTRUÇÃO DE MAPAS CROMOSSÔMICOS

Os primeiros cromossomos a serem mapeados foram os de *Drosophila melanogaster* e dos seres humanos, no Projeto Genoma Humano. A partir das taxas de recombinação é possível realizar o mapeamento do cromossomo utilizando a posição relativa dos genes ao longo de um cromossomo.

Suponha que os alelos **A**, **B**, **C** e **D** se encontrem em *linkage* e que a taxa de recombinação entre eles seja:

A e **B** = 12% (ou 12 UMC);

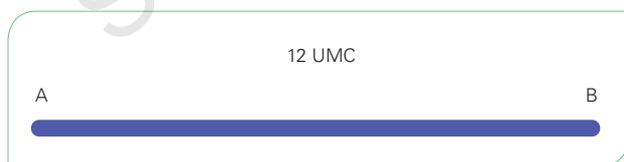
A e **C** = 4% (ou 4 UMC);

B e **C** = 8% (ou 8 UMC);

C e **D** = 6% (ou 6 UMC);

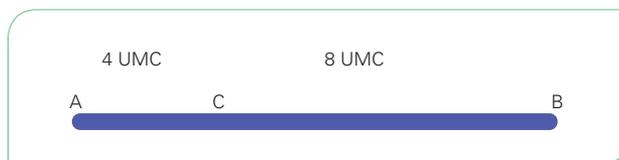
D e **B** = 2% (ou 2 UMC).

O mapeamento se inicia com a indicação da maior distância conhecida, neste caso, entre os alelos **A** e **B**.



Em seguida, são adicionadas as distâncias sucessivamente em ordem decrescente. A distância entre

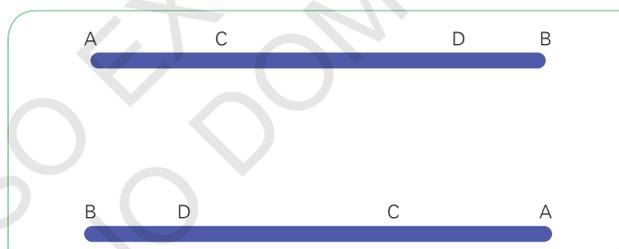
B e **C** é de 8 UMC e a distância entre **A** e **C** é 4 UMC, indicando que **C** está entre **A** e **B**.



O alelo **D** está a 6 UMC de **C** e 2 UMC de **B**.



Portanto, a posição relativa desses alelos no cromossomo provavelmente é **A-C-D-B** ou **B-D-C-A**, conforme esquema.



BIOTECNOLOGIA E TECNOLOGIA DO DNA RECOMBINANTE

A malária é causada por protozoários do gênero *Plasmodium* de pelo menos cinco espécies capazes de infectar o ser humano. Esses protozoários entram na corrente sanguínea através da picada do mosquito do gênero *Anopheles* e se reproduzem no interior das hemácias até rompê-las, alimentando-se dos nutrientes no ambiente e provocando sintomas graves. Entretanto, o ciclo de vida desses organismos é bastante complexo, podendo apresentar formas assexuadas e sexuadas, que são diferentes nos hospedeiros.

Quando o parasito está no mosquito, ele sofre gametogênese e gera gametas que se juntam para formar o zigoto móvel, que viaja através do intestino médio do *Anopheles* até chegar na probóscide (aparelho sugador) do inseto, de onde é inoculado no ser humano. É no mosquito que o parasito adquire a forma infectante em humanos.

Há diversos medicamentos capazes de tratar a malária. Eles atuam diretamente na fase em que o protozoário se multiplica no sangue. Com o uso do

medicamento, apenas os parasitos que rompem as hemácias são mortos e aqueles que estão no fígado ficam adormecidos, e nesse estado de dormência não se multiplicam como antes e não rompem as hemácias, não causando então os sintomas visíveis. O tratamento é de longa duração (cerca de 14 dias). Sem eficácia de 100%, o que geralmente ocorre é que já nos primeiros dias o paciente se vê livre dos sintomas da doença e não dá continuidade ao tratamento. No entanto, mesmo não apresentando os sintomas da doença, o indivíduo continua carregando formas do microrganismo que são capazes de ser transmitidas pelo mosquito para outros indivíduos.

Em 2018, pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) desenvolveram um parasito transgênico a fim de testar a eficácia de novas drogas contra a malária. Foi adicionado ao genoma do protozoário uma sequência de DNA extraída de camarão, responsável pela síntese de uma proteína chamada nanoluciferase. Essa proteína, que passa a ser produzida pelo protozoário, emite luz fluorescente enquanto o organismo estiver vivo. Dessa forma, caso a nova droga seja bem-sucedida contra o parasito, este para de sintetizar a proteína e a luz fluorescente deixa de ser emitida. Analogamente, no caso de a droga não matar o protozoário, a luz continua a ser emitida.

Até o momento o teste tem sido realizado em placas de laboratório, que contêm de 96 a 1 536 poços, e em cada um deles são adicionados os gametas e uma droga diferente a ser testada. Os gametas foram escolhidos para os testes, pois, se houver alguma alteração neles, o ciclo de vida não terá continuidade e será parado logo no começo, impedindo que sejam criados “estoques escondidos” do parasito, como pode ocorrer no tratamento utilizado atualmente. Ao todo, foram testadas 400 drogas, e no momento o grupo de pesquisa avalia quais são as mais promissoras para que sejam testadas em modelos de parasitas que infectam humanos, pois até então foram utilizadas apenas as formas infectantes de espécies de camundongos. Estudos como esse ajudam a desenvolver melhores formas de bloqueio contra transmissões de doenças complexas como a malária.

BIOTECNOLOGIA

A biotecnologia (do grego: *bios* = vida; *tecno* = utilização prática da ciência; *logos* = conhecimento) é um conjunto de técnicas que possibilitam a seleção e modificação de organismos. Tal prática está presente na produção de pães, vinhos e antibióticos desde meados de 1800 a.C. e envolve o emprego de microrganismos. Atualmente, é empregada na produção de medicamentos e vacinas e na seleção de animais e plantas, como na produção de rosas ou, ainda, na domesticação de animais, originando raças de cães, gatos, gados e cavalos.

Aliada aos conhecimentos da Biologia, da Química e da Engenharia, a Biotecnologia procura criar e desenvolver bioprodutos aplicáveis. Nas últimas décadas, após a descoberta da estrutura e da propriedade do DNA, houve a incorporação de técnicas de manipulação dessa molécula *in vitro*, denominada **engenharia genética**.

DNA RECOMBINANTE

O DNA recombinante é uma molécula híbrida produzida a partir da união de DNAs de origens diferentes. Este é o caso do gene humano responsável pela síntese de insulina, que pode ser ligado ao DNA de uma bactéria e produzido como medicamento para pessoas com diabetes, por exemplo. O DNA de um organismo também pode ser combinado a um fragmento de DNA produzido sinteticamente em laboratório.

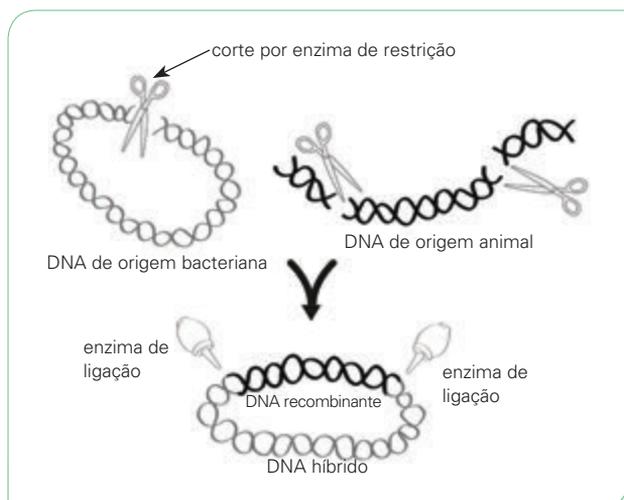
O primeiro experimento realizado nesse ramo ocorreu em 1972 pelo pesquisador estadunidense Paul Berg (1926), ganhador do Prêmio Nobel de Química. Ele uniu uma cadeia de DNA de origem animal com uma cadeia de origem bacteriana, uma vez que a molécula de DNA, independentemente de sua origem, apresenta o mesmo código genético, que é universal. A biotecnologia como a conhecemos atualmente surgiu naquela época e, desde então, as tecnologias e manipulações tornaram-se frequentes. Posteriormente foram desenvolvidas as enzimas de restrição e a clonagem gênica.

ENZIMAS DE RESTRIÇÃO

As enzimas de restrição são fundamentais para que ocorra a formação do DNA recombinante, porque ela é responsável por cortar os trechos do DNA em fragmentos específicos (geralmente genes) com sequências de bases que sejam de interesse. Em seguida, esses fragmentos são inseridos em outra molécula de DNA, tornando-a híbrida. Há casos em que esse fragmento não é combinado a outro, sendo utilizado de forma isolada, para a verificação de medicamentos, ou mutações naquela sequência. Uma enzima chamada **DNA ligase**, ou **enzima de ligação**, atua na inserção de regiões de interesse em outra molécula de DNA.

Quem descobriu as enzimas de restrição foram os pesquisadores Werner Arber, Daniel Nathans e Hamilton O. Smith, que ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina em 1978. Atualmente, existem centenas de enzimas de restrição e são geralmente encontradas no sistema de defesa das bactérias, atuando contra bacteriófagos, fragmentando o DNA viral e inativando-o.

Enzimas de restrição são atualmente comercializáveis, sendo isoladas principalmente de bactérias *E. coli*, e são amplamente utilizadas na área da biologia molecular.



Esquema de produção de um DNA recombinante que enfatiza a função da enzima de restrição e da DNA de ligação. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLONAGEM GÊNICA

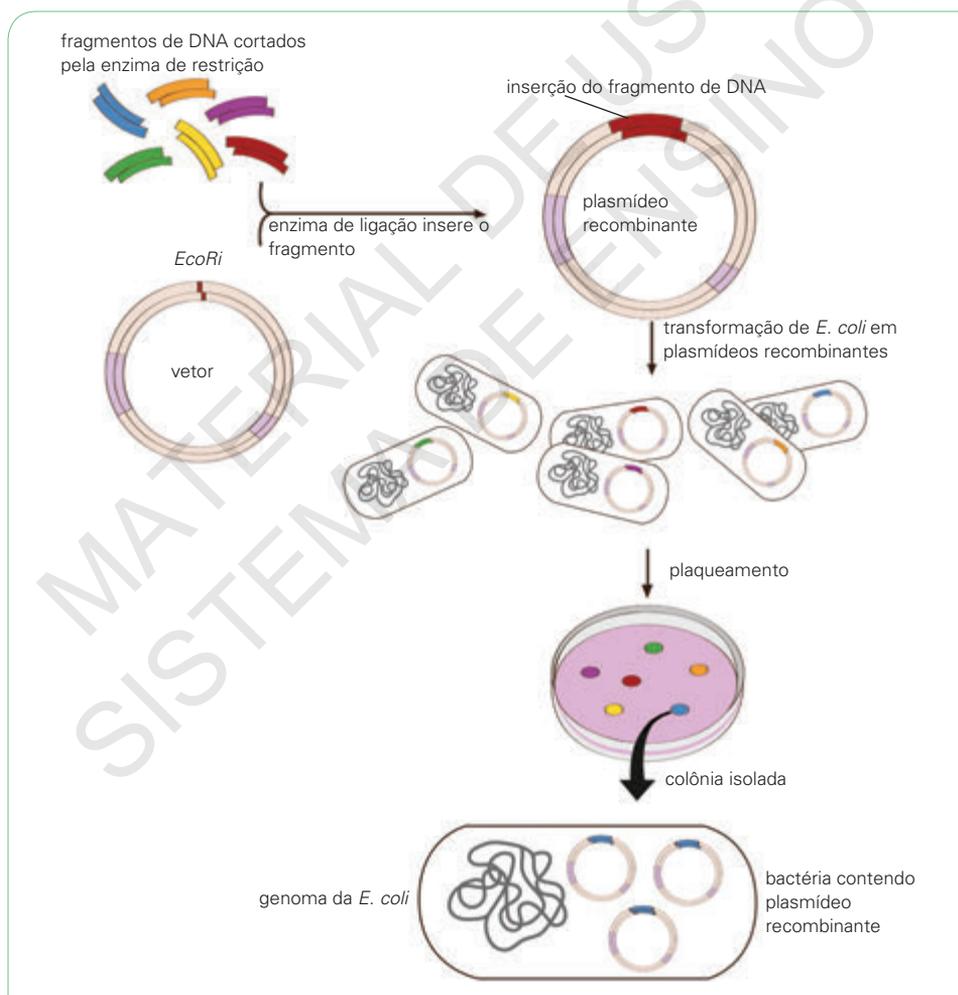
A clonagem gênica é a produção de inúmeras cópias idênticas de um mesmo fragmento de DNA. Esse processo se inicia a partir do isolamento do fragmento de interesse pela ação da enzima de restrição e, então, esse trecho é inserido em moléculas de DNA de **veto-**

res (bactérias ou vírus) que, ao se reproduzirem, replicam também as moléculas recombinantes que foram inseridas. A escolha do vetor depende do tamanho do fragmento de DNA que será clonado. Inserir os fragmentos em vetores de bactérias e vírus permite que a clonagem (ou replicação) dos fragmentos seja extremamente rápida e em grandes quantidades, aumentando exponencialmente o número de fragmento produzidos.

Plasmídeos

Os **plasmídeos** são pequenas moléculas de DNA circular encontrados exclusivamente em bactérias. Esses fragmentos possuem um mecanismo de replicação independente e são facilmente trocados entre as bactérias e entre as bactérias e o hospedeiro durante a conjugação. Uma das propriedades mais conhecidas dos plasmídeos é a presença de genes que conferem resistência a determinados antibióticos. Vale ressaltar que, além dos plasmídeos, as bactérias possuem um material genômico também circular, no qual é encontrada uma quantidade bem maior de genes do que nos plasmídeos.

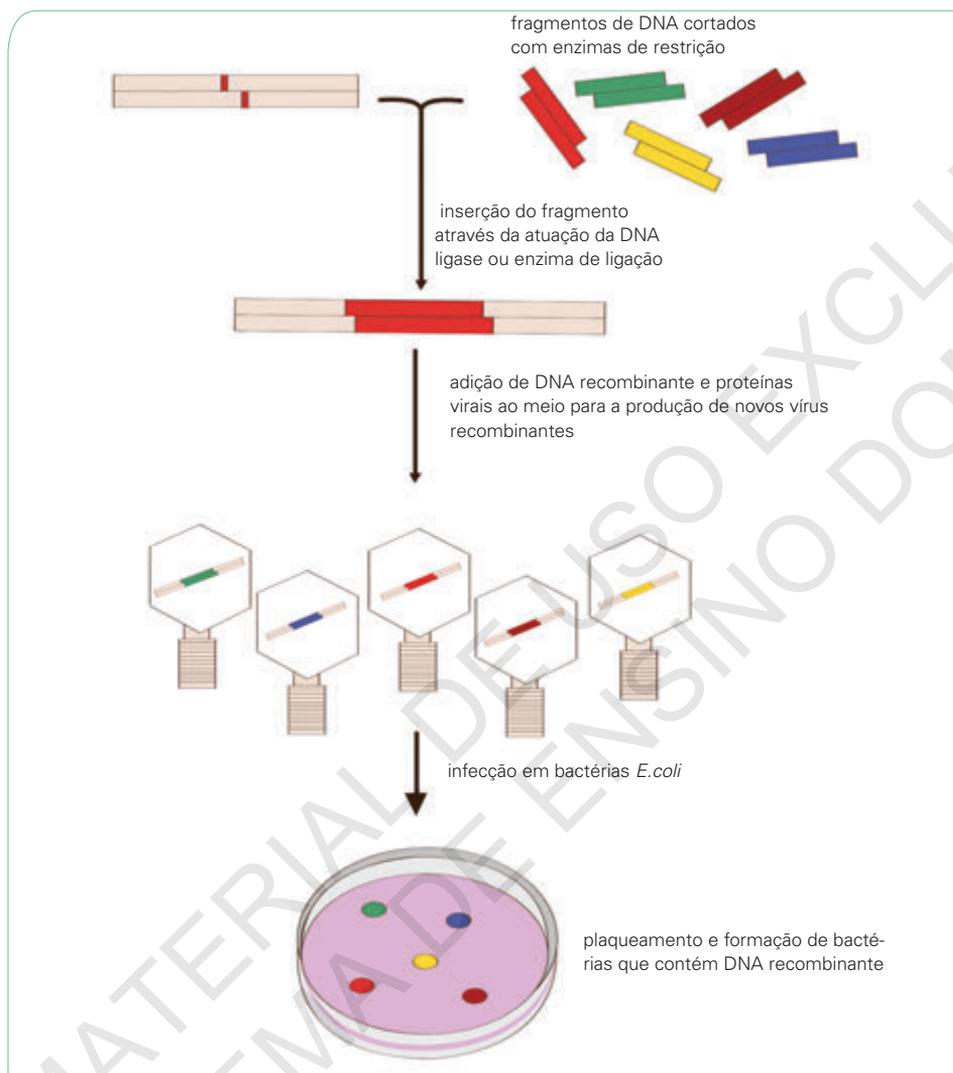
Os plasmídeos podem ser usados como vetores por não interferirem na reprodução do indivíduo, visto que as funções reprodutivas das bactérias são reguladas pelo material genômico. São aceitos fragmentos de até 10 mil pares de bases para ocorrer o procedimento com eficiência.



Procedimentos para obtenção da clonagem de determinado gene que utilizam plasmídeos como vetores. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Bacteriófagos

Os vírus também são utilizados como vetor na clonagem de genes, por sua fácil manipulação sem que seja alterado seu processo reprodutivo. O bacteriófago se caracteriza por infectar apenas organismos procariotos e pode pertencer a vírus de DNA ou RNA. É possível adicionar fragmentos de até 20 mil pares de bases de maneira que o procedimento ocorra com sucesso. Assim como em plasmídeos, nos bacteriófagos também são utilizadas enzimas de restrição capazes de cortar o fragmento alvo para clonagem e enzimas de ligação para inseri-lo na molécula de DNA do bacteriófago, conforme ilustrado a seguir.



Procedimentos para obtenção da clonagem de determinado gene que utilizam bacteriófagos como vetores. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ORGANISMOS TRANSGÊNICOS

Organismos Geneticamente Modificados (OGM) são aqueles que apresentam seu **material genético modificado** (DNA ou RNA) a partir de técnicas de engenharia genética. Vale ressaltar que todo transgênico é um organismo geneticamente modificado, mas não são todos os OGM que são **transgênicos**, pois, para ser considerado como tal, o organismo deve **receber um ou mais genes de outros organismos**. Uma bactéria, por exemplo, pode ser geneticamente modificada para superexpressar uma proteína, o que caracteriza um OGM, mas não um transgênico. Caso ela receba um gene ou mais de outros organismos, como o gene de camarões, responsável por produzir a nanoluciferase, ela será um transgênico.

Não é qualquer tipo de modificação genética que permite tornar um organismo transgênico pois mutações podem ocorrer naturalmente e ao acaso nas espécies, e isso não as torna transgênicas. Para ser denominado como um **transgênico**, obrigatoriamente a molécula de DNA necessita ser **manipulada em laboratório**, com a interferência humana.

O primeiro caso de transgenia ocorreu na década de 1970, em que bactérias *E. coli* receberam o gene humano responsável pela produção de insulina. A partir disso, foi possível sintetizar esse hormônio nos laboratórios, o que foi um avanço significativo para o tratamento de diabetes.

Outro exemplo de transgênico bem conhecido é o de plantas e animais que apresentam o gene da bioluminescência de vaga-lumes. Por meio da técnica do DNA recombinante, o gene que codifica a enzima luciferase, responsável pela luminosidade, foi transferida a outro organismo, permitindo que os organismos que o recebem emitissem luz.

MAKOTO IWAFUJI/EURELIOS / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTARENA



Rato transgênico emitindo a bioluminescência.

Existem diversos outros organismos transgênicos encontrados no mundo inteiro, principalmente plantas. No Brasil, a soja Roundup-Ready, produzida pela empresa Monsanto, possui genes de bactérias e vírus que proporcionam à planta resistência ao inseticida Roundup, utilizado na eliminação de ervas daninhas. Com a tolerância a esse herbicida, o agricultor pode utilizar esse produto na plantação de soja sem perdê-la e sem adicionar outros herbicidas.

Do mesmo modo, o milho Bt é capaz de produzir uma toxina originada de bactérias da espécie *Bacillus thuringiensis*, que mata insetos. Outros exemplos são o arroz dourado, que possui genes relacionados com a produção do betacaroteno, precursor da vitamina A, e o tomate FLAVR SAVR, que tem um gene responsável pela produção da enzima poligalacturonase, proporcionando um processo de maturação mais lento e prolongando a vida do fruto. Nesses casos, esses organismos foram modificados com o objetivo de aumentar a produção e reduzir os custos.

LEITURA COMPLEMENTAR

Alimentos transgênicos: prós e contras

Identificar alimentos transgênicos não é muito fácil, uma vez que anatomicamente eles são idênticos aos alimentos naturais. Porém, os alimentos transgênicos apresentam características que promovem melhoria em seu cultivo e também aumentam a produtividade, tais como resistência a pragas, menor necessidade de agrotóxicos, amadurecimento em um prazo maior ou alto valor nutricional.

Embora tenham todos esses benefícios, a produção dos transgênicos ainda gera muitas dúvidas para a comunidade científica, principalmente em relação à saúde humana. Um dos pontos de discussão seria o aparecimento de alergia a longo prazo; entretanto, em mais de uma década de uso, não foi registrado nenhum tipo de dano aos consumidores.

Em relação ao meio ambiente, os transgênicos também são considerados vilões, uma vez que a resistência a pragas pode tornar plantas e animais exóticos mais resistentes, sendo necessário maior uso de agrotóxicos, o que gera desequilíbrio ecológico no ambiente. Além de interferir de maneira incisiva na cadeia alimentar e nas relações ecológicas estabelecidas na região, com a gradual substituição dos naturais por resistentes a insetos, por exemplo, estes podem desaparecer daquele ecossistema, prejudicando seus predadores, que por sua vez ou podem vir a mudar a dieta ou correm o risco de desaparecer.

Outro ponto negativo é que a espécie transgênica, por não ser natural, também perderá ao longo das gerações a variabilidade genética por ter apenas alguns genes de importância econômica selecionados para consumo humano.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), os alimentos transgênicos não apresentam riscos para a saúde humana. É possível identificar um produto transgênico a partir da existência de um T dentro de um triângulo amarelo presente na embalagem de alguns produtos comercializados atualmente. No entanto, a Comissão de Meio Ambiente (CMA) do Senado, aprovou, em 2018, o fim da obrigatoriedade do símbolo que indica presença de ingredientes transgênicos nas embalagens de alimentos.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. Alimentos transgênicos. Mundo Educação. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/saude-bem-estar/alimentos-transgenicos.htm>>. Acesso em: fev. 2019. (Adaptado)



Símbolo de alimentos transgênicos.

ROTEIRO DE AULA

GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES E MAPEAMENTO CROMOSSÔMICO

Gametas parentais e recombinantes

Quando os gametas são iguais aos da célula parental, são denominados

gametas parentais

Quando os gametas apresentam novos rearranjos são

gametas recombinantes

formados pela

permutação ou *crossing over*

Quanto

maior

a distância entre os genes

maior

a chance de ocorrer permutação

Taxa de recombinação = $\frac{\text{gametas recombinantes}}{\text{total de gametas}} \times 100$

Taxa de permuta é a

taxa UMC

Mapeamento cromossômico

Representação linear da distribuição de

genes

no cromossomo

ROTEIRO DE AULA

BIOTECNOLOGIA

Tecnologia do DNA recombinante

Conjunto de técnicas que permitem

seleção e modificação

de organismos

Engenharia genética

manipulação *in vitro* de DNA

DNA recombinante

molécula de DNA produzida pela união de moléculas de DNA de origens diferente

Enzimas de restrição

atuam como "tesouras" que cortam fragmentos de DNA

Enzimas de ligação

atuam como "colas" inserindo fragmentos de DNA nos vetores

produção de múltiplas cópias de determinado fragmento de DNA

Clonagem gênica

quando os vetores se reproduzem, multiplicam o fragmento

os vetores podem ser

plasmídeos

bacteriófagos

Organismos transgênicos

OGM são

organismos geneticamente modificados

Transgênicos apresentam um ou mais

genes

provenientes de

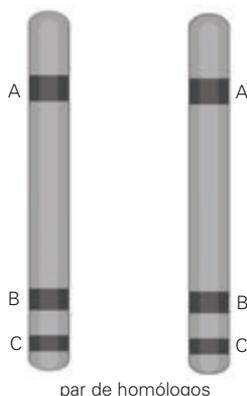
outros organismos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEG-GO

C4-H13

O processo de divisão celular é extremamente importante nos processos biológicos. Durante a prófase da primeira divisão da meiose, os cromossomos homólogos podem passar por permutações entre si (recombinação ou *crossing over*), gerando gametas com uma combinação de alelos diferentes das combinações existentes nos cromossomos dos pais. A soma desses recombinantes é chamada de taxa ou frequência de recombinação. A figura a seguir exemplifica um caso de três genes: **A**, **B** e **C**, situados em um par de cromossomos homólogos.



Sobre as taxas de recombinação entre esses *loci*, verifica-se que a taxa de recombinação entre

- a) A, B e C é randomizada e inespecífica.
b) A e C é maior que entre A e B.
 c) A e B é equivalente à taxa entre B e C.
 d) A e B é menor que entre B e C.

A taxa de recombinação é maior quanto maior for a distância entre os genes. Portanto, a chance de recombinação entre A e C é alta, seguida da chance de recombinação entre A e B. Entretanto, B e C apresentam baixa taxa de recombinação por estarem muito próximos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevenindo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

2. UEL-PR (adaptado) – Suponha que a distância entre os *loci* **G** e **H** seja de 16 UMC. Qual é a taxa de recombinação entre eles?

- a) 8% c) 32% e) 84%
b) 16% d) 42%

1 UMC é equivalente a 1% de taxa de recombinação. Portanto, 16 UMC é igual a 16% de taxa de recombinação.

3. UFES – Alunos do curso de Ciências Biológicas realizaram cruzamento-teste entre tomates para analisar diferentes genes e obtiveram os resultados a seguir:

GRUPOS DE ALUNOS	GENES	TAXA DE RECOMBINAÇÃO
G1	aw/wo	9%
G2	op/al	14%
G3	dil/sr	50%

Com base nessas informações, indique qual(is) grupo(s) trabalhou(aram) com genes ligados e explique como você chegou a essa conclusão. Além disso, calcule

a distância em unidades de mapa genético entre os genes pesquisados pelos alunos do grupo G2.

Os grupos G1 e G2 trabalharam genes ligados devido às baixas taxas de recombinação apresentadas. O grupo G3 trabalhou genes não ligados, por apresentar 50% de taxa de recombinação. A distância dos genes analisados pelo grupo G2 é de 14 unidades de recombinação (UMC), pois permutam em uma frequência de 14%.

4. Fuvest-SP (adaptado) – As enzimas de restrição são cruciais nas técnicas de engenharia genética porque permitem

- a) a passagem de DNA através da membrana celular.
 b) inibir a síntese de RNA a partir de DNA.
 c) inibir a síntese de DNA a partir de RNA.
d) cortar DNA onde ocorrem sequências específicas de bases.

As enzimas de restrição têm como função cortar trechos específicos do DNA para posteriormente ser inseridos nos vetores e poderem ser clonados.

5. EFS-BA – Os transgênicos, ou organismos geneticamente modificados (OGM), são produtos de cruzamentos que jamais aconteceriam na natureza, como, por exemplo, arroz com bactéria. Por meio de um ramo de pesquisa relativamente novo (a engenharia genética), fabricantes de agroquímicos criam sementes resistentes a seus próprios agrotóxicos, ou mesmo sementes que produzem plantas inseticidas. As empresas ganham com isso, mas nós pagamos um preço alto: riscos à saúde e ao ambiente onde se vive.

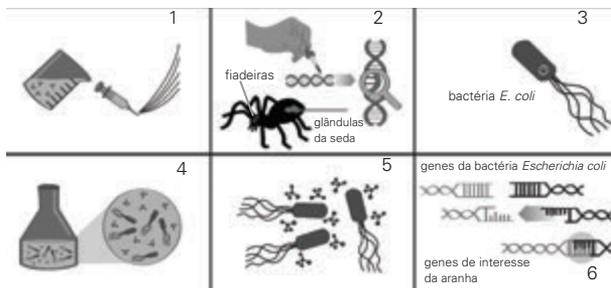
Considerando-se as informações do texto e com base nos conhecimentos a respeito do tema, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () O OGM tem seu código genético diferente de um organismo normal, não transgênico.
 () A formação de um transgênico é possível por conta da universalidade do código genético.
 () A manipulação de um transgênico prescinde de uma discussão ética a respeito das consequências ao ser humano.
 () A composição química do gene do doador é diferente daquela observada no material genético do futuro OGM.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é:

- a)** F - V - V - F A primeira afirmativa está incorreta, porque o código genético é universal, sendo apenas a sequência de nucleotídeos diferente. A última afirmativa está incorreta porque a composição química da molécula de DNA é igual.
 b) F - F - V - V
 c) V - F - F - V
 d) V - V - F - F
 e) V - F - V - F

6. UPE – A figura a seguir mostra imagens de um experimento utilizando técnicas de recombinante. Observe-a:



O texto a seguir descreve as seis etapas, identificadas com algarismos romanos, do processo de produção do biopolímero, imitando teias de aranha.

- I. Pesquisadores da Embrapa isolaram os genes das glândulas de seda de cinco espécies de aranhas da biodiversidade brasileira.
- II. Por meio de análises moleculares, bioquímicas, biofísicas e mecânicas, estudaram esses genes e suas funções e construíram seqüências sintéticas para a produção de fios.
- III. Os genes modificados foram clonados e introduzidos no genoma de bactérias *Escherichia coli*, programadas para atuar como biofábricas.
- IV. As bactérias transgênicas *Escherichia coli* passaram a produzir, em larga escala, as proteínas recombinantes, que formam os fios das aranhas.

V. O passo seguinte consistiu na extração das proteínas. Para isso, a massa de bactérias foi diluída em meio líquido e purificada para a separação das proteínas do restante do material.

VI. Com o auxílio de uma seringa, que imita o órgão das aranhas responsável pela fabricação do fio, eles utilizaram as proteínas para produzir os fios sintéticos em laboratório.

Sobre isso, correlacione as etapas citadas no texto com as figuras enumeradas acima e assinale a alternativa que indica a correta correspondência:

- a) I e 1; II e 6; III e 3; IV e 4; V e 5; VI e 2.
- b) I e 2; II e 6; III e 3; IV e 5; V e 4; VI e 1.**
- c) I e 3; II e 2; III e 5; IV e 4; V e 6; VI e 1.
- d) I e 4; II e 1; III e 3; IV e 6; V e 5; VI e 2.
- e) I e 5; II e 2; III e 3; IV e 4; V e 6; VI e 1.

Etapa 1 – VI. Com o auxílio de uma seringa, que imita o órgão das aranhas responsável pela fabricação do fio, eles utilizaram as proteínas para produzir os fios sintéticos em laboratório. **Etapa 2 – I.** Pesquisadores da Embrapa isolaram os genes das glândulas de seda de cinco espécies de aranhas da biodiversidade brasileira. **Etapa 3 – III.** Os genes modificados foram clonados e introduzidos no genoma de bactérias *Escherichia coli*, programadas para atuar como biofábricas. **Etapa 4 – V.** O passo seguinte consistiu na extração das proteínas. **Etapa 5 – IV.** Para isso, a massa de bactérias foi diluída em meio líquido e purificada para a separação das proteínas do restante do material. **Etapa 6 – II.** As bactérias transgênicas *Escherichia coli* passaram a produzir, em larga escala, as proteínas recombinantes, que formam os fios das aranhas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Acafe-SC – Um cruzamento entre uma fêmea duplo heterozigota (**AaBb**) com um macho duplo recessivo revelou a seguinte proporção genotípica entre os descendentes: 40% **AaBb**, 40% **aabb**, 10% **Aabb**, 10% **aaBb**. Assim, assinale a alternativa correta:

- a) Não há evidência que tenha ocorrido permutação na formação dos gametas.
- b) A segregação observada dos genes está de acordo com a segunda lei de Mendel.
- c) Os resultados indicam que os genes estão em ligação, a uma distância de 20 umc.
- d) O arranjo dos genes alelos na fêmea é *trans* (AB/ab).

8. UNIFESP (adaptado) – Um indivíduo homocigótico para os alelos **M, N, O** e **P** foi cruzado com outro homocigótico para os alelos **m, n, o** e **p**. A geração F1 foi então retrocruzada com o homocigótico **m, n, o, p**, apresentando

- 15% de permutação entre os *loci* M e N
- 25% de permutação entre os *loci* M e O
- 10% de permutação entre os *loci* N e O

Não houve descendentes com permutação entre os *loci* **M** e **P**.

- a) Qual é a seqüência mais provável desses *loci* no cromossomo? Monte um esquema indicando a distância entre eles.

- b) Crie uma hipótese que explique a ausência de descendentes recombinantes com permutação entre os *loci* M e P.

9. UDESC (adaptado) – A *Drosophila melanogaster* (mosca-das-frutas) possui em um dos seus cromossomos dois genes (**D** e **E**) que se encontram a uma distância de 28 UR (unidades de recombinação). Considere um macho desta espécie com o genótipo **DdEe** em posição *trans*. Espera-se que ele produza espermatozoides com os genes **DE** em um percentual de

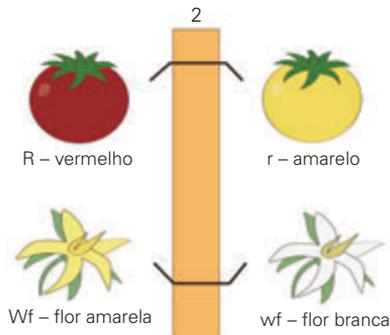
- a) 33%.
- b) 25%.
- c) 50%.
- d) 75%.
- e) 14%.

10. UFAM – O cruzamento **AB/ab** × **ab/ab** produziu 200 descendentes. Quantos indivíduos deverão apresentar o genótipo **Ab/ab**, sabendo-se que a frequência de permutação é de 20%?

- a) 10
- b) 20
- c) 40
- d) 60
- e) 80

11. UPE – O tomate *Solanum lycopersicum* tem 12 pares de cromossomos, e sua flor é hermafrodita, ocasionando percentual de cruzamento natural inferior a 5%. A geração parental foi submetida a cruzamento por meio de uma polinização cruzada artificial, uti-

lizando a parte feminina da flor de uma planta selvagem para cruzamento com a parte masculina de outra, com características recessivas, resultando em uma F1 duplo heterozigota. No quadro a seguir, observamos: a representação esquemática do cromossomo 2 de tomate com dois genes, seus respectivos alelos e características fenotípicas; os resultados da prole de um cruzamento de tomates duplo heterozigotos (F1) com duplo homozigotos.



PERCENTUAL F2	FENÓTIPO
41%	Fruto vermelho e flor amarela
41%	Fruto amarelo e flor branca
9%	Fruto vermelho e flor branca
9%	Fruto amarelo e flor amarela

Com base nessas informações, conclui-se que

- o cruzamento-teste de plantas duplo heterozigotas F1 mostra a formação de quatro tipos de gametas em proporções esperadas para uma distribuição do tipo independente.
- o desvio nas proporções ocorre por causa da ligação entre o gene para a cor do fruto e o gene para a cor das flores que distam 9% centimorgans.
- o resultado de gametas apresentado para a prole F2 configura arranjo do tipo *trans* para o cromossomo 2 dos indivíduos da F1.
- os gametas portadores dos alelos R/Wf e r/wf ocorrem em percentual maior que os não parentais evidenciando a ligação.
- parte da prole F2 mostra fenótipo recombinante em maior frequência, indicando que os alelos dos dois genes se recombinaram na F1 e a distância entre eles é de 18% unidade de recombinação.

12. Acafe-SC – Biotecnologia é o conjunto de conhecimentos que permitem a utilização de agentes biológicos (organismos, células, organelas, moléculas) para obter bens ou assegurar serviços. Sobre o tema, analise as afirmações a seguir.

- As técnicas biotecnológicas possibilitam à Indústria Farmacêutica cultivar microrganismos para produzir os antibióticos, por exemplo.
- A engenharia genética ocupa um lugar de destaque como tecnologia inovadora, seja porque permite substituir métodos tradicionais de produção de hormônio de crescimento e insulina, seja porque permite obter produtos inteiramente novos (organismos transgênicos).

III. Hoje, a utilização de plasmídeos bacterianos restringe-se à produção de novos medicamentos.

IV. Através de técnicas biotecnológicas é possível o tratamento de despejos sanitários pela ação de microrganismos em fossas sépticas.

V. A aplicação da biotecnologia está limitada à área médica e de saúde.

Todas as afirmações corretas estão em

- I – II – IV.
- II – III – IV.
- III – IV – V.
- IV – V.

13. UFSM-RS – Alguns grupos de pesquisa brasileiros estão investigando bactérias resistentes a íons cloreto, como *Thiobacillus prosperus*, para tentar compreender seu mecanismo de resistência no nível genético e, se possível, futuramente transferir genes relacionados com a resistência a íons cloreto para bactérias não resistentes usadas em biorremediação (um tipo de biorremediação de efluentes), como *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Considerando as principais técnicas utilizadas atualmente em biologia molecular e engenharia genética, a transferência de genes específicos de uma espécie de bactéria para outra deve ser feita através

- de cruzamentos entre as duas espécies, produzindo um híbrido resistente a íons cloreto.
- da transferência para a bactéria não resistente de um plasmídeo recombinante, que contenha o gene de interesse previamente isolado da bactéria resistente, produzindo um Organismo Geneticamente Modificado (OGM).
- da transferência de todo o genoma da bactéria resistente para a nova bactéria, formando uma espécie nova de bactéria em que apenas o gene de interesse será ativado.
- da simples clonagem da bactéria resistente, sem a modificação da bactéria suscetível a íons cloreto.
- da combinação do genoma inteiro da bactéria suscetível com o genoma da bactéria resistente, formando um organismo quimérico, o que representa uma técnica muito simples em organismos sem parede celular, como as bactérias.

14. OBB – A clonagem molecular consiste no isolamento e propagação de moléculas de DNA idênticas e compreende pelo menos dois estágios importantes. Primeiro, o fragmento de DNA de interesse, chamado de inserto, é ligado a outra molécula de DNA, chamada de vetor, para formar o que se chama de DNA recombinante. Segundo, a molécula do DNA recombinante é introduzida numa célula hospedeira compatível, num processo chamado de transformação. A construção de moléculas de DNA recombinante foi possível graças à descoberta das enzimas de restrição (ou endonucleases de restrição), que são proteínas que têm a capacidade de reconhecer, na dupla hélice do DNA, sítios de clivagem, ou seja, sequências específicas de 4 ou 6 bases. Uma vez reconhecido, é realizado um corte específico em cada ponto ou sítio em que as moléculas da enzima se ligam. As enzimas de restrição são divididas em várias classes, dependendo da estrutura, da atividade e dos sítios de reconhecimento e clivagem.

Uma das funções de um vetor nos procedimentos de uma clonagem gênica é

- realizar atividade similar à das enzimas de restrição.

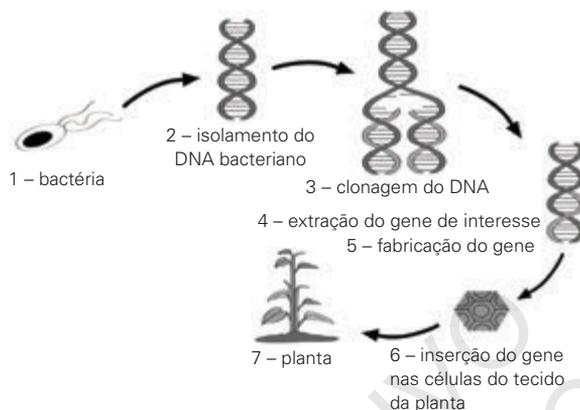
- b) neutralizar as cargas dos nucleotídeos do DNA.
- c) inibir a expressão do gene que foi nele inserido.
- d) transportar o gene de interesse para o interior de uma célula hospedeira.

15. UFPA – Plantas transgênicas podem ser produzidas com a utilização da técnica de DNA recombinante. Assim, uma variedade de arroz pode ser produzida a partir da manipulação do arroz original, com a transfecção, para este, do DNA de interesse a fim de produzir, por exemplo, betacaroteno, o precursor da vitamina A, retirado de outro organismo de espécie diferente.

O arroz transgênico *golden rice* passará a manifestar a presença de betacaroteno porque

- a) o RNA mensageiro sintetizado a partir do DNA recombinante será traduzido pelas células do vegetal.
- b) ocorrerá duplicação do DNA transferido, que só então será incorporado ao genoma hospedeiro.
- c) ocorrerá transcrição do RNA transportador a partir do DNA transferido.
- d) proteínas serão sintetizadas a partir do DNA não hibridizado.
- e) ocorrerá síntese de carboidratos a partir da ativação do DNA do vegetal original.

16. Enem (adaptado) – Em um laboratório de genética experimental, observou-se que determinada bactéria continha um gene que conferia resistência a pragas específicas de plantas. Em vista disso, os pesquisadores procederam de acordo com a figura.



Do ponto de vista biotecnológico, como a planta representada na figura é classificada?

- a) Clone
- b) Híbrida
- c) Mutante
- d) Adaptada
- e) Transgênica

17. Sistema Dom Bosco – Um dos grandes *insights* da engenharia genética foi a produção de organismos transgênicos usados na alimentação dos seres vivos. Cite uma vantagem e uma desvantagem na produção de organismos transgênicos.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H13

O quadro a seguir representa a taxa de recombinação entre seis genes que se encontram em um mesmo cromossomo. Cada gene é responsável por uma característica específica e pode ou não segregar em conjunto, conforme a taxa de recombinação entre eles.

Genes	Taxa de recombinação (%)
C-H	80
D-G	10
E-H	40
F-C	20
G-E	20
H-D	10

Com base nessas informações, qual é a sequência correta dos genes no cromossomo?

- a) G-E-D-H-C-F
- b) F-E-G-D-H-C
- c) E-F-D-G-H-C
- d) C-E-F-D-G-H
- e) C-F-E-G-D-H

19. Enem

C8-H29

A palavra “biotecnologia” surgiu no século XX, quando o cientista Herbert Boyer introduziu a informação responsável pela fabricação da insulina humana em uma bactéria, para que ela passasse a produzir a substância.

As bactérias modificadas por Herbert Boyer passaram a produzir insulina humana porque receberam

- a) a sequência de DNA codificante de insulina humana.
- b) a proteína sintetizada por células humanas.
- c) um RNA recombinante de insulina humana.
- d) o RNA mensageiro de insulina humana.
- e) um cromossomo da espécie humana.

20. Enem

C8-H29

A transferência de genes que poderiam melhorar o desempenho esportivo de atletas saudáveis foi denominada *doping* genético. Uma vez inserido no genoma do atleta, o gene se expressaria gerando um produto endógeno capaz de melhorar o desempenho atlético.

Um risco associado ao uso dessa biotecnologia é a(o)

- a) obtenção de baixo condicionamento físico.
- b) estímulo ao uso de anabolizantes pelos atletas.
- c) falta de controle sobre a expressão fenotípica do atleta.
- d) aparecimento de lesões decorrentes da prática esportiva habitual.
- e) limitação das adaptações fisiológicas decorrentes do treinamento físico.

BIOTECNOLOGIA, BIOÉTICA E FUNDAMENTOS DA ECOLOGIA

23

As descobertas proporcionadas pela Biotecnologia possibilitaram grande desenvolvimento nas áreas da saúde (genética médica, terapia gênica, aconselhamento genético e produção de medicamentos); da Ecologia (mapeamento gênico, conservação de espécies em risco de extinção); da Zoologia e da Botânica (taxonomia molecular); da Agricultura (melhoramento genético e produção de organismos geneticamente modificados), entre outras. No entanto, toda intervenção na natureza deve ter seus impactos avaliados. Nesse sentido, a Bioética é a área do conhecimento que mensura os reais benefícios e riscos dessas intervenções – como as descritas na distopia de Huxley.

CLONAGEM

Nesse tipo de processo, são originadas réplicas geneticamente idênticas de uma célula, um tecido ou um organismo. O produto da clonagem é o **clone**. O termo foi citado pela primeira vez no início do século XX, para descrever uma população de organismos derivados de um único progenitor, por meio da reprodução assexuada.

A **clonagem natural** ocorre quando há reprodução assexuada de procaríotos, protozoários, alguns fungos e animais, plantas e algas, o que gera populações de indivíduos geneticamente idênticos. Em humanos, a clonagem natural ocorre em gêmeos univitelinos, isto é, irmãos gêmeos gerados pela fecundação de um único ovócito com um único espermatozoide, o que produz indivíduos geneticamente idênticos.

Na clonagem humana natural, entretanto, os indivíduos não são considerados idênticos em todos os aspectos. Além de divergências físicas, como a impressão digital, há a diferença de personalidade e um conjunto de outros fatores que distinguem um indivíduo do outro.

A **clonagem artificial**, por outro lado, ocorre quando há intervenção humana intencional no processo. Esse tipo de clonagem pode ser classificado como **gênica** (discutida no módulo anterior), **reprodutiva** ou **terapêutica**.

CLONAGEM REPRODUTIVA

Tem como objetivo produzir uma cópia geneticamente idêntica de um organismo existente, gerando células-tronco que posteriormente originarão novos indivíduos.

Para a clonagem reprodutiva acontecer, é necessário realizar a técnica de **transferência nuclear**, descrita por Robert Briggs (1911-1983) e Thomas King (1925-1994) em 1950. Nesse processo, um ovócito secundário tem seu núcleo substituído por outro proveniente de uma célula somática de interesse. Após a fusão, as células se multiplicam. Origina-se, então, um blastocisto, com aproximadamente 200-250 células, que serão implantadas no útero após cinco dias. Depois do período de gestação, surge um indivíduo geneticamente idêntico ao doador da célula somática.

Ovelha Dolly

Em 1996, Ian Wilmut (1944) e Keith Campbell (1954-2012) fusionaram o núcleo de células mamárias de uma ovelha branca da raça *Finn Dorset* com seis anos de idade a um ovócito anucleado de uma ovelha escura da raça *Scottish Blackface*. Esse processo deu origem à famosa ovelha Dolly, com características idênticas às da ovelha branca.

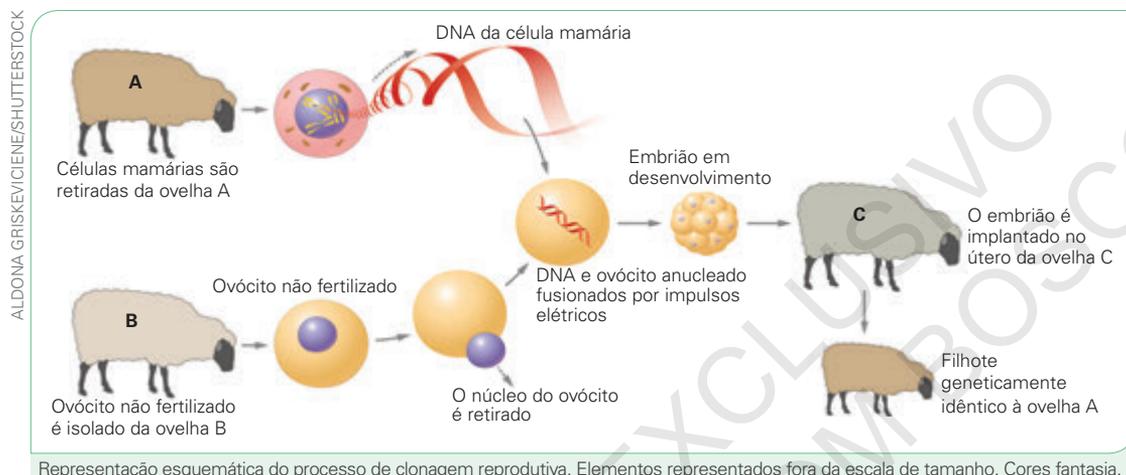
- Clonagem
- Terapia gênica
- Identificação de pessoas
- Bioética
- Níveis de organização ecológicos
- Conceitos básicos da Ecologia
- Fatores ecológicos que influenciam o ecossistema

HABILIDADES

- Compreender as técnicas de clonagem reprodutiva e terapêutica.
- Apresentar vantagens e desvantagens das técnicas de clonagem.
- Relacionar técnicas de Biotecnologia à Bioética e Biossegurança.
- Descrever os principais métodos utilizados na Biologia forense.
- Compreender a importância da Biotecnologia para a sociedade.
- Compreender o que são níveis de organização ecológica.
- Explicar conceitos fundamentais da Ecologia.

A utilização das células mamárias de um animal mais velho gerou alguns problemas ao clone. O envelhecimento precoce causado pelo recebimento de cromossomos (telômeros) com extremidades reduzidas e o aumento do índice de doenças causaram à Dolly disfunção pulmonar e osteoartrite.

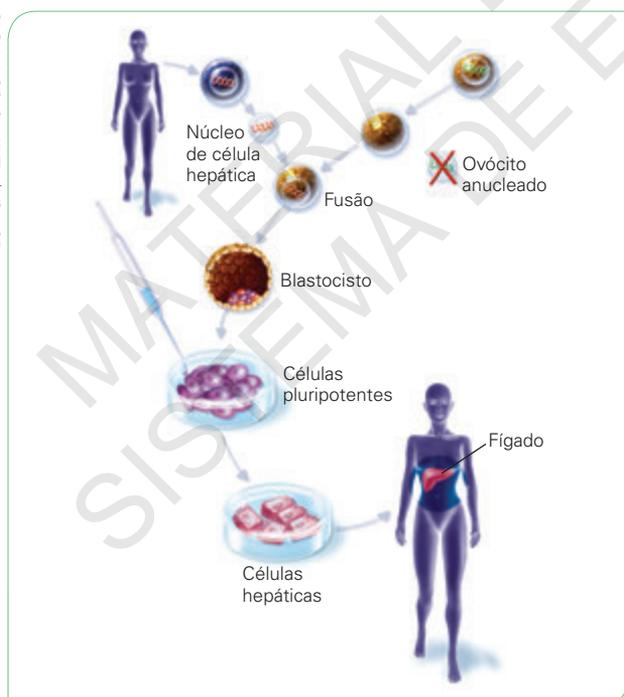
É importante salientar que a técnica de clonagem reprodutiva apresenta **baixa eficiência**. No caso da ovelha Dolly, foram produzidos 277 embriões, mas apenas um deles conseguiu se desenvolver e nascer.



Aplicações da clonagem reprodutiva

A agropecuária utiliza esse método de clonagem para aprimorar o potencial genético de determinadas raças de gado, escolhendo as melhores características dos indivíduos. Entretanto, a variabilidade genética é prejudicada, uma vez que esses animais apresentam dificuldade em se adaptar a diferentes ambientes.

A utilização de técnicas para recriar animais já extintos é tema de debates. No entanto, isso ainda é inviável, pois a adaptação desses animais ao ambiente natural atual seria bastante dificultada. Além disso, a reintrodução de animais já extintos poderia desequilibrar a cadeia ecológica do hábitat, o que poderia provocar mudanças ambientais inesperadas.



Esquema do processo de clonagem terapêutica na regeneração de um fígado. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLONAGEM TERAPÊUTICA

O procedimento aplicado na clonagem terapêutica é similar ao utilizado na reprodutiva. O ovócito secundário cujo núcleo foi trocado pelo núcleo de uma célula somática é desenvolvido *in vitro* até a fase de blastocisto. Nessa etapa, as células pluripotentes conseguem produzir células e tecidos específicos, com exceção de tecidos embrionários. Isso é especialmente importante na clonagem terapêutica, uma vez que se deseja utilizar tecidos específicos no tratamento de doenças degenerativas (como Parkinson, Alzheimer, artrite, doenças cardíacas) ou traumatismos (como queimaduras e lesões na coluna).

A clonagem terapêutica é utilizada também em transplantes de órgãos, o que diminui o risco de rejeição pelo paciente transplantado. Porém, em casos de doenças genéticas, as mutações estão presentes em todas as células do indivíduo, sendo necessário recorrer a parentes próximos para minimizar o risco de incompatibilidade.

Há muita discussão na comunidade científica sobre a clonagem terapêutica, em virtude da necessidade de células-tronco no procedimento. Levando tal ponto em consideração, um embrião deixaria de nascer a cada novo procedimento realizado. No Brasil, a Lei Nacional da Biossegurança n. 11.105, de 24 de março

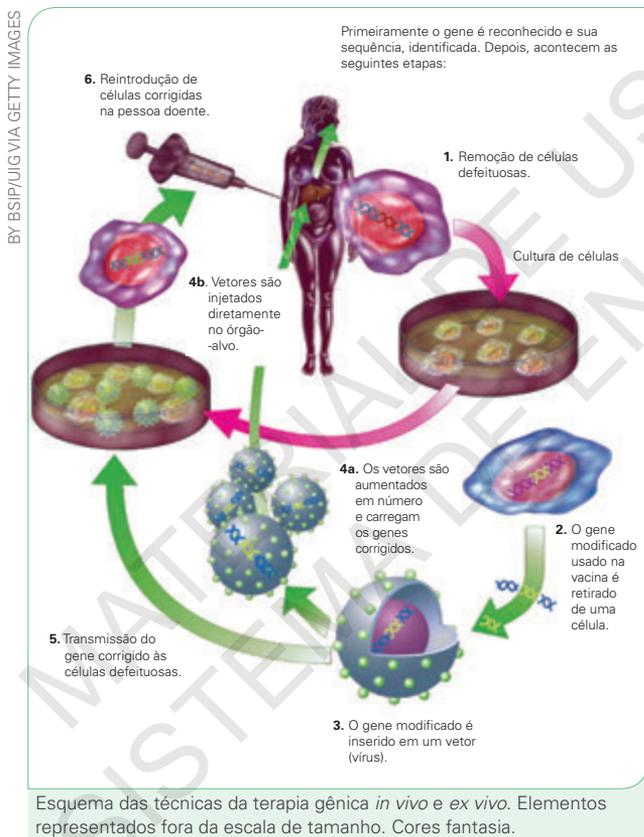
de 2005, permite apenas a utilização da técnica para fins de pesquisa e terapia.

TERAPIA GÊNICA

Essa técnica consiste em substituir um alelo causador de doença por outro normal, como nos casos da anemia falciforme, fibrose cística ou fenilcetonúria. Na primeira etapa, o gene é isolado para, em seguida, haver a escolha pela metodologia *in vivo* ou *ex vivo*.

Quando se opta pela técnica *in vivo*, os alelos normais são clonados utilizando-se um vetor, inserido diretamente no paciente por meio de uma injeção. O vetor, então, entra nas células, e os alelos são incorporados ao núcleo, de modo a produzir a proteína corretamente. Esse método é mais eficiente e mais fácil do que a técnica *ex vivo*. Entretanto, há menor a possibilidade de garantir que o gene está sendo endereçado para o local correto.

No método *ex vivo*, as células do indivíduo são retiradas, modificadas e então reintroduzidas. É um método considerado mais difícil, porém, de melhor controle, uma vez que é garantido o endereçamento correto do gene.



VACINAS GÊNICAS

Com o avanço das técnicas de Biologia molecular, as vacinas têm sido produzidas com base no DNA de agentes causadores de doenças. São as chamadas **vacinas gênicas**. Elas têm o mesmo objetivo das vacinas tradicionais, que são produzidas com vírus mortos com capacidade atenuada de infecção.

Essa técnica consiste em clonar o DNA do agente causador em plasmídeos. Estes são posteriormente inseridos no indivíduo, o que estimula a produção de anticorpos de ação mais rápida e específica.

As vacinas tradicionais são produzidas com base em microrganismos mortos ou em suas proteínas. As vacinas gênicas, por sua vez, são produzidas com base no DNA do microrganismo.

Um dos riscos associados às vacinas gênicas é o desenvolvimento de doenças autoimunes. Por esse motivo, a técnica ainda está em fase de testes, até que possa ser comercializada e depois aplicada em humanos.

IDENTIFICAÇÃO DE PESSOAS

Todos os organismos apresentam regiões específicas no DNA que são altamente variáveis, polimórficas e com funções ainda não identificadas, denominadas no inglês **Variable Number of Tandem Repeats (VNTR)**, **regiões satélites** ou **microssatélites**. Essas áreas variam em tamanho de indivíduo para indivíduo, exceto em gêmeos univitelinos, que podem ter de 9 a 100 pares de bases repetidas.

Com base nessas regiões, é possível identificar um indivíduo, seja por meio de testes de paternidade, seja por análises criminalísticas. A **impressão digital do DNA (DNA fingerprinting)** é a técnica que possibilita identificar essas variações individuais no nível molecular.

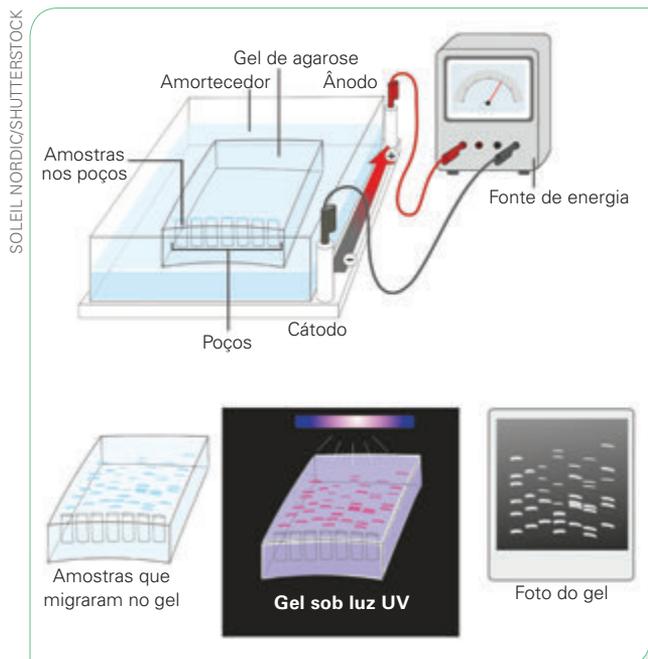
REAÇÃO DE POLIMERASE EM CADEIA (PCR)

Sigla em inglês para **reação de polimerase em cadeia**, trata-se do procedimento pelo qual se ampliam e se produzem muitos fragmentos de DNA contendo uma sequência específica de DNA. Os **marcadores genéticos** (ou **primers**) são pequenos pedaços de DNA produzidos artificialmente, capazes de reconhecer uma região específica do genoma. Eles se ligam a um gene-alvo e sinalizam às enzimas de restrição que cortem esse filamento específico. Uma vez isolado esse fragmento, o DNA polimerase promove a síntese de muitas cópias do gene isolado. É necessário adicionar novos nucleotídeos para que as cópias sejam realizadas.

ELETROFORESE

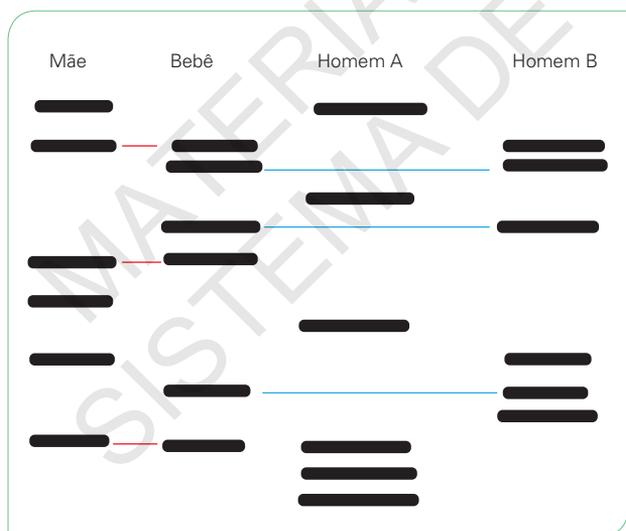
Trata-se do procedimento pelo qual se verificam que fragmentos de DNA foram ampliados pela PCR. Uma pequena porção da amostra de DNA amplificada é pipetada em pequenos poços de uma placa de gel de agarose acoplada a uma fonte de energia, na qual o DNA se encontra mergulhado em solução salina. É aplicado um campo magnético na placa de gel, de modo que as moléculas de DNA correm através do gel. Como a molécula apresenta carga negativa, os fragmentos correm na placa do polo negativo para o positivo. Quanto menor o comprimento do gene, maior a distância percorrida por ele no gel.

Passado algum tempo, a corrente elétrica é desligada e os fragmentos de DNA são comparados, formando faixas que passam a ocupar diversas posições no gel.



Representação do funcionamento da eletroforese. Os eletrodos são aplicados na placa para formar um campo magnético. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O exemplo abaixo é uma representação de perfil genético com base na análise de eletroforese. Os resultados mostram que o homem B é o pai da criança, porque o bebê apresenta três bandas na mesma posição que ele (apontadas em azul) e as outras três bandas na mesma posição que as da mãe (apontadas em vermelho).



Além dos microsatélites, os marcadores genéticos mais utilizados para identificar pessoas são o DNA mitocondrial, porque apresentam origem materna. Isto é, o material genético é passado da mãe para os filhos,

de modo que apenas as filhas podem transmiti-los às próximas gerações. Da mesma forma, o cromossomo Y, presente em indivíduos do sexo masculino, tem origem paterna e é passado apenas a filhos do sexo masculino.

BIOÉTICA

No contexto dos avanços da ciência (em especial da Biotecnologia), o pesquisador e professor estadunidense Van Rensselaer Potter (1911-2001) publicou, no começo dos anos 1970, duas importantes obras que deram origem à Bioética.

A intenção de Potter era criar um ramo da Biologia que possibilitasse às pessoas refletirem sobre as prováveis implicações (positivas e negativas) das aplicações da tecnologia biológica na vida humana (e, de maneira mais ampla, na de todos os outros seres vivos). Para isso, foi sugerido um diálogo entre a cultura científica e a humanística, com base no seguinte princípio:

Nem tudo o que é cientificamente possível é eticamente aceitável.

Um dos princípios da Bioética é estudar questões e implicações morais no uso de seres vivos ou de células animais. Logo, ela engloba questões como experimentação animal e legitimidade moral do aborto ou da eutanásia, além das implicações das pesquisas genéticas.

Com base nessa análise, é possível indicar os limites e as finalidades das intervenções humanas sobre a vida e denunciar os prováveis riscos envolvidos nesses processos.

Por abranger questões multidisciplinares, a Bioética está vinculada a diferentes áreas do conhecimento além da Biologia, como Direito, Sociologia, Psicologia, Medicina, Teologia e Educação.

DILEMAS BIOÉTICOS

A clonagem é um tema recorrente na Bioética por utilizar embriões nas clonagens terapêutica e reprodutiva. No início dos anos 1990, pesquisadores propuseram uma moratória a pesquisas com embriões humanos, a qual ainda está em vigência.

No Brasil, a Lei n. 8.874/95 determinou algumas regras quanto às técnicas de engenharia genética. Entre as determinações, ficou expressamente proibido o uso de embriões humanos em experimentos, embora seja desejável a aplicação de linhagens de células quando a finalidade é terapêutica, sendo uma solução cientificamente viável.

A clonagem reprodutiva em humanos não é aceita pela Bioética, apesar de existir discussões nos casos de pessoas estéreis ou, ainda, na tentativa de “ressuscitar” um ente querido. Tais procedimentos já foram realizados sem autorização da academia científica e foram encerrados por questões éticas ou por conta das técnicas utilizadas.

Atualmente, o uso de dados genéticos obtidos por técnicas de identificação de pessoas tem sido foco de debate, uma vez que tais informações são pessoais e intransferíveis. No entanto, algumas empresas têm se esforçado para obter dados desse tipo, a fim de traçar perfis de consumo ou usar em processo de contratação de funcionários – um candidato poderia deixar de ser contratado pela possibilidade de desenvolver determinada doença, com base no histórico de saúde, por exemplo. Por esse motivo, a Bioética busca estabelecer limites em relação ao uso de dados genéticos humanos.

Temas como eutanásia, experimentação em animais, aborto, transgênicos e fertilização *in vitro* são constantemente debatidos pela Bioética. Tais assuntos surgem em razão dos avanços da Ciência, e é papel da sociedade se posicionar sobre eles. Com base nessas discussões, novos projetos de lei são reformulados e aprovados, os quais devem levar em conta os princípios da Bioética.

Os experimentos e as descobertas científicas podem ou não beneficiar a sociedade e o planeta. Por esse motivo, as vantagens e desvantagens dessas novas tecnologias devem ser avaliadas por um comitê que tem por obrigação seguir os cinco princípios da Bioética:

- 1. Princípio da beneficência:** consiste em assegurar o bem-estar dos indivíduos, a fim de evitar danos e garantir que sejam supridas suas necessidades e seus interesses.
- 2. Princípio da autonomia:** o profissional deve respeitar as crenças, a vontade e os valores morais do sujeito e do paciente.
- 3. Princípio da justiça:** trata-se da igualdade da repartição dos benefícios e bens em qualquer área da ciência.
- 4. Princípio da não maleficência:** assegura a possibilidade mínima ou inexistente de danos físicos aos sujeitos da pesquisa (pacientes) de ordem psíquica, moral, intelectual, espiritual, cultural e social.
- 5. Princípio da proporcionalidade:** defende o equilíbrio entre benefícios e riscos, sendo maior benefício às pessoas.

LEITURA COMPLEMENTAR

CRISPR e a polêmica de edição do genoma humano

Em 2012, cientistas criaram a técnica CRISPR [do inglês *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*], utilizada para editar o genoma de embriões humanos e

desenvolver animais geneticamente modificados, resistentes a viroses, pragas, entre outros. A técnica consiste em editar a molécula de DNA com a ajuda de uma enzima presente no sistema de defesa de bactérias denominada Cas9 e com a presença de uma molécula de RNA, que serve como guia para recortar a região de interesse do genoma. Em outras palavras, o RNA é capaz de reconhecer a molécula de DNA que apresenta o gene-alvo de edição; a enzima Cas9 atua como uma tesoura, recortando o gene. Assim, é possível silenciar ou reparar o gene.

Em 2018, um pesquisador chinês conseguiu editar o material genético de embriões de gêmeos que supostamente nasceram resistentes à infecção do vírus HIV. O trabalho não foi divulgado em nenhuma revista científica. Entretanto, esse procedimento foi realizado ilegalmente, uma vez que não é permitido na China nem nos Estados Unidos. Isso gerou manifestações de vários pesquisadores ao redor do mundo, pelo fato de ter ferido a ética, as leis e a segurança, além de ter consequências imprevisíveis.

Estudos realizados com células de camundongos e células humanas revelaram que a técnica causou mutações genéticas extensas, inclusive aumentando o risco de câncer. Por outro lado, a técnica pode eliminar dezenas de doenças e até mesmo permitir a seleção de determinadas características nos indivíduos. Portanto, ainda há muito a ser avaliado, tanto em relação à técnica quanto em relação à ética desses procedimentos.

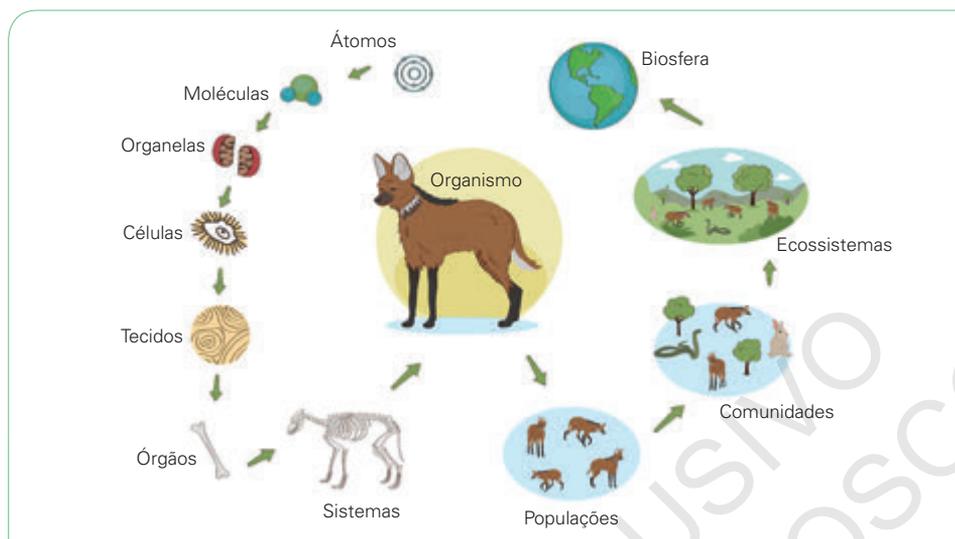
Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2018/11/27/entenda-o-crispr-a-tecnica-de-edicao-de-dna-que-pode-ter-criado-bebes-resistentes-ao-hiv.ghtml>>.
Acesso em: maio 2019.

FUNDAMENTOS DA ECOLOGIA

NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO ECOLÓGICA

Em Ecologia estudam-se as interações entre os seres vivos e o ambiente.

Nessa área do conhecimento, o ambiente é analisado como um sistema integrado, no qual diversos fatores bióticos e abióticos influenciam a sobrevivência dos organismos, que interagem entre si e com o ambiente. Essas interações ocorrem em níveis hierárquicos de escala, desde a interação de um organismo com o ambiente, com outros indivíduos da mesma espécie, com indivíduos de outras espécies, até de modo global de interação. Essas análises são feitas com base nos modelos de distribuição, quantidade de indivíduos e características de cada ser vivo.



Representação dos níveis de organização dos seres vivos, desde a organização em átomos e moléculas até ecossistemas e biosfera. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ESPÉCIE

Não há consenso na comunidade científica quanto à definição do termo **espécie**. Assim, existem muitas acepções na literatura sobre essa palavra. É necessário, portanto, considerar a aplicação que se deseja usar: se conceito morfológico, biológico ou evolutivo.

Neste módulo, adotaremos o **conceito biológico** de espécie, que é o que fundamenta os estudos de Ecologia.

O conceito biológico define que espécies são formadas por **membros de populações**, que habitam um local específico, com potencial de se cruzarem naturalmente. Porém, existem exceções nesse conceito, como os organismos assexuados e cruzamentos entre dois indivíduos de diferentes espécies que geram híbridos. Os pássaros bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) e o bentivezinho-de-penacho (*Myiozetetes similis*), por exemplo, apresentam semelhanças morfológicas, mas não são da mesma espécie pelo fato de serem incapazes de gerar descendentes férteis.

POPULAÇÃO

Uma **população** é constituída por um grupo de indivíduos da mesma espécie que geram descendentes férteis e que habitam a mesma área geográfica no mesmo intervalo de tempo. Por apresentarem atributos genéticos significativos e adaptados para dar continuidade às próximas gerações, esses indivíduos formam uma **unidade evolutiva**.

Um exemplo de população é a do jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare*), espécie presente desde certa região da Argentina até o sul da Bacia Amazônica – principalmente na planície pantaneira.

COMUNIDADE

O conjunto de populações de diferentes espécies em certo local e época constitui uma **comunidade**. Esse conceito também pode ser denominado **biocinese** ou **biota**.

ECOSSISTEMA

Trata-se de um sistema formado por uma ou mais comunidades que ocorrem em determinado ambiente e que interagem com os fatores abióticos do ambiente (físicos ou químicos) e com os fatores bióticos (relações ecológicas). Essas interações ecológicas geram um fluxo de energia entre os seres vivos e a ciclagem de matéria entre os ambientes biótico e abiótico. Esses fatores, então, promovem a manutenção da vida. Lagos, florestas, rios e desertos são exemplos de **ecossistemas**.

BIOSFERA

Recebe esse nome o conjunto de todos os ecossistemas e todas as paisagens que funcionam de maneira interligada na Terra. Esse sistema ecológico complexo compreende a produção, a decomposição e a ciclagem de materiais existentes no planeta que estejam em transformação.

Paisagem

Em Ecologia, **paisagem** é a composição de elementos da natureza no espaço. Entre eles, também está a ausência de elementos naturais, como as paisagens completamente urbanas, ou seja, modificadas pelo homem.

Neste módulo, levaremos em consideração apenas as paisagens compostas de elementos naturais, que são observáveis dentro de uma perspectiva.

CONCEITOS BÁSICOS DE ECOLOGIA

HÁBITAT

Recebe esse nome o local onde determinada espécie ou comunidade é encontrada naturalmente no ecossistema. O **hábitat** é caracterizado por fatores climáticos e físicos, pela disponibilidade de recursos alimentares e por ser local adequado à reprodução. Ele compõe características que determinam, definem e limitam a sobrevivência de uma espécie. Os morcegos, por exemplo, necessitam de ambiente úmido e com baixa intensidade de luz, como o interior de cavernas.

BIÓTOPO

Enquanto o hábitat é o espaço que determina o desenvolvimento de uma espécie, o **biótopo** se refere ao local ocupado por uma comunidade. O Pantanal é um exemplo de biótopo, uma vez que apresenta diversas espécies dependentes da água, do solo, da umidade, da temperatura e de outros fatores encontrados somente nesse ambiente.

NICHO ECOLÓGICO

Trata-se do resultado da interação de determinada espécie com todos os fatores bióticos e abióticos do ambiente que ela ocupa, de modo a designar a ela um papel específico dentro daquele cenário. Tudo que sofre alguma alteração pela espécie é considerado **nicho**, incluindo as condições necessárias para sua sobrevivência e reprodução, os hábitos alimentares, o comportamento sexual e social, o período de acasalamento, entre outros fatores.

De acordo com o **princípio da exclusão competitiva** de Georgy F. Gause (1910-1986), caso duas espécies apresentem o mesmo nicho ecológico, haverá competição intensa entre elas, de maneira que apenas uma sobreviverá. A outra espécie abandonará o ambiente ou será eliminada.

ECÓTONO

É a zona de transição entre diferentes ecossistemas. Nessa área, a biodiversidade costuma ser mais rica que nos ecossistemas do entorno, uma vez que há espécies que se deslocam e interagem com ambos os ecossistemas.

Os ecótonos são importantes para as florestas tropicais, pois neles estão as chamadas **espécies endêmicas**, ou seja, que não ocorrem em outras regiões.

BIODIVERSIDADE

É a variedade de espécies terrestres ou marinhas presentes na biosfera, constituintes de comunidades e ecossistemas. Em comunidades, são utilizados dois termos para avaliar a diversidade de espécies:

- **abundância** – refere-se ao número de indivíduos de uma espécie encontrado em um ambiente.
- **riqueza** – diz respeito à quantidade de espécies encontradas em um local.

Por exemplo, as regiões neotropicais (latitudes medianas) são caracterizadas pela alta riqueza de espécies, tanto vegetais quanto animais. As regiões polares (altas e baixas latitudes), por outro lado, apresentam baixa riqueza.

Quando se trata da conservação da biodiversidade, esse termo é comumente usado como sinônimo de riqueza, ou seja, de quantidade de espécies. Dessa forma, se há alta biodiversidade, pode-se considerar que há grande quantidade de espécies.

FATORES ECOLÓGICOS QUE INFLUENCIAM O ECOSISTEMA

A influência dos fatores ecológicos sobre os organismos vivos é regulada pelos **fatores limitantes do ambiente** e pela **faixa de tolerância ecológica**.

Um fator é considerado limitante quando está ausente ou abaixo do mínimo necessário. Isso pode ocorrer, ainda, quando se excede o máximo tolerável. Os fatores ecológicos podem provocar a extinção, a recolonização, a distribuição espacial e temporal das espécies ou o aparecimento de novas adaptações dos organismos ao ambiente.

FATORES ABIÓTICOS

São componentes físicos ou químicos que atuam sobre um ambiente e influenciam a adaptação e a sobrevivência dos seres vivos em um ecossistema, passando tais características às próximas gerações. A importância desses fatores varia de acordo com as características de cada ambiente.

Luz

É responsável por todos os ciclos biológicos da Terra. Animais e plantas reagem de forma diferente aos comprimentos de ondas e ao tempo em que perma-

necem sob ela (fotoperiodismo). A luz controla o movimento dos organismos terrestres e aquáticos, os ciclos reprodutivos, a migração e as mudanças estacionais de penas e pelos em aves e mamíferos. É considerada limitante em níveis máximo e mínimo.

Temperatura

Esse é um dos fatores ambientais mais limitantes de vida no planeta, uma vez que o metabolismo dos seres vivos necessita de enzimas que podem ser desnaturadas em altas temperaturas ou apresentar mau funcionamento quando não estão em temperatura ótima.

Umidade

Depende basicamente da taxa de precipitação das chuvas, dos ventos e da proximidade com mares, rios e lagos.

Concentração de sais minerais

Esse fator no ambiente é fundamental para os seres vivos, principalmente os aquáticos, que podem ser encontrados em locais com diferentes concentrações de sais – como águas doce, salgada e salobra.

A variação nas taxas de salinidade pode influenciar na manutenção do metabolismo dos animais e resultar no desequilíbrio de uma população.

Pressão

Esse fator depende diretamente da altitude. A pressão é considerada normal ao nível do mar e, à medida que aumenta a altitude, a pressão diminui paralelamente à redução da concentração de oxigênio na atmosfera.

Os organismos se adaptam à pressão aumentando a superfície de absorção do oxigênio, isto é, aumentando o número de glóbulos vermelhos na circulação sanguínea.

FATORES BIÓTICOS

Trata-se das interações ecológicas entre os organismos vivos, sejam eles autótrofos (como os vegetais e alguns procariotos), sejam heterótrofos (que obtêm energia diretamente pelo consumo de outros seres vivos). São exemplos de seres heterótrofos os animais, os fungos, os protozoários e grande parte dos procariotos.

ROTEIRO DE AULA

BIOTECNOLOGIA E BIOÉTICA

CLONAGEM

Reprodutiva

produz indivíduos geneticamente iguais

Método:

transferência nuclear

clone não é idêntico ao modelo

Desvantagens:

técnica com baixa eficiência

envelhecimento precoce

Terapêutica

trata doenças e traumatismos

Método:

uso de células-tronco do tipo

pluripotente

Desvantagem:

incompatibilidade entre doadores diferentes

Terapia gênica

substituição de alelos

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

IDENTIFICAÇÃO DE PESSOAS

DNA fingerprinting

Objetivo:

testes de paternidade e análises criminalísticas

Principais marcadores:

microssatélites

DNA mitocondrial

cromossomo Y

Procedimentos:

PCR

produz várias cópias de um gene

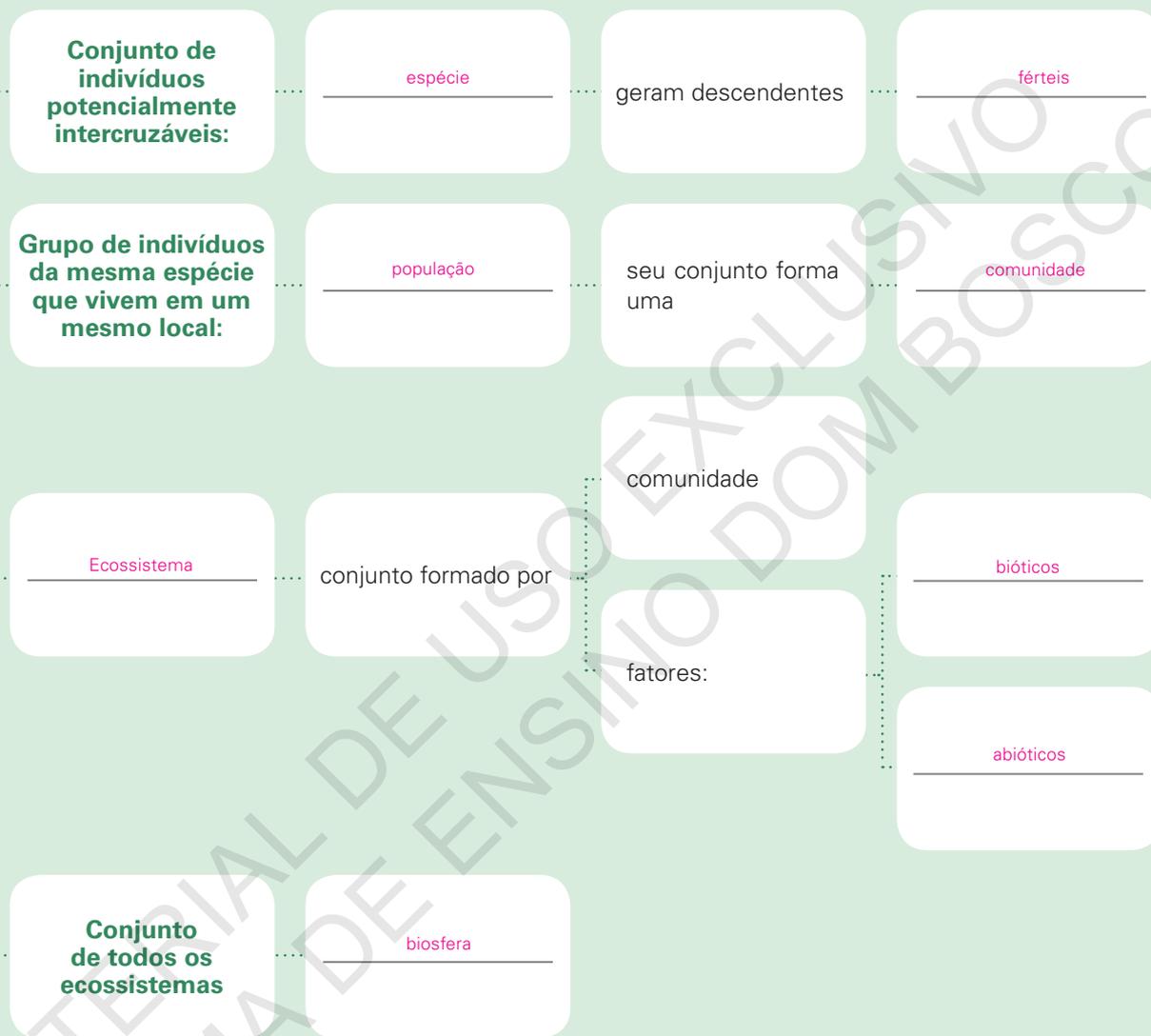
Eletroforese

compara o perfil genético das pessoas e identifica o indivíduo

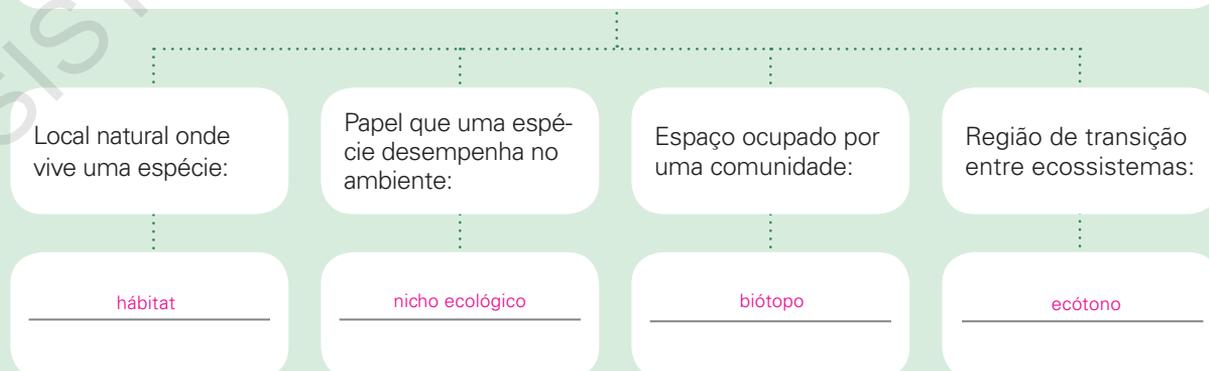
MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO



Conceitos básicos



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEPA (adaptado) – Por meio da técnica da clonagem, foi feito o sequenciamento do gene da enzima catalase em ostra-do-mangue (*Crassostrea rhizophorae*), com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de indicadores de saneamento ambiental e saúde pública que possam ser utilizados para informar a comunidade e avaliar a qualidade de vida a partir de intervenções voltadas à proteção e recuperação de mananciais.

Disponível em: <<http://labcai.paginas.ufsc.br/projetos-em-andamento-2/>>. Acesso em: maio 2019. (Adaptado).

Sobre a técnica em destaque no texto afirma-se que

- a) um ovócito é extraído de uma fêmea adulta de outra espécie conservando seu núcleo.
- b)** na ovelha Dolly, foram utilizadas células somáticas mamárias retiradas de um animal adulto.
- c) o núcleo da célula mamária foi inserido no óvulo nucleado de outra fêmea que assim se tornou diploide.
- d) o núcleo do ovócito de uma fêmea é inserido nas células da glândula mamária de outra fêmea.
- e) na ovelha Dolly, o núcleo do ovócito foi inserido na célula da glândula mamária, originando um clone do indivíduo que doou o núcleo.

A alternativa A está incorreta, porque o núcleo do ovócito é retirado. A alternativa C está incorreta, pois a célula mamária foi fusionada com o ovócito anucleado por meio de impulsos elétricos, tornando-se, assim, uma célula diploide. As alternativas D e E estão incorretas pelo mesmo motivo da alternativa C.

2. UEG-GO – A clonagem terapêutica é um possível recurso para o tratamento de vários tipos de doenças. Sobre o uso de células-tronco, pode-se concluir que

- a) as células transplantadas nos pacientes são obrigatoriamente pouco diferenciadas.
- b)** células clonadas do próprio paciente oferecem reduzido risco de indução do sistema imune.
- c) forma-se o zigoto com gametas do paciente e de um doador para originar células-tronco.
- d) um ovócito anucleado é fecundado pelo núcleo gamético de um doador saudável.

A alternativa A está incorreta. As células transplantadas nos pacientes são pluripotentes, capazes de produzir todos os órgãos e tecidos, exceto anexos embrionários. A alternativa C está incorreta. Um ovócito anucleado é fusionado com uma célula somática, originando um embrião. A alternativa D está incorreta pelo mesmo motivo explicado em C.

3. Enem

C3-H11

Para a identificação de um rapaz vítima de acidente, fragmentos de tecidos foram retirados e submetidos à extração de DNA nuclear, para comparação com o DNA disponível dos possíveis familiares (pai, avô materno, avó materna, filho e filha). Como o teste com o DNA nuclear não foi conclusivo, os peritos optaram por usar também DNA mitocondrial, para dirimir dúvidas. Para identificar o corpo, os peritos devem verificar se há homologia entre o DNA mitocondrial do rapaz e o DNA mitocondrial do(a)

- a) pai.
- b) filho.
- c) filha.
- d)** avó materna.
- e) avô materno.

O DNA mitocondrial está presente integralmente no ovócito, que, após a fecundação, é mantido no zigoto. O DNA mitocondrial do espermatozoide não é passado para o zigoto, pois, no ato da fecundação, apenas o material genético portado pelo espermatozoide entra no ovócito. Dessa maneira, o DNA mitocondrial é proveniente da mãe e, conseqüentemente, da avó materna.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Reconhecer benefícios, limitações e aspectos éticos da Biotecnologia, considerando estruturas e processos biológicos envolvidos em produtos biotecnológicos.

4. Unifor-CE (adaptado) – Em um aquário com água do mar foi colocada uma pedra com 19 cracas, 4 anêmonas-do-mar, 2 caramujos e 5 talos de algas verdes. Além disso, foram colocados 6 paguros (crustáceo) e 3 estrelas-do-mar. Quantas comunidades e quantas populações existem dentro desse aquário?

Comunidade é qualquer conjunto de organismos que coexiste no mesmo local e tempo, independentemente da espécie. População é o conjunto de organismos da mesma espécie. Portanto, há 1 comunidade e 6 populações no aquário.

5. UnB-DF (adaptado) – No filme *Up*, de 2009, um vendedor de balões ergue a própria casa usando balões de gás hélio e parte em uma aventura com o objetivo de realizar um sonho de infância: morar em um lugar paradisíaco, sobre uma montanha, com cachoeiras e uma bela floresta tropical.



DISNEY PIXAR

Ao descrever o lugar paradisíaco, o texto traz elementos que fazem referência a diversos tipos de ambientes. Cite-os e classifique-os quanto ao nível de organização ecológica.

Os ambientes citados no texto são montanha, cachoeiras e floresta tropical. Esses ambientes podem ser classificados como ecossistemas, por apresentarem comunidades animais e vegetais bem distintas, interagindo de maneira complexa entre si e com fatores abióticos.

6. Fuvest-SP (adaptado) – A cobra-coral (*Erythrolamprus aesculapii*) tem hábito diurno, alimenta-se de outras cobras e é terrícola; ou seja, caça e se abriga no chão. A jararaca (*Bothrops jararaca*) tem hábito noturno, alimenta-se de mamíferos e é terrícola. Ambas ocorrem no Brasil, na floresta pluvial costeira.

Essas serpentes

- a) disputam o mesmo nicho ecológico.
- b) constituem uma população.
- c) compartilham o mesmo hábitat.**

d) deixam descendentes férteis.

e) competem recursos entre si.

A alternativa A está incorreta, porque apresenta nichos diferentes, uma vez que essas serpentes têm hábitos distintos. As alternativas B e D estão incorretas, pois são espécies diferentes. A alternativa E está incorreta, porque essas serpentes utilizam recursos diferentes.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. FMP-RJ – Há 20 anos, em julho de 1996, nasceu a ovelha Dolly, o primeiro mamífero clonado por transferência nuclear de células somáticas (TNCS). O núcleo utilizado no processo de clonagem da ovelha Dolly foi oriundo de uma célula diploide de uma ovelha chamada Bellinda, da raça *Finn Dorset*. Uma outra ovelha, denominada Fluffy, da raça *Scottish Blackface*, foi doadora do ovócito que, após o processo de enucleação, foi usado para receber este núcleo. Uma terceira ovelha, Lassie, da raça *Scottish Blackface* foi quem gestou a ovelha Dolly.

O DNA mitocondrial da ovelha Dolly é proveniente da(s) ovelha(s)

- a) Fluffy, apenas.
- b) Lassie, apenas.
- c) Bellinda, apenas.
- d) Fluffy e da ovelha Bellinda.
- e) Bellinda e da ovelha Lassi.

8. Vunesp (adaptado) – Um pesquisador descobriu mutações na sequência de aminoácidos que produzem uma enzima específica e geram uma doença grave em espécies de ratos. Sabe-se que os genes são transcritos em RNAs e esses são traduzidos, produzindo proteínas que farão parte do metabolismo ou da função celular. Com base nessas informações e em seus conhecimentos sobre Biotecnologia, cite e explique uma técnica capaz de solucionar a doença.

9. UFOP-MG

Um avião da companhia Air France que havia decolado na noite do domingo, 30 de maio de 2009, do Rio em direção a Paris, desapareceu com 228 pessoas a bordo – 216 pas-

sageiros e 12 tripulantes. Segundo boletim mais recente, divulgado pela secretaria, foram identificados 43 dos 50 corpos, entre brasileiros e estrangeiros. A pedido dos familiares, a identidade das vítimas foi mantida em sigilo. Peritos do IML e representantes da Secretaria de Defesa Social de Pernambuco informaram que a identificação dos corpos restantes será feita a partir de exames de DNA.

Folha de S. Paulo, de 01/06 e 10/06/2009. Adaptado.

Com base no texto, responda às questões propostas.

a) Por que é possível a identificação de corpos utilizando-se a molécula de DNA?

b) Seria necessário incluir amostras de parentes das vítimas (pai, mãe, irmãos) durante as análises para a identificação dos corpos? Por quê?

10. Sistema Dom Bosco – Um bebê abandonado foi encontrado pela polícia em um parque. Cinco casais se dirigiram à delegacia alegando serem os pais da criança, que supostamente fora roubada em um *shopping*. Para resolver a situação, a equipe de perícia coletou amostras de DNA de cada casal e da criança. Com base nisso, foi feita a PCR com marcadores moleculares específicos e, por fim, também foi realizada a eletroforese em gel.

Bebê	1		2		3		4		5	
	Pai	Mãe								
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										

De acordo com o perfil genético obtido, o bebê pertence a qual dos casais?

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5

11. Unifesp – Louise Brown nasceu em julho de 1978, em Londres, e foi o primeiro bebê de proveta, por fecundação artificial *in vitro*. A ovelha Dolly nasceu em 5 de julho de 1996, na Escócia, e foi o primeiro mamífero clonado a partir do núcleo da célula de uma ovelha doadora.

- a) Qual a probabilidade de Louise ter o genoma mitocondrial do pai? Explique.

- b) O genoma nuclear do pai da ovelha doadora fará parte do genoma nuclear de Dolly? Explique.

12. Unifor-CE – Principal aposta da medicina para correção de distúrbios genéticos e cura de doenças crônicas, a técnica de edição de genomas CRISPR-Cas9 tem, porém, limitações. Por isso, laboratórios de todo o mundo estão atrás de um aprimoramento da técnica que permita alterar o que está errado sem promover outras alterações na estrutura de dupla hélice. Foi o que conseguiu agora uma equipe do Instituto Salk, da Califórnia, que descreveu o novo método na edição da revista *Cell*. Os cientistas testaram, com sucesso, a adaptação da técnica em ratos com doença renal aguda, diabetes e distrofia muscular.

Disponível em: <https://www.uai.com.br/app/noticia/saude/2017/12/20/noticias-saude,218803/tecnica-de-reparo-do-dna-pode-tratarproblemas-como-doenca-renal-e-dia.shtml>.

Acesso em: 12 set. 2017. (Adaptado)

Avanços nas técnicas de engenharia genética são importantes para correção de erros no DNA, uma vez que uma característica comumente observada em pessoas afetadas por distúrbios existentes nos sistemas de reparo do DNA é

- a) anemia falciforme.
b) predisposição ao câncer.
c) retardo do envelhecimento.
d) estabilidade excessiva do genoma.
e) superprodução de imunoglobulinas.

13. UDESC (adaptado) – Analise as proposições em relação à ecologia:

- I. As populações são formadas quando vários indivíduos da mesma espécie vivem no mesmo local e tempo e mantêm relação entre si.
II. O hábitat corresponde ao modo de vida ou ao papel ecológico que a espécie desempenha no ecossistema.
III. Comunidade ou biocenose são formadas por indivíduos da mesma espécie, que possuem relação de interação entre si.
IV. Ecossistema é a reunião e a interação das comunidades com os fatores abióticos que atuam sobre essas comunidades.

Assinale a alternativa correta:

- a) Somente as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.
b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
c) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
d) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

14. Unicamp-SP (adaptado) – A preservação da biodiversidade ocupa hoje um lugar importante na agenda ambiental de diversos países. Pode-se inferir que a diversidade de espécies

- a) diminui com a redução de emissão de gases poluentes.
b) aumenta com o aumento da latitude.
c) diminui com o aumento da latitude.
d) diminui em regiões equatoriais.
e) aumenta com a urbanização.

15. UNESP – Considere a afirmação: “As populações daquele ambiente pertencem a diferentes espécies de animais e vegetais”. Que conceitos estão implícitos nessa frase se levarmos em consideração

- a) somente o conjunto de populações?

- b) o conjunto de populações mais o ambiente abiótico?

16. UEL-PR – Na encosta de um barranco, em uma floresta, são encontradas quatro espécies de aranhas.

- I. A espécie I faz a teia em galhos de arbustos e se posiciona na borda da teia, esperando que algum inseto fique preso.

- II. A espécie II faz a teia suspensa e nela constrói um tubo onde fica escondida à espera da presa.
- III. A espécie III não constrói teia e se esconde nas flores à espera das vítimas.
- IV. A espécie IV faz um buraco no barranco e salta sobre a presa quando se aproxima.

De acordo com essas informações, assinale a alternativa que apresenta a conclusão correta sobre o nicho ecológico dessas espécies de aranhas.

- a) As espécies I e II possuem o mesmo nicho ecológico, enquanto as espécies III e IV também possuem o mesmo nicho ecológico, porém distinto das espécies I e II.
- b) As espécies I e III possuem o mesmo nicho ecológico, enquanto as espécies II e IV também possuem o mesmo nicho ecológico, porém distinto das espécies I e III.
- c) As espécies II e III possuem o mesmo nicho ecológico, enquanto as espécies I e IV também possuem o mesmo nicho ecológico, porém distinto das espécies II e III.
- d) As espécies I e II possuem o mesmo nicho ecológico, enquanto a espécie III possui nicho ecológico distinto da espécie IV.
- e) As espécies I, II, III e IV possuem nichos ecológicos distintos.

17. UPF-RS (adaptado) – A transição da água para a terra é talvez o evento mais dramático da evolução animal, pois envolve a invasão de um habitat que em muitos aspectos é mais hostil para a vida. Os anfíbios foram os primeiros vertebrados a habitar a terra firme, mas não a conquistaram totalmente, pois sua reprodução e o início do desenvolvimento continuaram a ser realizados em meio aquático. Nessa conquista da terra firme os anfíbios necessitaram desenvolver adaptação para respirar, sustentar-se, mover-se e perceber sons e odores transportados pelo ar no ambiente terrestre.

Cite os principais fatores ecológicos que esses animais precisaram levar em consideração para viver em terra firme.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H29

“Nem sempre é seguro colocar vírus inteiros numa vacina. Alguns são tão perigosos que os cientistas preferem usar só um de seus genes, aquele que fabrica o antígeno, proteína que é reconhecida pelas células de defesa. Uma dessas vacinas de alta tecnologia é a anti-hepatite B. Um gene do vírus é emendado ao DNA de um fungo inofensivo, que passa, então, a produzir uma substância que é injetada no corpo humano.”

Fonte: Vírus: guerra silenciosa. *Superinteressante*, n.143, ago. 1999. (Adaptado).

A função dessa substância, produzida pelo fungo, no organismo humano é

- a) neutralizar proteínas virais.
- b) interromper a ação das toxinas.
- c) ligar-se ao patógeno já instalado.
- d) reconhecer substâncias estranhas.
- e) desencadear a produção de anticorpos.

19. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Cientistas descobriram três novas espécies de peixes que vivem em uma das partes mais profundas do fundo da trincheira do Atacama, no Oceano Pacífico, a uma profundidade de 7500 metros. Pesquisadores ficaram surpresos com sua abundância em um ambiente tão inóspito. Temporariamente denominados peixe-caracol rosa, azul e roxo do Atacama, as criaturas até então desconhecidas têm entre 20 e 25 centímetros de comprimento, são translúcidas e não têm escamas. Eles parecem ser exclusivamente adaptados às condições presentes a pouco mais de sete quilômetros abaixo da superfície do oceano, onde os dias são permanentemente escuros e a temperatura da água mal chega a dois graus Celsius. Em tais profundidades, a pressão é tão grande que animais maiores seriam esmagados sob sua própria massa.

ISTOÉ. Cientistas descobrem três espécies de peixes no fundo do Pacífico. Disponível em: <<https://istoe.com.br/cientistas-descobrem-tres-esppecies-de-peixes-no-fundo-do-pacifico/>>. Acesso em: mar. 2019.

Sobre os peixes descritos, assinale a alternativa correta.

- a) Juntos, constituem um nicho ecológico.
- b) Juntos, constituem uma espécie.
- c) A região em que vivem não pode ser considerada habitat.
- d) Como não interagem com fatores abióticos, não formam um ecossistema.
- e) Temperatura, luminosidade e pressão são fatores limitantes para eles.

20. Sistema Dom Bosco

C8-H28

Tatus-canastras (*Priodontes maximus*) são verdadeiros “Engenheiros de ecossistema”, afirmam pesquisadores que descobriram que suas tocas servem como habitat e abrigo para outras espécies. O projeto ‘Tatu-Canastra’, feito no Pantanal, durou dois anos e foi liderado pelo Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ) e pelo *Royal Zoological Society* da Escócia. O estudo pretende entender mais sobre esses animais, que gastam 75% de seu tempo no subsolo em tocas escavadas por suas impressionantes garras.

BBC Brasil. Tatu-canastra: o engenheiro do ecossistema.

Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/videos_e_fotos/2013/10/131029_tatu_canastra_an>. Acesso em: mar. 2019.

Sobre esse animal e seus hábitos, pode-se dizer que

- a) as tocas são consideradas habitats por servir de abrigo para outros seres vivos e apresentar fatores abióticos únicos no ambiente.
- b) o tatu-canastra pode ser considerado uma comunidade.
- c) o ato de o animal escavar pode ser parte da descrição do seu biótopo.
- d) o Pantanal é um habitat ocupado apenas por tatus-canastras.
- e) os tatus-canastras são autótrofos e não se relacionam com a comunidade do Pantanal.

24

FLUXO DE MATÉRIA, ENERGIA E CICLO BIOGEOQUÍMICO DA ÁGUA E DO CARBONO

- Níveis tróficos
- Cadeia alimentar
- Teia alimentar
- Pirâmides ecológicas
- Ciclo da água
- Ciclo do carbono

HABILIDADES

- Classificar os seres vivos de uma cadeia alimentar de acordo com seu nível trófico.
- Compreender as relações ecológicas dentro de uma cadeia e de uma teia alimentar.
- Compreender o fluxo de energia e de matéria nos níveis tróficos.
- Identificar e analisar os principais tipos de pirâmide ecológica.
- Explicar os processos físicos que ocorrem com a água e com o carbono nos ciclos biogeoquímicos.

NÍVEIS TRÓFICOS

Os seres vivos têm sucesso reprodutivo e adaptativo ao ambiente quando conseguem obter a energia necessária para realizar essas e outras atividades essenciais. O fluxo de energia entre os seres vivos só é possível graças às **relações tróficas** (*throfes* = nutrição) existentes entre os organismos vivos.

No primeiro nível trófico, estão os **produtores**, seres autótrofos capazes de realizar fotossíntese (fotoautótrofos), representados por plantas, algas e algumas bactérias, além de bactérias quimiossintetizantes (quimioautótrofas). Os produtores são caracterizados por produzirem o próprio alimento e serem a base da cadeia alimentar, uma vez que parte da energia produzida por eles é consumida pelos seres vivos dos demais níveis tróficos.

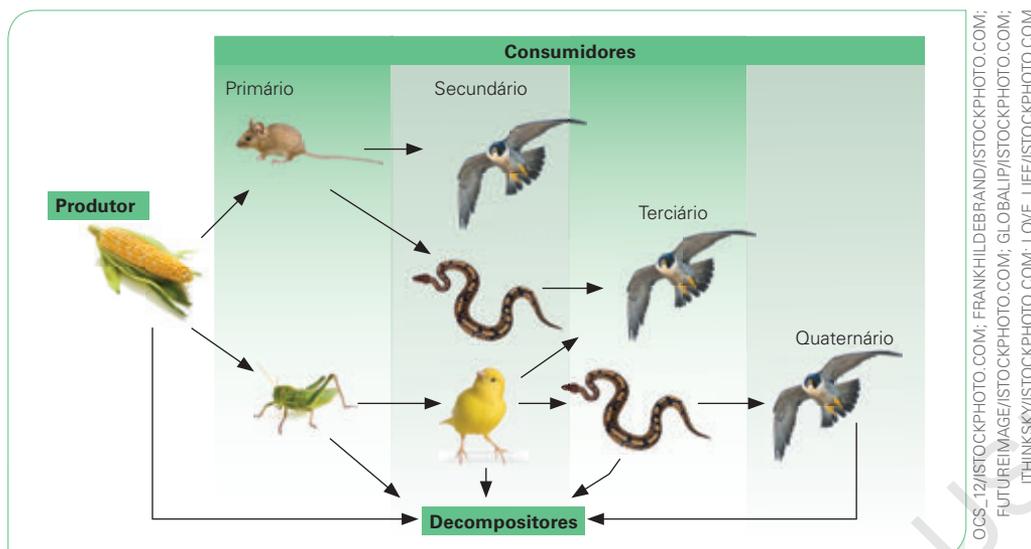
Os **consumidores** incluem todos os organismos que não são capazes de produzir o próprio alimento, conhecidos como **heterótrofos**. Eles são classificados como **consumidores primários** – aqueles que se alimentam diretamente dos produtores e, por isso, são **herbívoros** e estão no segundo nível trófico –; **consumidores secundários** – alimentam-se dos herbívoros e, assim, são **carnívoros** e ocupam o terceiro nível trófico; e, por fim, em alguns ecossistemas há também os **consumidores terciários** ou **quaternários** – que se alimentam de consumidores secundários e terciários, respectivamente, determinando os níveis tróficos seguintes.

Os seres humanos são classificados como **onívoros** (*omni* = todos; coletivo) por consumir uma ampla variedade de alimentos, desde aqueles do nível dos produtores (vegetais) até os alimentos dos consumidores (herbívoros e carnívoros). A ausência de especialização nos hábitos alimentares é uma estratégia adaptativa para a sobrevivência em alguns ambientes.

Os **decompositores** utilizam matéria orgânica proveniente de animais mortos e excretas. Posteriormente, os nutrientes que resultam dos processos metabólicos dos decompositores retornam à cadeia trófica. Esses organismos são classificados em **saprotróficos** e **necrófagos** e são representados por fungos e bactérias.

CADEIA ALIMENTAR

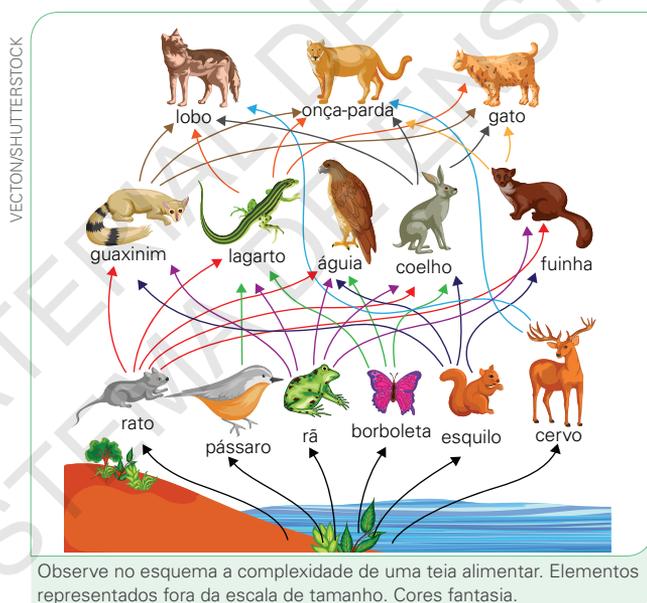
Trata-se de uma sequência de relações tróficas entre os organismos na qual ocorre a transferência de energia e matéria entre produtores, consumidores e decompositores. À medida que a energia é transferida de um nível trófico para o outro, parte da energia inicial é consumida nos processos vitais dos organismos. Dessa maneira, não há reaproveitamento integral da energia liberada, de modo que ela é **transferida de maneira unidirecional**. Por outro lado, a **matéria pode ser reciclada** e retornar à cadeia de forma cíclica. As relações entre os organismos que compõem uma comunidade terrestre são exemplificadas pelo esquema a seguir.



Esquema de relações tróficas entre os seres vivos em uma cadeia alimentar. As setas indicam o sentido do fluxo de energia entre eles. Elementos representados fora da escala de tamanho.

TEIA ALIMENTAR

Representa o conjunto de cadeias alimentares de um ecossistema, nas quais os organismos podem ocupar diferentes níveis tróficos. Por exemplo, um consumidor secundário em uma cadeia alimentar pode ser terciário em outra, estabelecendo relações variadas e, conseqüentemente, participando de cadeias com um nível de organização mais complexo, as quais formam **teias alimentares**. Assim como nas cadeias alimentares, as setas na figura a seguir representam o sentido do fluxo de energia.



Observe no esquema a complexidade de uma teia alimentar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PIRÂMIDES ECOLÓGICAS

São gráficos em forma de pirâmide ou de retângulos sobrepostos que representam os níveis tróficos de uma cadeia alimentar, apresentando o produtor na base e os consumidores nos demais níveis. As pirâmides ecológicas representam quantitativamente o fluxo de energia, o número de organismos e a matéria existente em uma cadeia alimentar. Elas podem ser de **números**, **biomassa** ou **energia**.

PIRÂMIDE DE NÚMEROS

Representa a quantidade de indivíduos que constituem cada nível trófico da cadeia alimentar em um intervalo de tempo, geralmente com a base maior que o ápice. Uma cadeia formada por 20 mil capins, 10 vacas e 1 onça, por exemplo, pode ser representada esquematicamente da seguinte maneira:



Pirâmide de números direta.

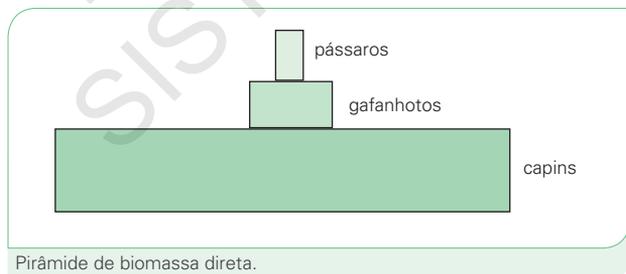
Todavia, o número de organismos que compõem a base da pirâmide pode ser menor, embora eles acumulem muita energia. Isso ocorre quando o produtor é de grande porte, como uma árvore. Dessa maneira, o gráfico pode apresentar formato invertido.



Pirâmide de números invertida.

PIRÂMIDE DE BIOMASSA

Trata-se de um gráfico que representa a quantidade de matéria orgânica em cada unidade ecológica, nível trófico, indivíduo, população ou ecossistema. Para calcular a biomassa, utiliza-se o peso seco, uma vez que a porcentagem de água é bastante variável entre indivíduos. A unidade que estabelece a relação entre massa e área é dada em kg/km^2 ou g/m^2 . As pirâmides de biomassa geralmente apresentam a base maior e o ápice menor.

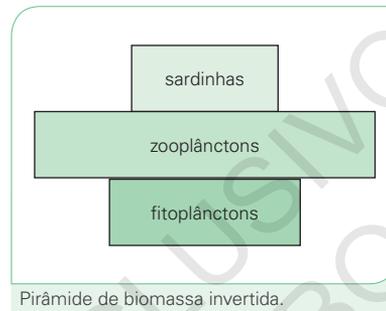


Pirâmide de biomassa direta.

No entanto, a pirâmide de biomassa pode estar invertida no caso de ambientes aquáticos:

fitoplânctons → zooplânctons → sardinhas

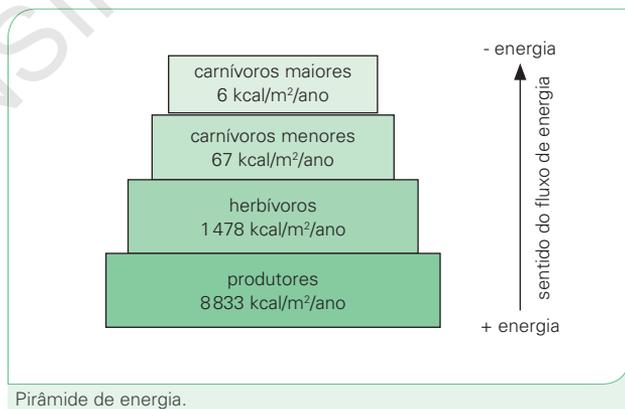
Isso acontece porque a biomassa dos produtores é compensada pela alta taxa de reprodução desses organismos. Dessa forma, toda a cadeia alimentar é sustentada, e a biomassa tende a se acumular nos níveis mais elevados.



Pirâmide de biomassa invertida.

PIRÂMIDE DE ENERGIA

Trata-se de um gráfico que representa a quantidade de energia em cada nível trófico por unidade de área ou volume e por tempo. Dessa forma, a pirâmide de energia jamais estará invertida, porque indica os níveis de aproveitamento ou produtividade biológica da cadeia alimentar, e essa relação diminui a cada nível trófico. Por isso, as pirâmides de energia são mais utilizadas do que as pirâmides de biomassa e de números.



Pirâmide de energia.

PRODUTIVIDADE NA CADEIA ALIMENTAR

A energia armazenada no alimento produzido pelos seres autótrofos é correspondente à **produtividade primária bruta (PPB)**. Parte dela é usada na respiração das plantas; o restante é disponibilizado aos consumidores primários. Essa energia é denominada **produtividade primária líquida (PPL)** e pode ser calculada da seguinte maneira:

$$\text{PPL} = \text{PPB} - \text{respiração}$$

Tanto a PPB quanto a PPL são medidas em kcal/m²/ano. Ao considerarmos os demais níveis tróficos em uma cadeia alimentar, a absorção e a perda de energia acontecem de forma semelhante, de modo que a energia é perdida ao longo dela.

LEITURA COMPLEMENTAR

Acúmulo de resíduo industrial na cadeia alimentar pode extinguir populações de orcas nos próximos 30 ou 40 anos

Em 2018 um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos, do Canadá, da Inglaterra, da Islândia e da Dinamarca publicou um artigo na revista *Science* indicando que mais da metade das populações de orcas de todo o mundo se encontra demasiadamente afetada por uma substância chamada PCB (bifenilo policlorado). Essa substância é conhecida no Brasil como *Ascarel* e apresenta derivados de petróleo em sua composição. O PCB foi empregado em grande quantidade na indústria, sendo utilizado na fabricação de fluidos elétricos, hidráulicos, tintas e adesivos. No Brasil, o PCB deixou de ser utilizado desde a década de 1980, mas era algo altamente consumido nas indústrias desde os anos 1970 em vários países.

O grupo de pesquisadores avaliou 350 orcas (*Orcinus orca*) e constatou que várias populações desses animais, que são predadoras de topo e se alimentam de atuns, tubarões e outros mamíferos marinhos, se encontram em risco de colapso. O PCB é descartado no ambiente marinho e é assimilado pelo fitoplâncton, que é produtor na cadeia alimentar marinha. Os zooplânctons se alimentam desses seres e ingerem doses do PCB. Peixes de pequeno porte se alimentam dos zooplânctons, que também ingerem mais doses da substância. Peixes de porte maior se alimentam dos pequenos, e assim sucessivamente, até as orcas consumirem algum animal que apresente altas doses de PCB. Em outras palavras, o PCB acumula-se ao longo da cadeia, de maneira que os animais que se encontram no topo apresentam maior quantidade dessa substância acumulada no corpo.

Há estudos mostrando que o PCB provoca anomalias no sistema reprodutivo dos animais, como constatado em ursos-polares. Segundo a equipe de pesquisadores, existem populações que apresentam maior risco de colapso, entre elas a população de orcas da costa brasileira, do estreito de Gibraltar, do nordeste do oceano Pacífico e da região do Reino Unido. Estudos ainda indicam que as populações dessas locais foram reduzidas à metade devido ao uso do PCB entre 1930 e 1980. Foram realizadas simulações matemáticas que apontam que, nos próximos 30 ou 40 anos, as populações dessas regiões mais afetadas estarão extintas.

VEIGA, Edison. O resíduo industrial que se tornou um dos principais 'assassinos' das orcas. *BBC Brasil*, 27 set. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-45657051>>. Acesso em: mar. 2019.

(Adaptado)

CICLO DA ÁGUA

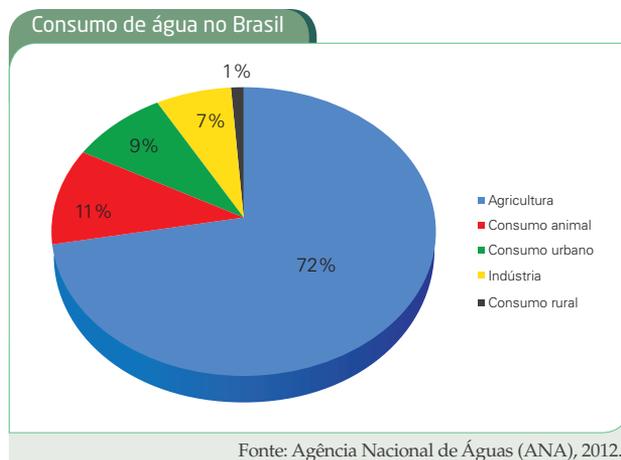
A água é a substância mais abundante em nosso planeta e representa mais de 70% da superfície terrestre. Aproximadamente 97% da água está nos oceanos, e cerca de 2,5% são próprios para o consumo, presentes por rios, lagos, reservatórios subterrâneos e geleiras.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), a presença da água em solo brasileiro é mais abundante na região Norte (68,5%), onde há menor densidade populacional. Na região Sudeste, por outro lado, a água tem se tornado mais limitada com o passar dos anos, principalmente em decorrência da ação antrópica, que tem poluído nascentes, rios e lagos. No Brasil, a maior parte da água doce está armazenada em aquíferos subterrâneos, como o Aquífero Guarani, o maior aquífero brasileiro e um dos maiores do mundo.

USO DE ÁGUA NO BRASIL

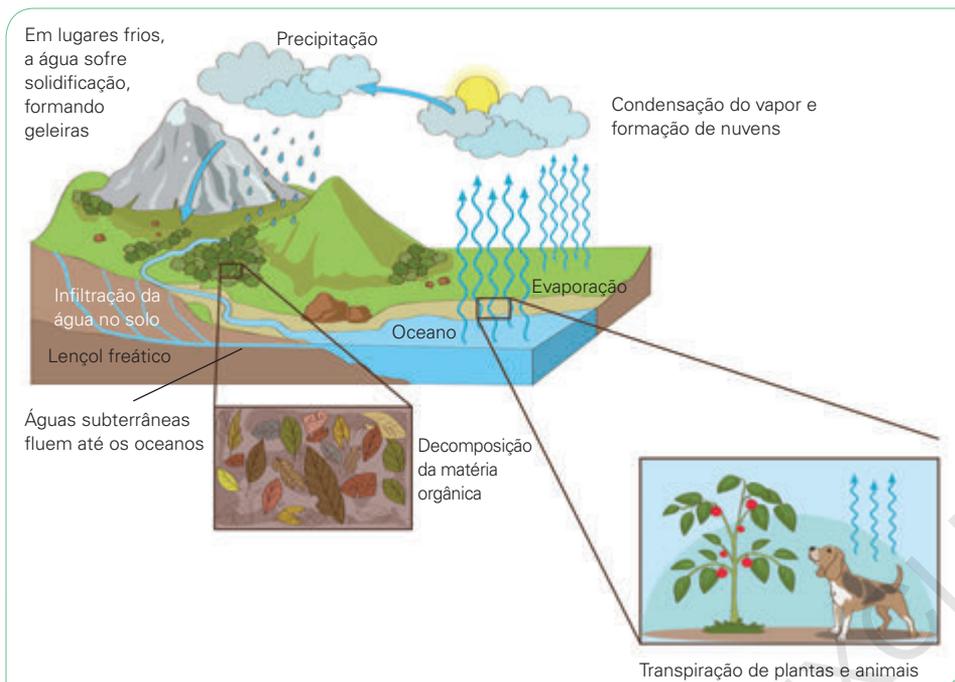
Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a demanda de água deve aumentar ainda mais nas próximas décadas. Sabe-se que atualmente cerca de 70% do consumo global de água cabe à agricultura, e estima-se que haja um aumento de demanda ainda maior nas próximas décadas na indústria e nos setores de produção de energia.

Estima-se ainda que, de cada 100 litros de água tratada no Brasil, somente 63 sejam efetivamente consumidos e que os 37 restantes sejam perdidos. As perdas ocorrem em razão de diversos fatores, como vazamentos, instalações irregulares, falta de medição ou medição incorreta e roubos.



GRANDE CICLO DA ÁGUA OU CICLO LONGO

No ciclo longo, a água é retirada do meio e utilizada nos processos biológicos específicos até que seja devolvida ao ambiente, por meio da **respiração**, da **transpiração** e da **excreção** (urina e fezes). Os animais eliminam determinada quantidade de vapor de



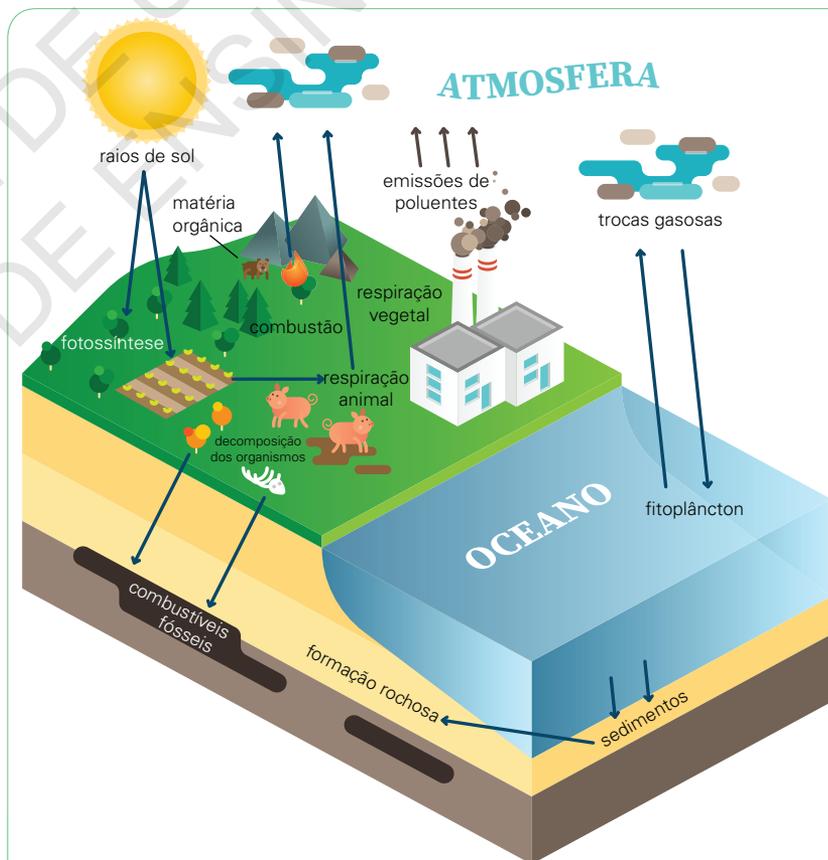
Esquema do ciclo completo da água. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

dades. A água também se acumula na superfície, formando os lençóis freáticos, os quais dão origem às nascentes de rios, que deságuam nos oceanos.

CICLO DO CARBONO

O carbono é um elemento químico essencial para os seres vivos, uma vez que é comum à grande maioria dos compostos orgânicos, como as proteínas, os carboidratos, os lipídeos e os ácidos nucleicos. Também é componente fundamental dos compostos minerais (carbonatos) e dos depósitos orgânicos, que originam o petróleo, o carvão e o gás natural. A crosta terrestre, os mares e a atmosfera representam locais de grandes concentrações de carbono na natureza. Dessa forma, o ciclo do carbono restitui e transporta esse elemento no meio ambiente.

O carbono atmosférico está presente principalmente na forma de CO_2 . Esta molécula é utilizada por seres autótrofos, como as plantas, os fitoplânctons, as cianobactérias e as algas no **sequestro** ou na **fixação de carbono** da fotossíntese, dando origem à matéria orgânica. Parte do carbono presente na matéria orgânica também é devolvida à atmosfera (por meio da respiração) e à superfície (pela decomposição da matéria



Esquema do ciclo do carbono. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

orgânica, que é convertida em detritos no solo). A decomposição da matéria orgânica no solo é importante porque, dadas as condições ambientais específicas, leva à formação de combustíveis fósseis.

A queima de combustíveis fósseis e as queimadas em florestas têm sido os principais responsáveis pelo aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, o que leva ao desequilíbrio do ciclo do carbono. Esse aumento se dá principalmente pelo aumento da disponibilidade de CO_2 na atmosfera sem que haja, no entanto, sequestro dessa molécula para a fotossíntese. Além disso, o aumento do desmatamento contribui para agravar a situação, porque as plantas realizam fotossíntese e retiram moléculas de CO_2 do ambiente, mantendo o ciclo estável. Sem as plantas, a taxa de captação de carbono é reduzida, o que leva ao desequilíbrio de seu ciclo.

LEITURA COMPLEMENTAR

Cientistas projetam aumento das emissões globais de CO_2 para 2018.

As emissões globais de carbono devem crescer quase 3% em 2018, segundo projeções de pesquisadores do Global Carbon Project. O estudo aponta que as emissões de todas as atividades humanas podem atingir até o fim deste ano o volume de 41,5 bilhões de toneladas, sendo que 37,1 bilhões de toneladas são emitidas pela queima de combustíveis fósseis.

No ano passado, o crescimento registrado em relação a 2016 foi de 1,6%. O aumento deste ano encerra um ciclo de crescimentos abaixo de 2%, observados de 2014 a 2016. A constatação foi divulgada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, na Polônia, em maio de 2018.

Para este ano, os cientistas avaliam que a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera pode chegar a 407 partes por milhão (ppm) em média, o que representa um aumento de 2,3 ppm em relação ao ano passado. O volume está 45% acima dos níveis pré-industriais, segundo o estudo.

O aumento é considerado o maior da história e foi impulsionado pelo uso de carvão por dois anos seguidos. O uso de carvão como combustível teve alta histórica em 2013 e, nos últimos anos, tem sido substituído por gás, energia eólica e solar em alguns países.

Apesar do crescimento médio anual de 15% do uso de energia renovável no mundo, a pesquisa mostra que o aumento no consumo de energia que emite carbono ainda é superior às iniciativas de descarbonização. O levantamento detectou aumento das emissões do transporte e que o uso de petróleo está crescendo na maioria das regiões, incluindo Estados Unidos e a Europa.

Os pesquisadores perceberam, entretanto, uma tendência crescente de mudança de fonte energética. Em 19 países as emissões caíram de 2008 a 2017 e as economias cresceram. Este resultado foi encontrado em Aruba, Barbados, República Tcheca, Dinamarca, França, Groenlândia, Islândia, Irlanda, Malta, Holanda, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Suécia, Suíça, Trinidad e Tobago, Reino Unido, EUA e Uzbequistão.

A coordenadora da pesquisa, Corinne Le Quéré, diretora do Centro Tyndall de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas e professora de Ciência e Política de Mudanças Climáticas da universidade britânica de East Anglia, alerta que as emissões de CO_2 precisam diminuir em 20% até 2030 e zerar por volta de 2075 para que seja alcançada a meta do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global até 2 °C.

Se considerar a meta mais ousada de 1,5 °C, a pesquisadora sugere que as emissões devem diminuir pela metade até 2030 e serem eliminadas até 2050.

“Estamos vendo um forte crescimento das emissões globais de CO_2 novamente. O pico nas emissões globais de CO_2 ainda não está à vista, mas as tendências de energia estão mudando rapidamente. Este ano, vimos como as alterações climáticas podem ampliar os impactos das ondas de calor em todo o mundo. Os incêndios florestais na Califórnia são apenas um exemplo dos impactos crescentes que enfrentamos se não reduzirmos as emissões rapidamente”, comentou Corinne.

AGÊNCIA BRASIL. Cientistas projetam aumento das emissões globais de CO_2 para 2018. <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/cientistas-projetam-aumento-das-emissoes-globais-de-co2-para-2018>>.

Acesso em: abr. 2019.

ROTEIRO DE AULA

FLUXO DE MATÉRIA E ENERGIA ENTRE OS SERES VIVOS

NÍVEIS TRÓFICOS

Produtores

Modo de alimentação:

autótrofos

Processos de produção de alimento:

fotossíntese e quimiossíntese

Consumidores

Modo de alimentação:

heterótrofos

Primários:

herbívoros

Secundários, terciários e quaternários:

carnívoros ou onívoros

Decompositores

heterótrofos

que se alimentam de

organismos mortos

CADEIA ALIMENTAR

Sequência de

níveis tróficos

com transferência de

energia e matéria

Teia alimentar:

conjunto de

cadeias alimentares

de um ecossistema.

PIRÂMIDE ECOLÓGICA

Números

Representa a quantidade de

indivíduos

em cada nível trófico.

Direta:

base maior

Inversa:

base menor

Biomassa

Representa a quantidade de

matéria orgânica

em cada nível trófico.

Pode ser inversa em ambientes

aquáticos

Energia

Representa a quantidade de

energia

em cada nível trófico.

Sempre será pirâmide

direta

ROTEIRO DE AULA

CICLO DA ÁGUA

Pequeno ciclo ou ciclo curto da água

Avalia fatores:

abióticos

Forma nuvens por:

condensação

Retorna ao ambiente por:

precipitação

Grande ciclo ou ciclo longo da água

Avalia fatores:

abióticos e bióticos

Animais eliminam água por:

respiração, transpiração e excreção

Plantas eliminam água por:

respiração

bactérias e fungos eliminam água durante o processo de

decomposição

CICLO DO CARBONO

CO₂ é utilizado por seres autótrofos na

fotossíntese

Matéria orgânica é consumida pelos seres

heterótrofos

como fonte de energia.

Animais liberam CO₂ por

respiração

Liberação de CO₂ por

decomposição

que origina combustíveis fósseis.

Combustão

restitui CO₂ à atmosfera

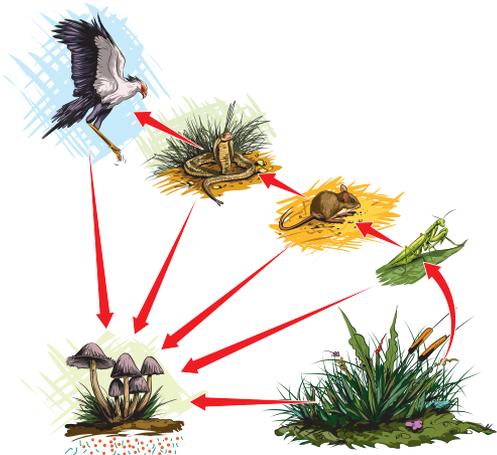
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fasa-RS (adaptado)

C4-H14

Observe a imagem a seguir:

LUKAVES/ISTOCKPHOTO.COM



Nessa cadeia alimentar, o organismo que apresenta o maior nível de energia acumulada é (são)

- a) camundongo. c) cobra.
b) fungos. d) gramínea.

Os organismos autótrofos produtores apresentam mais energia acumulada. Portanto, são as gramíneas.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

2. UFRGS-RS – Analise o quadro abaixo, que representa os componentes de uma cadeia alimentar aquática e outra terrestre.

Ecosistema aquático	aguapé	caramujo	peixe	garça
Ecosistema terrestre	milho	rato	cobra	gavião

Cite os níveis tróficos de cada organismo.

O milho e o aguapé ocupam o primeiro nível trófico (produtores); o ca-

ramujo e o rato, o segundo (consumidores primários); o peixe e a cobra,

o terceiro (consumidores secundários); e a garça e o gavião, o quarto

(consumidores terciários).

3. UNESP (adaptado)

Em alguns estados dos Estados Unidos, a doença de Lyme é um problema de saúde pública. Cerca de 30 mil casos são notificados por ano. A doença é causada pela bactéria *Borrelia burgdorferi*, transmitida ao homem por carrapatos que parasitam veados. Porém, um estudo de 2012 descobriu que a

incidência da doença de Lyme nas últimas décadas não coincidiu com a abundância de veados, mas com um declínio na população de raposas-vermelhas, que comem camundongos-de-patas-brancas, uma espécie oportunista que prospera com a fragmentação de florestas devido à ocupação humana.

Scientific American Brasil, dezembro de 2013. Adaptado.

Com base nessas informações, relacione o declínio de raposas-vermelhas com doença de Lyme e o aumento da população de camundongos-de-pata-branca.

O carrapato transmissor da doença de Lyme é parasita de veados e de

camundongos-de-pata-branca. Com a fragmentação de florestas pela

ocupação humana, aumenta a população de camundongos, o que, asso-

ciado ao declínio do seu predador natural, a raposa-vermelha, provoca o

aumento da incidência de Lyme entre os humanos.

4. PUC-RJ (adaptado) – Cientistas do mundo inteiro pesquisam processos que tenham eficiência em sequestrar o carbono no solo, para evitar que esse elemento seja liberado na atmosfera. Explique o que é o sequestro de carbono.

A fixação ou o sequestro do carbono consiste na absorção do carbono

atmosférico pelas plantas e por outros organismos autotróficos e na sua

transformação em substâncias orgânicas por meio da fotossíntese.

5. UEM-PR – Considere o texto a seguir: “No ciclo da água ocorrem mudanças de estado. A água no estado líquido, quando sofre um aquecimento ou uma ação do vento, _____. A evaporação é a passagem lenta de um líquido para vapor, isto é, uma vaporização lenta. Ela ocorre a diversas temperaturas, mas sempre _____ do ambiente. O vapor-d’água, que é menos denso que o ar, _____, ficando sujeito a novas condições de pressão e de temperatura.” Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta de palavras que preenchem as lacunas do texto apresentado.

- a) sobe por convecção – cede calor – condensa
b) condensa – retira calor – evapora
c) sobe por convecção – retira calor – evapora
d) condensa – cede calor – sobe por convecção
e) evapora – retira calor – sobe por convecção

A água evapora. Esse processo ocorre retirando calor do ambiente; o vapor de água sobe por convecção e então é precipitado.

6. PUC-RJ – Cientistas brasileiros e ingleses publicaram recentemente os resultados de uma pesquisa que mostra que a perda de carbono na Amazônia brasileira é 40% maior do que se sabia. De acordo com essa pesquisa, a perda de carbono não se restringe apenas ao desmatamento da Amazônia, mas também ao corte seletivo, aos efeitos de borda e à queima da vegetação de sub-bosque. Com relação ao ciclo do carbono e ao papel desempenhado pelas florestas nesse processo, considere as afirmações abaixo:

- I. As florestas armazenam carbono na forma de açúcar.
- II. Todo o carbono da Terra está armazenado nos organismos fotossintetizantes.

III. Florestas tropicais representam uma das principais áreas de fixação de carbono.

IV. O gás carbônico é lançado no ambiente pela decomposição e combustão e é retirado pela respiração e fotossíntese.

É correto o que se afirma em

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

A afirmativa II está incorreta, porque o carbono é armazenado principalmente na atmosfera na forma de CO_2 , além de estar presente nos combustíveis fósseis. A afirmativa IV está incorreta, porque a respiração devolve CO_2 para o ambiente.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UECE – As pirâmides ecológicas, que podem ser de números, de biomassa e de energia, são bons modelos para análise de cadeias alimentares. Sobre esses modelos, é correto afirmar que

- a) a cada nível trófico, a energia do nível anterior é obtida em maior quantidade.
- b) a pirâmide de energia representa o número total de indivíduos de uma cadeia alimentar.
- c) a quantidade de energia em cada nível trófico é calculada multiplicando-se o número de indivíduos pela sua massa.
- d) a pirâmide de energia não pode ser expressa na forma invertida.

8. Fuvest-SP – Recentemente, pesquisadores descobriram, no Brasil, uma larva de mosca que se alimenta das presas capturadas por uma planta carnívora chamada drósera. Essa planta, além do nitrogênio do solo, aproveita o nitrogênio proveniente das presas para a síntese proteica; já a síntese de carboidratos ocorre como nas demais plantas. As larvas da mosca, por sua vez, alimentam-se dessas mesmas presas para obtenção da energia necessária a seus processos vitais.

Com base nessas informações, é correto afirmar que a drósera

- a) e a larva da mosca são heterotróficas; a larva da mosca é um decompositor.
- b) e a larva da mosca são autotróficas; a drósera é um produtor.
- c) é heterotrófica e a larva da mosca é autotrófica; a larva da mosca é um consumidor.
- d) é autotrófica e a larva da mosca é autotrófica; a larva da mosca é um decompositor.
- e) é autotrófica e a larva da mosca é heterotrófica; a drósera é um produtor.

9. Fuvest-SP – Nas margens de um rio, verificava-se a seguinte cadeia trófica: o capim ali presente servia de alimento para gafanhotos, que, por sua vez, eram predados por passarinhos, cuja espécie só ocorria naquele ambiente e tinha exclusivamente os gafanhotos como alimento; tais passarinhos eram predados por gaviões da região.

A lama tóxica que vazou de uma empresa mineradora matou quase totalmente o capim ali existente. É correto afirmar que, em seguida, o consumidor secundário

- a) teve sua população reduzida como consequência direta do aumento da biomassa no primeiro nível trófico da cadeia.

b) teve sua população reduzida como consequência indireta da diminuição da biomassa no primeiro nível trófico.

c) não teve sua população afetada, pois o efeito da lama tóxica se deu sobre o primeiro nível trófico da cadeia e não sobre o segundo.

d) não teve sua população afetada, pois a lama tóxica não teve efeito direto sobre ele, mas sim sobre um nível trófico inferior.

e) teve sua população aumentada como consequência direta do aumento da biomassa no segundo nível trófico da cadeia.

10. Unicamp-SP – Altas concentrações de metais pesados foram encontradas nas águas de inúmeras bacias hidrográficas brasileiras. Esses poluentes podem rapidamente se acumular em seres vivos. Por exemplo, peixes podem absorver metais pesados da água e pela ingestão de alimentos, retendo-os em seu tecido muscular.

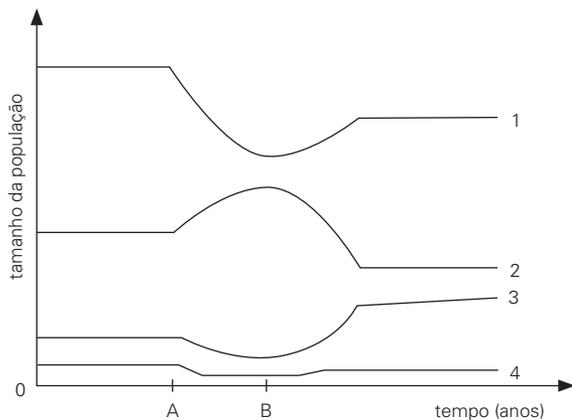
(Adaptado de Daniel P. de Lima e outros, Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. Acta Amazonica, Manaus, 45, pp. 405-414, 2015.)

Assinale a alternativa correta.

- a) Metais pesados, como o urânio, são encontrados em maiores concentrações em herbívoros longevos ou do meio da teia alimentar, como tartarugas marinhas e peixes de fundo de rio.
- b) Metais pesados, como o mercúrio, são encontrados em maiores concentrações em carnívoros do meio da teia alimentar, como aves de rapina e peixes predatórios.
- c) Metais pesados, como o ferro, são encontrados em maiores concentrações em herbívoros e carnívoros do topo da teia alimentar, como aves de rapina e peixes predatórios.
- d) Metais pesados, como o chumbo, são encontrados em maiores concentrações em predadores longevos ou do topo da teia alimentar, como aves de rapina e peixes predatórios.

11. UNESP – Em uma área, as aves de uma certa espécie alimentavam-se dos insetos que atacavam uma plantação. As aves também consumiam cerca de 10% da produção de grãos dessa lavoura. Para evitar tal perda, o proprietário obteve autorização para a caça às aves (momento A) em sua área de plantio, mas o resultado, ao longo do tempo, foi uma queda na produção de grãos. A caça às aves foi proibida (momento B) e a produção de grãos aumentou a partir de então, mas não chegou aos níveis anteriores. Ao longo de todo esse processo, a população do único predador natural dessas aves também foi afetada.

No gráfico estão representados os momentos A e B e as linhas representam a variação das populações de aves, de insetos que atacam a plantação e de predadores das aves, bem como a produção de grãos, ao longo do tempo.



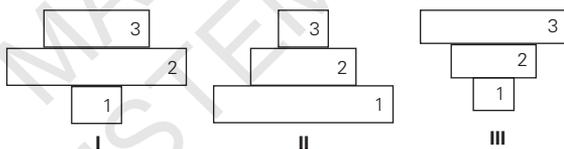
No gráfico, as linhas

- 2, 3 e 4 representam, respectivamente, a população de insetos, a população das aves e a população de seu predador.
- 1, 3 e 4 representam, respectivamente, a população das aves, os grãos produzidos pela agricultura e a população de insetos.
- 2, 3 e 4 representam, respectivamente, os grãos produzidos pela agricultura, a população do predador das aves e a população das aves.
- 1, 2 e 3 representam, respectivamente, os grãos produzidos pela agricultura, a população de insetos e a população das aves.
- 1, 2 e 3 representam, respectivamente, os grãos produzidos pela agricultura, a população das aves e a população de seu predador.

12. UNESP (adaptado) – Considere a notícia sobre o controle biológico de pragas adotado pela prefeitura de Paris e as pirâmides ecológicas apresentadas logo a seguir.

Para combater parasitas que têm consumido a vegetação de Paris, a prefeitura distribuiu aos moradores 40 000 larvas de joaninhas, predador natural desses organismos e que pode substituir pesticidas.

(Veja, 05.04.2017. Adaptado.)



Cite, respectivamente, qual é a pirâmide de biomassa, a pirâmide de energia e a barra que representa as joaninhas.

13. Fuvest-SP – Considere a situação hipotética de lançamento, em um ecossistema, de uma determinada quantidade de gás carbônico, com marcação radioativa no carbono. Com o passar do tempo, esse gás se dispersaria pelo ambiente e seria incorporado por seres vivos.

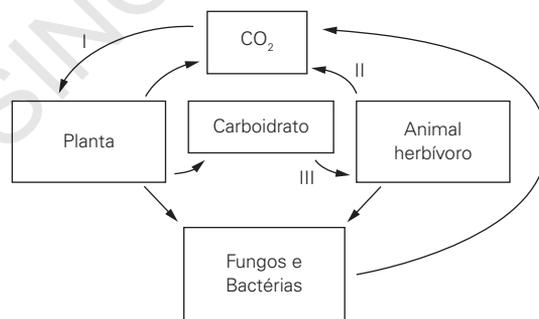
Considere as seguintes moléculas:

- Moléculas de glicose sintetizadas pelos produtores.
- Moléculas de gás carbônico produzidas pelos consumidores a partir da oxidação da glicose sintetizada pelos produtores.
- Moléculas de amido produzidas como substância de reserva das plantas.
- Moléculas orgânicas sintetizadas pelos decompositores.

Carbono radioativo poderia ser encontrado nas moléculas descritas em

- apenas.
- I e II, apenas.
- I, II e III, apenas.
- III e IV, apenas.
- I, II, III e IV.

14. UCS-RS (adaptado) – Os átomos dos elementos químicos são assimilados e transferidos continuamente entre os organismos e o ambiente, e a ciclagem desses elementos é denominada ciclo biogeoquímico. Considere o ciclo biogeoquímico do carbono representado na figura abaixo.



Cite os processos que ocorrem em I, II e III, respectivamente.

15. UFGD-MS – Leia o texto a seguir.

Os rios voadores são “cursos de água atmosféricos”, formados por massas de ar carregadas de vapor de água, muitas vezes acompanhados por nuvens, e são propulidos pelos ventos. Essas correntes de ar invisíveis passam em cima das nossas cabeças carregando umidade da Bacia Amazônica para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Essa umidade, nas condições meteorológicas propícias como uma frente fria vinda do Sul, por exemplo, se transforma em chuva. É essa ação de transporte de enormes quantidades de vapor de água pelas correntes aéreas que

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H14

Suponha que um pesticida lipossolúvel que se acumula no organismo após ser ingerido tenha sido utilizado durante anos na região do Pantanal, ambiente que tem uma de suas cadeias alimentares representadas no esquema: plâncton → pulga-d'água → lambari → piranha → tuiuiú

Um pesquisador avaliou a concentração do pesticida nos tecidos de lambaris da região e obteve um resultado de 6,1 partes por milhão (ppm). Qual será o resultado compatível com a concentração do pesticida (em ppm) nos tecidos dos outros componentes da cadeia alimentar?

a)	plâncton	pulga-d'água	piranha	tuiuiú
	15,1	10,3	4,3	1,2
b)	plâncton	pulga-d'água	piranha	tuiuiú
	6,1	6,1	6,1	6,1
c)	plâncton	pulga-d'água	piranha	tuiuiú
	2,1	4,3	10,4	14,3
d)	plâncton	pulga-d'água	piranha	tuiuiú
	2,1	3,9	4,1	2,3
e)	plâncton	pulga-d'água	piranha	tuiuiú
	8,8	5,8	5,3	9,6

19. Enem

C4-H14

Os parasitoides (misto de parasitas e predadores) são insetos diminutos que têm hábitos muito peculiares: suas larvas podem se desenvolver dentro do corpo de outros organismos, como mostra a figura. A forma adulta se alimenta de pólen e açúcares. Em geral, cada parasitoide ataca hospedeiros de determinada espécie e, por isso, esses organismos vêm sendo amplamente usados para o controle biológico de pragas agrícolas.

Ciclo de vida de um inseto parasitoide de lagartas



(A) Na fase adulta, após a cópula, a fêmea procura seu hospedeiro e põe um ou mais ovos dentro de seu corpo

(D) O parasitoide, após a metamorfose, cava um túnel nos tecidos do hospedeiro e emerge como adulto.

(B) O ovo eclode e a larva do parasitoide se desenvolve dentro da lagarta.

(C) A larva torna-se pupa, levando o hospedeiro à morte.

ENEM 2014

A forma larval do parasitoide assume qual papel nessa cadeia alimentar?

- Consumidor primário, pois ataca diretamente uma espécie herbívora.
- Consumidor secundário, pois se alimenta diretamente dos tecidos da lagarta.
- Organismo heterótrofo de primeira ordem, pois se alimenta do pólen na fase adulta.
- Organismo heterótrofo de segunda ordem, pois apresenta o maior nível energético na cadeia.
- Decompositor, pois se alimenta de tecidos do interior do corpo da lagarta e a leva à morte.

20. Enem (adaptado)

C3-H9

As nuvens são formadas por vapor de água e por um núcleo de condensação. Basicamente, esse núcleo consiste em vapor de água que se condensa, formando uma gota de água, que se precipita em forma de chuva ou neve, por exemplo. A Floresta Amazônica tem como principal fonte natural de núcleo de condensação de nuvens a sua vegetação, em que nuvens mais altas são carregadas por ventos intensos, exportando gotículas contidas em seu interior para regiões bastante distantes de sua origem. As chuvas de nuvens menos elevadas devolvem à floresta seus núcleos de condensação e aerossóis, isto é, praticamente no mesmo lugar em que foram formadas. Com a chegada dos seres humanos à Amazônia, os ciclos biogeoquímicos têm se modificado devido emissões de poluentes na atmosfera, tornando mais difícil a formação de nuvens.

Disponível em: <<https://vestibular.brasilecola.uol.com.br/enem/prova-amarelaquestao-6.htm>>.

Acesso em: mar. 2019.

O ciclo hidrológico da Amazônia depende essencialmente

- da produção de CO_2 através da respiração das árvores.
- da transpiração do seres vivos e liberação de aerossóis que possam atuar como núcleos de condensação das nuvens.
- das queimadas, capazes de produzirem gotículas de água que formarão a chuva.
- das nuvens de maior altitude, que trazem para a floresta vapor de água que foram formadas em regiões distantes.
- da intervenção humana, por alterarem a atmosfera da região.

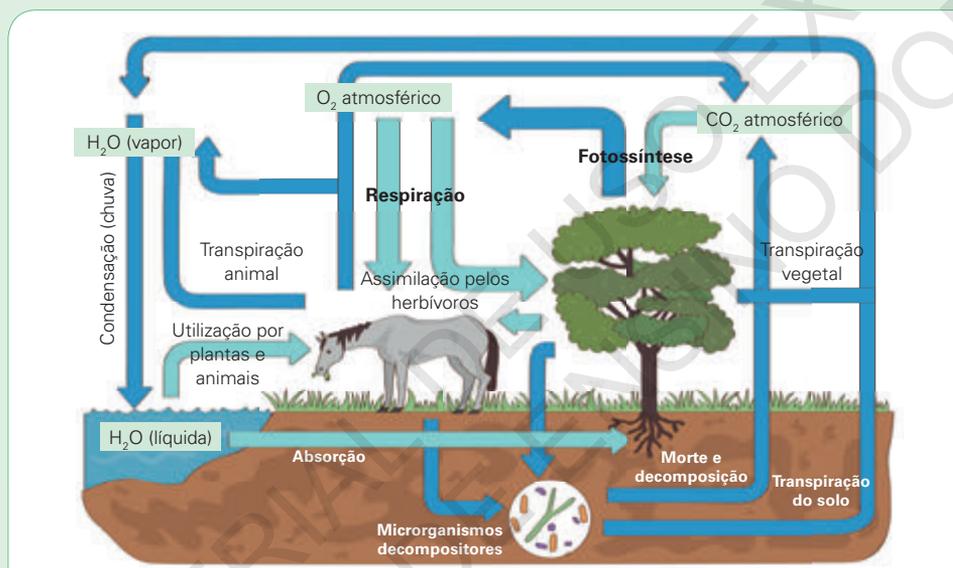
CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DO OXIGÊNIO, CÁLCIO, FÓSFORO E NITROGÊNIO

25

CICLO DO OXIGÊNIO

O oxigênio é encontrado em maior quantidade na atmosfera, proveniente da fotossíntese realizada por algas e plantas. Por meio da respiração, plantas e animais utilizam o O_2 e transformam-no metabolicamente em água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2). Portanto, os produtos dessa reação química são devolvidos ao ambiente pela transpiração, excreção e respiração dos seres vivos. Assim, o ciclo é reiniciado.

Na atmosfera, o O_2 é convertido em ozônio (O_3) por ação dos raios UV que incidem na Terra, formando uma barreira protetora contra eles.



Fotossíntese e respiração fazem parte do ciclo do oxigênio. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CICLO DO CÁLCIO

O cálcio é fundamental para os seres vivos, porque atua como ativador de enzimas. Nas plantas, esse elemento está em maior concentração na membrana, na região da lamela média (envolvida no processo de divisão celular). Nos vertebrados, o cálcio está mais concentrado nos ossos, compondo o esqueleto. No entanto, também se faz presente nos músculos de vertebrados e invertebrados, participando da contração muscular e dos processos metabólicos, como coagulação sanguínea e atividades neuromusculares.

Os sais de cálcio são encontrados principalmente no formato de carbonatos (CO_3^{2-}) e fosfatos (PO_4^{3-}) nas rochas calcárias, as quais sofrem intemperismo por ação de agentes climáticos. A erosão das rochas leva os sais para o solo, que são carregados pela chuva até rios e mares.

Nos oceanos, o cálcio é assimilado pelos animais, por isso está presente na formação das estruturas calcárias. Após a morte desses organismos, ele se acumula no fundo dos oceanos em virtude da decomposição estrutural. Ocorre, assim, a formação de rochas calcárias, que se afloram em razão do movimento da crosta terrestre. Dessa forma, o ciclo se reinicia.

- Ciclo do oxigênio
- Ciclo do cálcio
- Ciclo do fósforo
- Ciclo do nitrogênio
- Nitrogênio na agricultura

HABILIDADES

- Compreender os ciclos do oxigênio, do cálcio e do fósforo.
- Apresentar os processos físicos do oxigênio, do cálcio e do fósforo nos ciclos biogeoquímicos.
- Entender a importância do oxigênio, do cálcio e do fósforo para os seres vivos e para o ambiente.
- Compreender as principais etapas do ciclo do nitrogênio.
- Explicar os processos físicos que ocorrem com o nitrogênio nos ciclos biogeoquímicos.
- Entender a importância do nitrogênio para os seres vivos e o ambiente.

CICLO DO FÓSFORO

O fósforo apresenta funções essenciais nos organismos, por formar o ácido desoxirribonucleico, o ácido ribonucleico (DNA e RNA) e as moléculas de adenosina trifosfato (ATP). Além disso, disponibiliza energia para a manutenção do metabolismo dos seres vivos.

As plantas assimilam o fósforo presente na água e no solo em forma de íons de fosfato (PO_4^{3-}), e os animais o absorvem pela alimentação. Quando os seres vivos são decompostos, esse elemento volta ao solo e é carregado pela chuva para rios e mares, sendo então incorporado às rochas.

O fósforo só retorna ao ecossistema após um longo período, quando se aflora na superfície e se decompõe parcialmente por meio de intemperismos e erosões do solo.

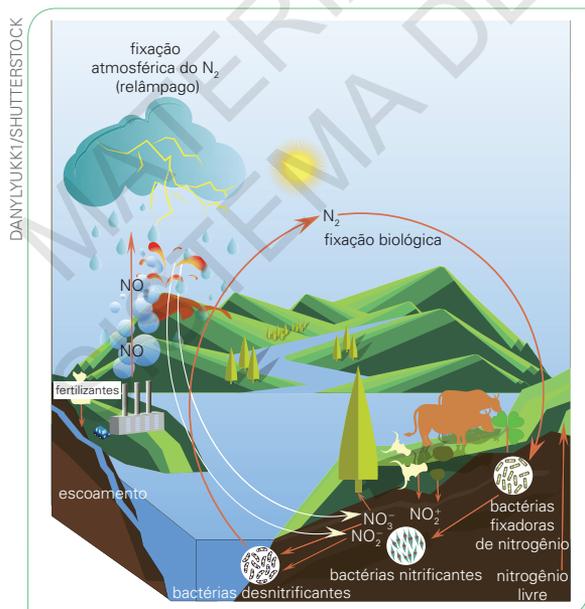
O ciclo do fósforo pode ser dividido em:

- **ciclo de tempo ecológico:** o elemento é reciclado entre o solo, os produtores e os consumidores, em uma escala de tempo relativamente curta;
- **ciclo de tempo geológico:** parte do fósforo ambiental é sedimentado e incorporado às rochas, processo que envolve longo período de tempo.

CICLO DO NITROGÊNIO

Este é um elemento químico importante na constituição de aminoácidos, que são as bases nitrogenadas (adenina, timina, guanina, citosina e uracila) do ácido desoxirribonucleico (DNA) e do ácido ribonucleico (RNA). Além disso, o nitrogênio (N) participa da formação da molécula de adenosina trifosfato (ATP), importante fonte de energia aos seres vivos. O gás nitrogênio (N_2) encontra-se livre na atmosfera e forma 79% dela. Entretanto, poucos organismos conseguem aproveitá-lo diretamente da atmosfera. Por esse motivo, é necessário que microrganismos convertam esse gás.

O ciclo do nitrogênio pode ser dividido em quatro etapas: **fixação**, **nitrificação**, **decomposição** e **desnitrificação**. Observe a representação dessas etapas no esquema abaixo.



Esquema resumido do ciclo do nitrogênio. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

FIXAÇÃO

Este é o processo pelo qual o N_2 se liga ao hidrogênio (H_2) e forma a amônia (NH_3). Ele pode ocorrer de três formas distintas:

- **fixação atmosférica**, durante fenômenos físicos, como relâmpagos ou faíscas elétricas;
- **fixação industrial**, quando o processo envolve fertilizantes e atividades industriais;
- **fixação biológica**, quando o processo é realizado por bactérias, cianobactérias e fungos, que se encontram livres no solo ou associados a raízes de plantas.

As bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Clostridium*, as cianobactérias dos gêneros *Anabaena* e *Nostoc* e alguns fungos são capazes de fixar nitrogênio pelo fato de estarem associados a certos tipos de planta – principalmente leguminosas, como feijão, ervilha e soja.

Esses seres vivem nas raízes das plantas e recebem o nome de **organismos radícolas**, fornecendo a elas nitrogênio em forma de NH_3 , por meio do processo de **amonificação**. Essa é, portanto, uma relação mutualística: tais organismos fornecem nitrogênio às plantas e recebem delas abrigo e alimento.

Em geral, a produção de amônia por meio da fixação atmosférica é mínima quando se considera a demanda dos seres vivos. A produção realizada pela fixação industrial é bem mais considerável.



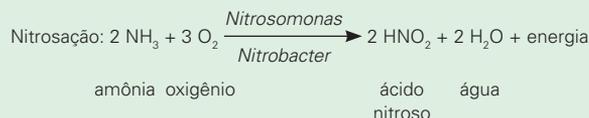
Nódulos de bactérias *Rhizobium* nas raízes de uma leguminosa.

NITRIFICAÇÃO

Por meio do processo de **nitrosação**, a amônia é oxidada pelas bactérias do gênero *Nitrosomonas* e se transforma em ácido nitroso (HNO_2), que se dissocia e forma o nitrito (NO_2). Posteriormente, o nitrito, substância tóxica às plantas, é convertido em nitrato (NO_3),

por meio do processo de **nitratação** realizado pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*.

O processo global de conversão de amônia em nitrato é denominado **nitrificação**, seja no solo ou na água. Veja a seguir as equações químicas que descrevem esses dois processos.

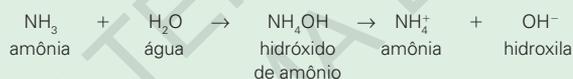


As plantas assimilam tanto a amônia quanto o nitrato presentes no solo e utilizam essas substâncias na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas. Porém, a quantidade de amônia assimilada é menor se comparada à quantidade de nitrato. Vale lembrar que, em pequena escala, a amônia também apresenta toxicidade para as plantas. As moléculas com nitrogênio são transferidas das plantas para os demais consumidores ao longo da cadeia alimentar.

DECOMPOSIÇÃO

A decomposição dos seres vivos e de excretas (ureia e ácido úrico) por ação de bactérias e fungos também resulta em amônia, que reage com a água do solo e produz hidróxido de amônio (NH_4OH). Este, por sua vez, é ionizado e gera o íon amônio (NH_4^+) e hidroxila (OH^-).

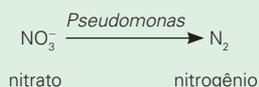
A formação de amônia com base na decomposição realizada pelos seres vivos pode ser representada pela seguinte equação:



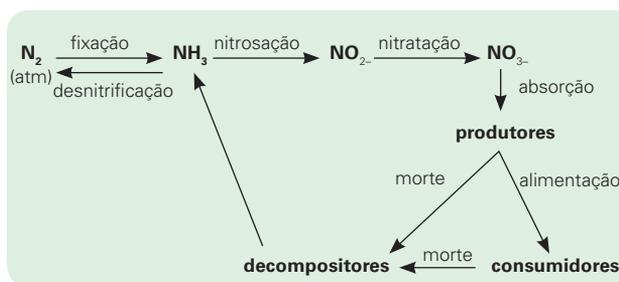
DESNITRIFICAÇÃO

Durante este processo, bactérias do gênero *Pseudomonas* convertem moléculas de nitratos em nitrogênio gasoso, que é devolvido à atmosfera pela ação de **bactérias desnitrificantes**.

Observe a representação da formação de nitrogênio com base no nitrato pela ação das *Pseudomonas*:



O esquema a seguir representa as vias simplificadas de todas as etapas do ciclo do nitrogênio.



NITROGÊNIO NA AGRICULTURA

Para existir maior quantidade de compostos nitrogenados no solo, emprega-se na agricultura a técnica chamada **rotação de cultura**. Essa prática consiste em alternar periodicamente o cultivo de plantas não leguminosas (arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar, sorgo) e plantas leguminosas (feijão, amendoim e lentilha). Em uma safra, são plantadas as não leguminosas, e na entressafra, as leguminosas.

Os benefícios desse tipo de plantio estão associados à presença das bactérias fixadoras de nitrogênio nas raízes das plantas leguminosas. Com isso, aumenta-se a quantidade de nitrogênio disponível no solo a ser utilizado na cultura das plantas não leguminosas.

Esse processo melhora as condições químicas, físicas e biológicas do solo e controla as populações de plantas daninhas. Além disso, a rotação de cultura reduz doenças e pragas, protege o solo da ação de agentes climáticos e ajuda os agricultores, pois gera economia de adubo.

Na chamada **adubação verde**, folhas e ramos das leguminosas são cortados após a colheita e enterrados, o que enriquece o solo com os compostos nitrogenados provenientes da decomposição. Essa prática economiza fertilizantes nitrogenados e apresenta um bom rendimento da terra.

LEITURA COMPLEMENTAR

Outra técnica para produzir alimentos

A hidroponia é uma técnica que não utiliza o solo para o cultivo de plantas, que recebem uma solução balanceada de nutrientes para se desenvolverem em meio aquoso ou em algum substrato, como a areia. A luminosidade e a temperatura são controladas quando o cultivo é feito em estufas. Esse processo possibilita o aumento da produção ao longo do ano.

A técnica tem como maior benefício a ausência de agrotóxicos durante o processo. Além disso, pode ser realizada em pequenos espaços e tem reduzida contaminação por pragas e doenças, pelo fato de as plantas não terem contato direto com o solo.

Outra grande vantagem da hidroponia ocorre em virtude da pouca necessidade de água no processo de cultivo, uma vez que é um sistema fechado. A técnica não é utilizada em larga escala no Brasil, mas já ocorre em regiões próximas às grandes cidades, onde as terras são escassas e apresentam preço elevado.

ROTEIRO DE AULA

CICLO DO OXIGÊNIO

Oxigênio é produto da

fotossíntese

Na respiração celular, o oxigênio forma

CO₂ e H₂O

Esse gás é devolvido ao ambiente pelos processos de

transpiração

excreção

respiração

O₂ convertido em

ozônio (O₃)

CICLO DO CÁLCIO

Ocorre na forma de

carbonato

nas rochas calcárias

Rochas sofrem

intemperismo

e levam cálcio para o

solo

Nos oceanos, o cálcio é assimilado pelos animais, participando da formação das

estruturas calcárias

Após a morte dos organismos, o cálcio se acumula no fundo dos oceanos, formando

rochas calcárias

ROTEIRO DE AULA

CICLO DO FÓSFORO

Ocorre na forma de

fosfato

ciclo do tempo ecológico

Seres vivos assimilam o elemento na água e na alimentação

Fósforo retorna ao solo por

decomposição

Período

curto

ciclo do tempo geológico

O elemento é incorporado às rochas e devolvido ao ambiente por meio de

intemperismos

Período

longo

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

CICLO DO NITROGÊNIO

FIXAÇÃO

Nitrogênio atmosférico é convertido em

amônia

Fixação atmosférica

Por meio de fenômenos físicos, com relâmpagos.

Fixação industrial realizada por

fertilizantes

Fixação biológica

realizada por microrganismos do solo em associação com leguminosas.

NITRIFICAÇÃO

Amônia convertida em

nitrito

por bactérias

Nitrosomonas

Nitrito convertido em

nitrato

por bactérias

Nitrobacter

DECOMPOSIÇÃO

Bactérias decompositoras produzem

hidróxido de amônia

Reação de amônia com

hidrogênio

presente no solo.

DESNITRIFICAÇÃO

Nitrato convertido em

nitrogênio gasoso

devolvido para

atmosfera

ROTEIRO DE AULA

NITROGÊNIO NA AGRICULTURA

O plantio de leguminosas e não leguminosas para aumentar compostos nitrogenados no solo é chamado de

rotação de cultura

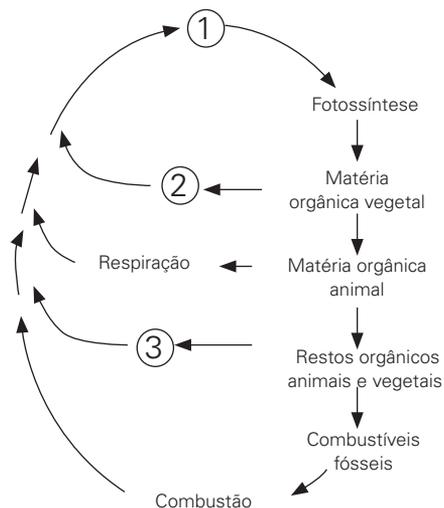
Técnica em que o plantio ocorre sem a presença de solo, com a mistura de água e solução rica em nutrientes:

hidroponia

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fesp-PR (adaptado) – O esquema a seguir se refere ao ciclo de dois elementos químicos importantes nos processos biológicos.



Cite quais processos biogeoquímicos estão envolvidos e dê os respectivos nomes em 1, 2 e 3.

O esquema representa os ciclos do carbono e do oxigênio. Os itens 1, 2

e 3 são, respectivamente, CO_2 , respiração e decomposição.

2. Sistema Dom Bosco – O cálcio é encontrado principalmente em formato de cálcio e fosfato nas rochas. Sobre seu ciclo biogeoquímico, marque a alternativa correta.

- a) Seres vivos sofrem decomposição e liberam cálcio no solo.
b) As rochas sofrem intemperismo e liberam cálcio para os oceanos.
 c) Nos oceanos, o cálcio participa da formação dos órgãos internos de vertebrados.
 d) Os sais de cálcio presentes nas rochas sofrem evaporação e são liberados na atmosfera.

A alternativa A está incorreta. O cálcio é liberado em rios e oceanos. A alternativa C está incorreta. O cálcio participa de estruturas calcárias, nos ossos de peixes e na formação de conchas. A alternativa D está incorreta. Os sais de cálcio presentes nas rochas sofrem intemperismo e são liberados em rios e mares.

3. UECE (adaptado)

C3-H9

O movimento entre as substâncias provenientes do meio abiótico para o mundo vivo e o retorno delas a partir dos seres vivos para o meio ambiente ocorrem por meio dos ciclos biogeoquímicos. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta.

- a) As plantas assimilam fósforo por meio da alimentação.
 b) O cálcio é encontrado principalmente nas estruturas dos animais marinhos.
 c) Os seres vivos liberam oxigênio para atmosfera principalmente por meio da transpiração.
d) As rochas fosfatadas sofrem erosão e liberam para o solo o fósforo, elemento que será absorvido pelos vegetais, para a produção de ATP e ácidos nucleicos.

A alternativa A está incorreta. As plantas assimilam o fósforo presente na água e no solo. A alternativa B está incorreta. O cálcio é encontrado principalmente nas rochas, em formato de carbonato ou fosfato. A alternativa C está incorreta. Os seres vivos liberam oxigênio para a atmosfera por meio da excreção, da transpiração e da respiração.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

4. UFJF-MG – O nitrogênio é um elemento presente nas moléculas de aminoácidos, unidades das proteínas, e nas bases nitrogenadas, componentes dos ácidos nucleicos. O ar atmosférico tem, na sua composição, 78% de nitrogênio molecular (N_2), sendo, portanto, o principal reservatório desse gás. As afirmativas a seguir estão relacionadas ao ciclo do nitrogênio:

- I. O nitrogênio atmosférico (N_2) é transformado em amônia (NH_3) pelas bactérias fixadoras de nitrogênio presente no solo ou em associação com raízes de leguminosas ou ainda por cianobactérias presentes na água.
 II. As bactérias nitrificantes transformam parte da amônia em nitrito e depois em nitrato.
 III. As bactérias desnitrificantes transformam parte da amônia e do nitrato em nitrogênio gasoso que volta à atmosfera.
 IV. As bactérias decompositoras transformam os resíduos nitrogenados inorgânicos em amônia.
 V. O nitrito e o nitrato são utilizados para a produção da amônia.

São corretas as afirmativas

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

A afirmativa IV está incorreta. As bactérias decompositoras transformam resíduos nitrogenados inorgânicos em hidróxido de amônia. A afirmativa V está incorreta. Com base na amônia, são produzidos nitrito e nitrato.

5. Vunesp (adaptado) – Nos últimos 50 anos, a fixação do nitrogênio tem sido bastante estudada e foram produzidos muitos conhecimentos a respeito desse processo. Com base nisso, cite os organismos responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio e explique sua importância.

Bactérias do gênero *Rhizobium*, cianobactérias dos gêneros *Anabaena*

e *Nostoc* e alguns fungos são capazes de fixar nitrogênio por estarem

associados a raízes de certas plantas leguminosas, como feijão, ervi-

lha e soja. Esses organismos radicolas fornecem nitrogênio às plantas

em forma de NH_3 e em troca recebem proteção e alimento.

6. UFRJ (adaptado) – O nitrogênio tem grande importância na produção de proteínas. No entanto, esse elemento não pode ser utilizado diretamente por plantas e animais. Explique como os seres vivos absorvem esse elemento e quais organismos contribuem para a transformação do nitrogênio.

Os animais absorvem nitrogênio diretamente da alimentação ao consu-

mir outros organismos ricos nessa substância. As plantas não são ca-

pazes de absorver nitrogênio diretamente da atmosfera e contam com

bactérias fixadoras presentes no solo, as quais atuam na transformação

de nitrogênio em amônia.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-SP – Suponha que se queira manter animais aquáticos herbívoros em um aquário. Para garantir a sobrevivência desses animais durante certo tempo, seria aconselhável adicionar ao ambiente

- plantas aquáticas e algas que, além de servirem de alimento para os animais, forneceriam oxigênio ao meio, caso esse fosse iluminado.
- plantas aquáticas e algas que, além de servirem de alimento para os animais, forneceriam oxigênio ao meio, mesmo que esse não fosse iluminado.
- fungos e bactérias que, além de servirem de alimento para os animais, forneceriam gás carbônico ao meio, caso esse fosse iluminado.
- fungos e bactérias que, além de servirem de alimento para os animais, forneceriam gás carbônico ao meio, mesmo que esse não fosse iluminado.
- zooplâncton que, além de servir de alimento para os animais, forneceria oxigênio ao meio, caso esse fosse iluminado.

8. UFMG (adaptado) – Há diversos processos capazes de repor o oxigênio na atmosfera, **exceto**

- a alta produtividade de comunidades em fase inicial de sucessão autotrófica.
- a fotólise de vapor-d'água por radiação ultravioleta.
- a oxidação do ferro nas rochas por intemperismo oxidativo.
- as atividades fisiológicas dos organismos do fitoplâncton.
- a transformação da camada de ozônio (O_3) em oxigênio (O_2).

9. UFSM-RS (adaptado) – Independentemente de cultura, os vegetais fornecem alimentos para todos. Nos versos que seguem, o autor tenta demonstrar essa condição.

Nem todo o Rei tem Reinado

Perguntar nunca é demais:

– O que seria dos bichos
Se não fossem os vegetais? } **1**

[...]

Mas todo bicho depende
Das plantas para viver. } **2**

[...]

– Ah, se planta não soubesse
Transformar a luz solar } **3**

o vasto reino animal

Deixaria de se faltar...

Fonte: SOUZA, P. R. de. *Síntese de Poesia*. 2006.

Analise as seguintes afirmativas:

- Os versos assinalados com as referências 1 e 2 salientam a dependência dos animais, em especial, quanto ao oxigênio, produzido pelos vegetais por meio da respiração celular.

- Os versos assinalados com a referência 3 dizem respeito à fotossíntese, principal processo capaz de liberar O_2 na atmosfera.

- Os versos assinalados com a referência 2 remetem à produção de matéria orgânica produzida pelas plantas. Estas liberam CO_2 para o ambiente durante a respiração.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- apenas.
- II apenas.
- I e II apenas.
- I e III apenas.
- II e III apenas.

10. Sistema Dom Bosco – O oxigênio apresenta um ciclo biogeoquímico no qual é disponibilizado na atmosfera pelas plantas em forma de O_2 , por meio da fotossíntese. Ele é, então, utilizado pelos animais. Explique detalhadamente como o oxigênio completa o ciclo a partir dessa etapa.

11. UFF-RJ (adaptada) – A fotossíntese é o principal processo capaz de disponibilizar oxigênio na atmosfera. Além disso, 70% do nosso planeta é composto de água, onde vivem os fitoplânctons. Sobre o ciclo biogeoquímico do oxigênio, pode-se inferir que

- como a Amazônia é a maior floresta do mundo, é a responsável pela produção de todo o oxigênio do planeta.
- o oxigênio é liberado pelos organismos na atmosfera por meio da excreção apenas.
- as algas microscópicas são as principais fornecedoras do planeta.
- o oxigênio não é utilizado pelas plantas.
- há apenas O_2 na atmosfera.

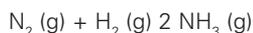
12. Fuvest-SP – Analise as três afirmações seguintes sobre ciclos biogeoquímicos.

- A respiração dos seres vivos e a queima de combustíveis fósseis e de vegetação restituem carbono na atmosfera.
- Diferentes tipos de bactérias participam da ciclagem do nitrogênio: as fixadoras, que transformam o gás nitrogênio em amônia, as nitrificantes, que produzem nitrito e nitrato, e as desnitrificantes, que devolvem o nitrogênio gasoso à atmosfera.
- Pelo processo da transpiração, as plantas bombeiam, continuamente, água do solo para a atmosfera, e esse vapor de água se condensa e contribui para a formação de nuvens, voltando à terra como chuva.

Está correto o que se afirma em

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) III, apenas.
- e) I, II e III.

- 13. UNESP** – A amônia (NH_3) é obtida industrialmente pelo processo Haber-Bosch, que consiste na reação química entre o gás nitrogênio proveniente do ar e o gás hidrogênio. O processo ocorre em temperaturas superiores a $500\text{ }^\circ\text{C}$ e pressões maiores que 200 atm e pode ser representado pela equação química:



A amônia produzida por esse processo tem como uma de suas aplicações a fabricação de fertilizantes para o aumento da produção agrícola. Na natureza, a amônia também é produzida tendo o ar como fonte de gás nitrogênio, que é assimilado

- a) pelo micélio dos fungos filamentosos.
- b) pela respiração dos animais invertebrados que vivem no solo.
- c) por bactérias no solo e nas raízes de leguminosas.
- d) pelo processo de fotossíntese realizado por plantas e algas.
- e) pela decomposição dos tecidos dos seres vivos

- 14. Unioeste-PR** – Leia a seguinte notícia:

“Uma descoberta feita por pesquisadores da Universidade de Nottingham, na Inglaterra, pode ajudar a solucionar o problema dos fertilizantes sintéticos de nitrogênio. Esses fertilizantes são produzidos a partir de combustíveis fósseis, com alto custo econômico e geram poluição para o meio ambiente e grande gasto de energia. Edward Cocking, diretor do Centro de Fixação de Nitrogênio em Plantações, desenvolveu um método que permite às plantas retirarem o nitrogênio que precisam diretamente do ar, utilizando bactérias fixadoras de nitrogênio. A bactéria denominada *Gluconacetobacter diazotrophicus*, encontrada na cana-de-açúcar, é capaz de colonizar, de forma intracelular, os principais tipos de plantações, dando a todas as células da planta o potencial para retirar o nitrogênio diretamente do ar”.

Sobre o ciclo do nitrogênio e a sua importância para os seres vivos, **não** se pode dizer que

- a) as leguminosas apresentam em suas raízes bactérias fixadoras que transformam N_2 atmosférico em íons amônio.
- b) o nitrogênio incorporado às proteínas das plantas pode ser transferido para os animais ao longo da cadeia alimentar.
- c) o N_2 retorna ao meio ambiente pela excreção, decomposição de organismos mortos e pela ação de bactérias desnitrificantes.
- d) as bactérias do gênero *Nitrosomonas* são organismos quimiossintetizantes encontrados no solo, as quais transformam os íons nitrito em nitrato.
- e) os íons amônio e nitrato, produzidos por bactérias fixadoras livres no solo, podem ser absorvidos diretamente pelas plantas e são utilizadas para a síntese de aminoácidos e nucleotídeos.

- 15. UFRJ (adaptado)** – Os sul-africanos estão atravessando uma grave crise na alimentação, causada pelo

esgotamento do solo na região. A fim de minimizar o problema, a Universidade da Califórnia desenvolveu uma técnica para recuperar os solos esgotados, a qual consiste em plantar árvores de leguminosas em meio a lavouras de alimentos.

Adaptada de *Ciência Hoje*, SBPC, v. 33, nº 193, maio de 2003, p. 51.
 Questão 15. Disponível em: <<https://exerciciosweb.com.br/ecologia/ciclo-do-nitrogenio-questoes-02/>>.

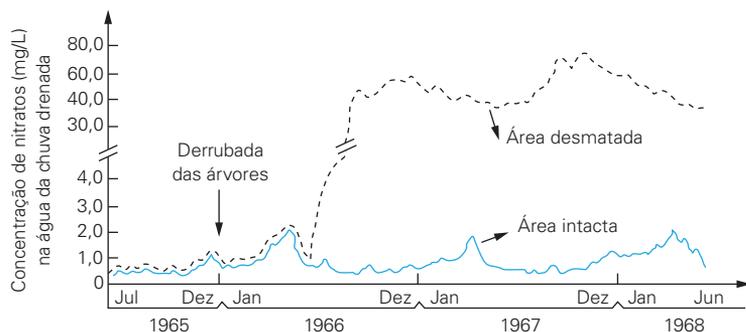
Explique como essa técnica ajuda a recuperar o solo.

- 16. Unifesp** – A hidroponia consiste no cultivo de plantas com as raízes mergulhadas em uma solução nutritiva que circula continuamente por um sistema hidráulico. Nessa solução, além da água, existem alguns elementos químicos que são necessários para as plantas em quantidades relativamente grandes e outros que são necessários em quantidades relativamente pequenas.

a) Considerando que a planta obtém energia a partir dos produtos da fotossíntese que realiza, por que, então, é preciso uma solução nutritiva em suas raízes?

b) Cite um dos elementos, além da água, que obrigatoriamente deve estar presente nessa solução nutritiva e que as plantas necessitam em quantidade relativamente grande. Explique qual sua participação na fisiologia da planta.

17. Fuvest-SP (adaptado) – Na década de 60, pesquisadores monitoraram por um semestre uma região de floresta temperada em que parte da vegetação da área foi derrubada e o crescimento de novas plantas foi impedido. O gráfico a seguir mostra as concentrações de nitratos presentes nas águas de chuva drenadas das duas áreas para córregos próximos.



Se três anos após esse evento a vegetação da área intacta fosse removida e ambas as áreas fossem usadas imediatamente para cultivo, em qual das regiões você espera haver maior produtividade? Explique.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C3-H9

Plantas terrestres que ainda estão em fase de crescimento fixam grandes quantidades de CO_2 , utilizando-o para formar novas moléculas orgânicas, e liberam grande quantidade de O_2 . No entanto, em florestas maduras, cujas árvores já atingiram o equilíbrio, o consumo de O_2 pela respiração tende a igualar sua produção pela fotossíntese. A morte natural de árvores nessas florestas afeta temporariamente a concentração de O_2 e de CO_2 próximo à superfície do solo onde elas caíram.

A concentração de O_2 próximo ao solo, no local da queda, será

- menor, pois haverá consumo de O_2 durante a decomposição dessas árvores.
- maior, pois haverá economia de O_2 pela ausência das árvores mortas.
- maior, pois haverá liberação de O_2 durante a fotossíntese das árvores jovens.
- igual, pois haverá consumo e produção de O_2 pelas árvores maduras restantes.
- menor, pois haverá redução de O_2 pela falta de fotossíntese realizada pelas árvores mortas.

19. Enem

C3-H9

O nitrogênio é essencial para a vida e o maior reservatório global desse elemento, na forma de N_2 , é a atmosfera. Os principais responsáveis por sua incorporação na matéria orgânica são microrganismos fixadores de N_2 , que ocorrem de forma livre ou simbiotes com plantas.

ADUAN, R. E. et al. *Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta*. Planaltina: Embrapa, 2004 (adaptado).

Animais garantem suas necessidades metabólicas desse elemento pela

- absorção do gás nitrogênio pela respiração.
- ingestão de moléculas de carboidratos vegetais.
- incorporação de nitratos dissolvidos na água consumida.
- transferência da matéria orgânica pelas cadeias tróficas.
- protocooperação com microrganismos de nitrogênio.

20. Enem

C3-H9

Uma grande virada na moderna história da agricultura ocorreu depois da Segunda Guerra Mundial. Após a guerra, o governo havia se deparado com um enorme excedente de nitrato de amônio, ingrediente usado na fabricação de explosivos. A partir daí as fábricas de munição foram adaptadas para começar a produzir fertilizantes tendo como componente principal os nitratos.

SOUZA, F.A. Agricultura natural/orgânica como instrumento de fixação biológica e manutenção do nitrogênio no solo: um modelo sustentável de MDL. Disponível em: www.planetaorganico.com.br. Acesso em: 17 jul. 2015 (adaptado).

No ciclo natural do nitrogênio, o equivalente ao principal componente desses fertilizantes industriais é produzido na etapa de

- a) nitratação.
- b) nitrosação.
- c) amonificação.
- d) desnitrificação.
- e) fixação biológica do N_2 .

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

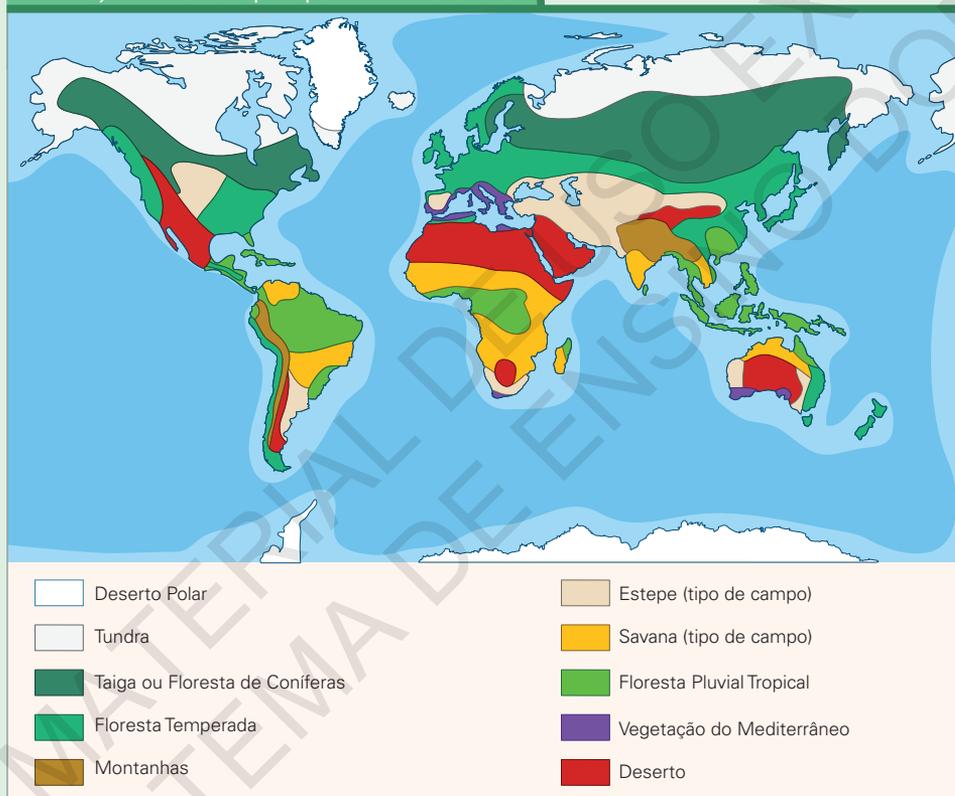
BIOMAS TERRESTRES E RELAÇÕES ECOLÓGICAS HARMÔNICAS

26

PRINCIPAIS BIOMAS MUNDIAIS

Biomass, também denominados grandes ecossistemas, consistem em um conjunto de fauna, flora e clima característicos de regiões específicas. Em geral, é difícil delimitá-los, pois a paisagem é capaz de mudar gradativamente, misturando-se sem que a percebamos radicalmente. Os principais biomas existentes no planeta Terra são: Tundra, Taiga, Floresta Temperada, Floresta Pluvial Tropical, Floresta Mediterrânea, Campos e Deserto.

Distribuição mundial dos principais biomas terrestres



TUNDRA

Ocorre ao redor do círculo Ártico – no extremo norte do Alasca e do Canadá, na Noruega, na Finlândia, na Groelândia e na Sibéria –, na cordilheira dos Alpes, na Europa, e em ilhas subantárticas do hemisfério sul. Tem como características principais: os *permafrosts*, cujo solo é composto especificamente de terra, rocha e gelo e permanece congelado de maneira permanente; e a água líquida, encontrada apenas no verão. Em geral, apresenta clima extremamente frio e seco, com inverno e verão bem definidos. Tem muitos fungos, líquens e vegetação rasteira, com ciclo curto de vida das plantas, de modo que não há tempo para formação de grandes árvores ou angiospermas, com floração e formação de sementes de pequenas plantas apenas no verão.

- Principais biomas mundiais
- Principais biomas brasileiros
- Relações intraespecíficas
- Relações interespecíficas

HABILIDADES

- Citar os principais biomas mundiais e brasileiros.
- Caracterizar cada um dos biomas mundiais e brasileiros em relação ao clima, à umidade, à fauna e à flora.
- Explicar as principais relações harmônicas intraespecíficas e interespecíficas.
- Compreender a importância ecológica das relações entre os seres vivos.
- Compreender o impacto das relações ecológicas na manutenção do ecossistema e para a evolução das espécies.

Aves e mamíferos que habitam esse bioma são adaptados ao frio. São espécies características: caribus, renas, ursos, raposas, bois-almiscarados, lebres, lobos e roedores (lêmingues). As aves do hemisfério norte têm hábito migratório e voam para o hemisfério sul em busca de alimentos e temperaturas menos rigorosas durante o inverno.



REALIMAGE / ALAMY STOCK PHOTO

Exemplo de tundra no monte Storsteinen (Noruega) durante o verão.

TAIGA

A Taiga, também chamada de **Floresta Setentrional de Coníferas** ou **Floresta Boreal**, é encontrada ao longo da América do Norte (Alasca, Canadá) e na Eurásia (Sibéria, Japão, Suécia). As temperaturas são baixas, mas o verão é mais quente e prolongado se comparado à Tundra, o que favorece o crescimento de grandes árvores. Como, no inverno, a água permanece congelada, os animais e as plantas desse bioma ficam em estado de **dormência** marcada, com metabolismo muito lento.

A vegetação é bastante homogênea, com predominância de pinheiros (gimnospermas), musgos, líquens, algumas plantas arbóreas e poucos arbustos. Durante o verão, coníferas podem apresentar sistema de raízes superficial do solo, na tentativa de captar água. A fauna é constituída principalmente de alces, ursos-pardos, lobos, lincos e diversos roedores. Entre as aves, podem ser destacados galos-silvestres, corujas-lapônicas, corujas-das-neves e outras aves migratórias.



ONFOKUS/ISTOCKPHOTO.COM

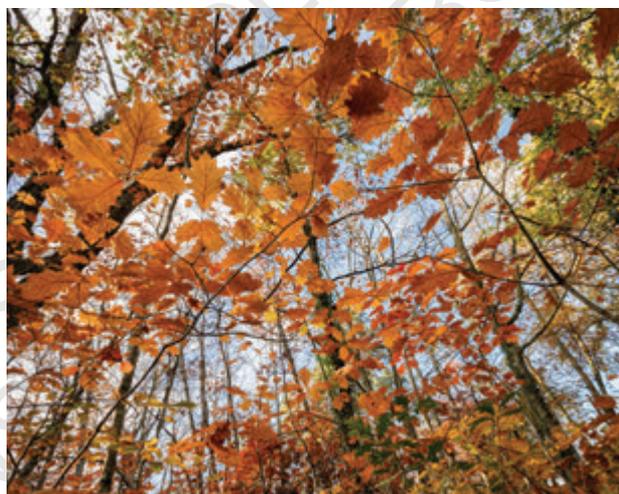
Ambiente de Taiga no outono. Província de Quebec, Canadá.

FLORESTAS TEMPERADAS

Este bioma abrange áreas como o leste da América do Norte e grande parte da Eurásia. No inverno, há presença de neve e, no verão, as temperaturas são altas, com estações definidas.

O solo rico em matéria orgânica torna possível o desenvolvimento de árvores de grande porte, que perdem as folhas no outono e são conhecidas como **decíduas** ou **caducifólias**. Além da predominância das angiospermas, há, ainda, a presença de diversas espécies de ervas perenes com rápido crescimento durante a primavera.

A fauna apresenta muitas espécies migratórias que retornam na primavera. Espécies como cervos, porcos-do-mato, leões-da-montanha, esquilos, pumas, raposas e lobos podem ser encontradas com maior constância nesse bioma.



STEPHANE BIDOUZE/SHUTTERSTOCK

Nas florestas temperadas, o outono é bem marcado, com evidência de sua principal característica, o alaranjado das folhas que caem e deixam as árvores desfolhadas.

FLORESTA PLUVIAL TROPICAL

Apresenta alto nível de umidade, chuvas contínuas, temperaturas elevadas (entre 21 °C e 32 °C) e alta radiação solar, sendo o bioma mais produtivo da Terra. Encontra-se nas regiões próximas à linha do Equador, onde estão localizadas as florestas tropicais distribuídas na Austrália, na Índia, em alguns locais da Ásia, da África, da América Central e da América do Sul.

A vegetação consiste em dosséis densos e o solo é coberto por muita matéria orgânica e folhas perenes. As raízes são pouco profundas em razão do grande acúmulo de matéria orgânica recém-decomposta que, predominantemente, pode ser encontrada na superfície. Assim, há grande riqueza de nutrientes, uma vez que a reposição da biomassa ocorre rapidamente na floresta. A pouca profundidade das raízes facilita as derrubadas nos desmatamentos.

Tanto as plantas quanto os animais são ativos durante praticamente o ano todo, apresentando grande variedade de espécies. Predominam, nesse ambiente, mamíferos arbóreos, como macacos, lêmures e pre-

guiças, e animais terrestres, como cotias, capivaras, onças e antas, além de aves, répteis, anfíbios e grande diversidade de invertebrados.



Interior de Floresta Pluvial Tropical.

FLORESTA MEDITERRÂNEA

A Floresta Mediterrânea era um bioma com características únicas, mas que, com o passar do tempo, foi modificado, tornando-se tão diferente que deixou de existir, dando lugar a formações vegetais secundárias, denominadas Chaparrais. Também chamado de **maqui**, ocorre em clima ameno, com ventos úmidos e verão seco nas regiões em torno do mar Mediterrâneo, na Europa, na Califórnia, no noroeste do México e em algumas áreas da Austrália, do Chile e da África do Sul. Desenvolve-se em ambientes que apresentam precipitação inferior à dos campos temperados, e tem, predominantemente, plantas lenhosas arbustivas de folhas duras, com crescimento lento e resistentes às secas.

A vegetação é mais evidente durante o inverno e no começo da primavera, quando há maior intensidade de chuvas. Composta principalmente de arbustos densos e árvores lenhosas baixas, a vegetação se desenvolve no solo ácido característico das regiões. Além disso, a Floresta Mediterrânea passa por queimadas periódicas, de modo que algumas plantas só se desenvolvem após essas queimas.



O Parque Nacional Death Valley, Califórnia (Estados Unidos), é uma região característica do bioma Chaparral.

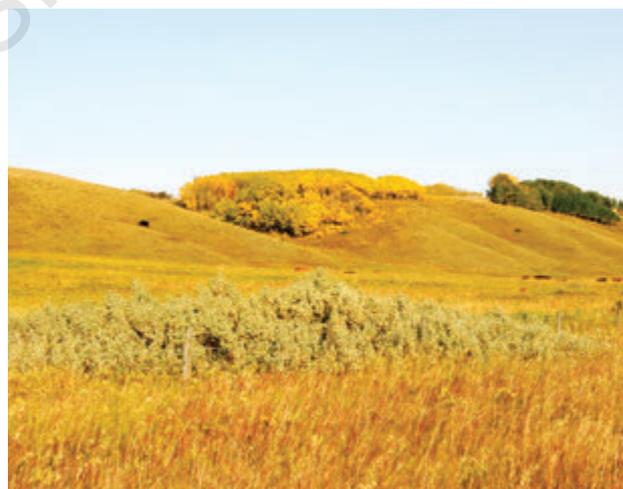
CAMPO

Em geral, ocupa regiões mais secas, em ambientes tropicais ou temperados, e pode ter diversos nomes, tais como: **estepes**, na Ásia, e **pradarias**, na América do Norte. Com duas estações bem definidas, não é comum a presença de árvores, em virtude das condições climáticas e do solo. A continentalidade faz com que a umidade, em quase todo o ano, seja baixa. No entanto, é possível encontrar rios e lagos, onde há a presença de árvores, assim como mais de um estrato de vegetação em locais mais úmidos (próximos a ambientes tropicais).

As **estepes** apresentam vegetação herbácea, com predominância de gramíneas, geralmente altas, de modo contínuo, geralmente em zonas de transição entre savanas e desertos. O terreno é plano ou pouco ondulado.

As **pradarias** são similares às estepes, mas ocorrem em clima temperado ou subtropical, em regiões como Estados Unidos, Canadá e Uruguai. A vegetação é similar à das estepes, com solos férteis e grande quantidade de matéria orgânica disponível, em razão das plantas que secam nos períodos mais secos, produzindo húmus.

Os animais que habitam os campos apresentam adaptações específicas para regiões com relativa privação de água, podendo aproveitar a ampla vegetação como fonte de nutrientes. No entanto, por ser uma região aberta, esses animais estão constantemente sujeitos à predação.



Vegetação de gramíneas encontrada nas regiões de pradaria, no Canadá.

SAVANAS

As regiões tropicais, em grande parte do continente africano, na América Central, na América do Sul, na Ásia e na Austrália, são locais onde ocorrem savanas. São regiões predominantemente quentes com duas estações bem definidas, inverno seco e verão com chuvas.

A vegetação é composta de herbáceas até uma matriz campestre, com árvores esparsas. O solo é poroso, ácido e pobre em nutrientes. O fogo também está presente e tem papel importante no equilíbrio da

vegetação, favorecendo espécies campestres. Na fauna, há muitos herbívoros, mamíferos de grande porte, aves e insetos.



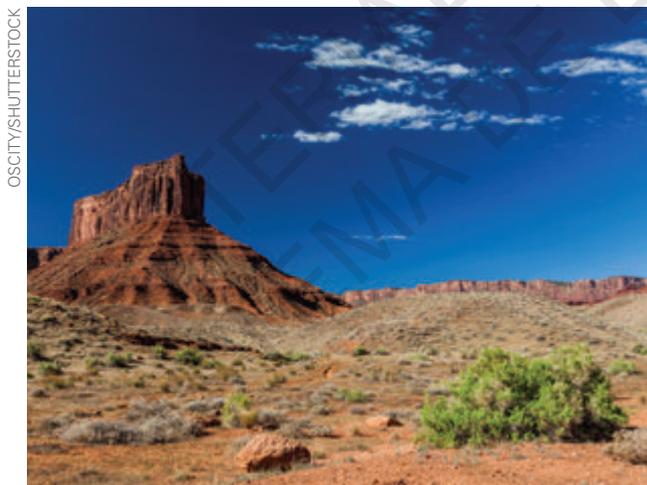
BABETKA/SHUTTERSTOCK

Paisagem da savana africana.

DESERTO

É caracterizado pela umidade reduzida, com temperaturas muito altas e raros eventos de precipitação. Os desertos podem ser tropicais, temperados e frios, distribuídos na África, Austrália, Ásia e nas Américas.

Em geral, o solo é árido e pobre em nutrientes. Em razão do clima e das condições edáficas, a vegetação é esparsa, de pequeno porte, com poucas gramíneas, arbustos, muitos cactos e suculentas, que são espécies bem-adaptadas a altas temperaturas e pouca disponibilidade de água. A fauna é composta de pequenos roedores, répteis, escorpiões e insetos, com adaptações para viver neste ambiente, como a eliminação de pouca água.



OSCIITY/SHUTTERSTOCK

Deserto do Arizona, Estados Unidos.

PRINCIPAIS BIOMAS BRASILEIROS

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil apresenta seis principais

biomas: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica (pluvial costeira), Caatinga, Pantanal e Pampa (campos sulinos).



AMAZÔNIA

Ocupa a região norte do Brasil e se estende por oito países vizinhos: Bolívia, Equador, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Peru e Venezuela. Aproximadamente 60% da Floresta Amazônica está em território brasileiro.

Esse bioma é conhecido como a maior floresta pluvial tropical do mundo. E é dividido em três tipos de vegetação: mata dos igapós, que consiste em solos alagados constantemente; matas de várzeas, com solos alagados periodicamente próximos aos rios; e matas de terra firme, sem inundações. O solo é arenoso e coberto por uma camada de húmus, rica em nutrientes e formada pela decomposição de animais, folhas e frutos.

A flora é bastante diversa, com plantas típicas, como castanheiros-do-pará, cedros, mata-paus, vitória-régias e seringueiras (esta utilizada na extração do látex para produção de borracha). A floresta tem também grande variedade de bromeliáceas e plantas de folhas largas e perenes, com diversos estratos formados pela copa das árvores.

Em relação à fauna, destacam-se espécies de macacos, onças, peixes-boi, antas e saguis. Há mais de 1 700 espécies de peixes nos rios amazônicos. A fauna de médio e pequeno portes é abundante na região, principalmente em relação aos mamíferos. A diversidade de peixes encontrada na bacia amazônica é uma das maiores do mundo, mesmo com a interferência de espécies invasoras em decorrência da ação antrópica. Podemos afirmar que o ecossistema aquático é um dos mais ricos desse bioma.

LEOFFREITAS/GETTYIMAGES



A Floresta Amazônica é considerada a maior bacia hidrográfica do planeta, já que 80% de água doce se encontra na região amazônica. Na imagem, o Rio Amazonas, o maior e o principal rio da Amazônia.

CERRADO

Ocorre principalmente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Bahia, Minas Gerais e em algumas regiões de São Paulo, Paraná, Paraíba e Pernambuco. A vegetação apresenta arbustos e árvores com galhos retorcidos, folhas coriáceas e caules bastantes espessos, que conferem resistência às queimadas. O solo é arenoso, ácido, com alta taxa de alumínio e boa capacidade de drenagem, permitindo que a água se acumule em regiões mais profundas, de difícil acesso.

As espécies que compõem a flora dispõem de adaptações para os períodos secos, como raízes profundas para absorção de água e órgãos subterrâneos que armazenam nutrientes para sobrevivência. Nesse bioma, são encontradas espécies vegetais como marmelinhos, barbas-de-bode, catuabas, indaiás, guabiobas, pequis, pitangas, barbatimões, ipês, jacarandás-do-campo, capins-gorduras, além de arbustos e herbáceas, que apresentam curto ciclo de vida.

Quanto à fauna, é comum encontrar animais de médio e grande porte, como emas, carcarás, seriemas, araras, urubus-reis, tucanos, lobo-guarás, onças-pintadas, antas, tamanduás, tatus, veados-campeiros, veados-catingueiros e cupins.

O Cerrado abriga grande número de espécies endêmicas, isto é, exclusivas desse bioma, o que configura um *hotspot* mundial de biodiversidade, com diversas espécies ainda não catalogadas. É um bioma extremamente devastado, principalmente para o plantio de soja na região Centro-Oeste. Além disso, sofre constante interferência e expansão urbana, correndo o risco de se extinguir em breve e provocar não apenas a extinção de grande parte de biodiversidade única do planeta, mas prejuízo ao equilíbrio ecológico de muitas outras regiões.



Paisagem do Cerrado após queimada, com árvores sem folhas. Chapada das Mesas, Maranhão.

MATA ATLÂNTICA

Ocorre ao longo da costa brasileira, desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul. Ocupa um trecho de Minas Gerais e grande parte dos estados do Paraná, de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, com predominância na serra do Mar e serra da Mantiqueira. É conhecida, inclusive, como Floresta Tropical ou Ombrófila Densa, semelhante à Floresta Amazônica, por apresentar clima quente e úmido.

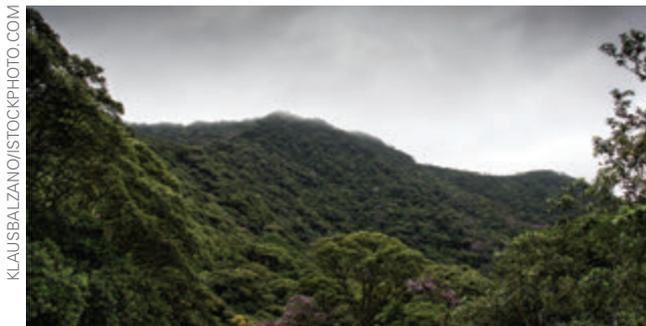
A flora é composta de árvores que atingem de 20 a 30 metros de altura, formando um dossel fechado. O solo dispõe de matéria orgânica proveniente da decomposição das folhas. Não tem grande renovação de matéria, como acontece na Amazônia, sendo, portanto, um solo pobre em nutrientes, mas com alta fertilidade por conta da camada de serrapilheira. As árvores mais conhecidas são: canelas, figueiras, quaresmeiras, cedros, manacás, palmeiras, embaúbas e pau-brasil, que é muito utilizada na produção de corantes vermelhos. Há, também, grande variedade de epífitas, como bromélias, orquídeas e samambaias. A fauna apresenta animais como morcegos, marsupiais, gambás, cuícas, diversas subespécies de macacos, micos-leões-dourados e vasta gama de insetos.

Esse bioma já ocupou aproximadamente 12% do território brasileiro, mas o crescimento urbano intenso, as atividades industriais e portuárias e a exploração de madeiras nativas para fins diversos são algumas das intervenções humanas que fizeram com que seu tamanho fosse drasticamente reduzido.

Os ambientes costeiros, como restingas e manguezais, são conhecidos como subdivisões da Mata Atlântica. Os **manguezais** são regiões úmidas, com solo encharcado e lameado, de transição entre ambientes terrestres e marinhos, formados por arbustos e espécies herbáceas com raízes aéreas, apresentando rizóforos e pneumatóforos, que passam por bancos de lama e sal, originando pântanos salinos. Já as **restingas** são formadas por solos arenosos em planícies na costa litorânea, podendo apresentar vegetação herbácea ou arbustiva, com fauna bastante diversa. Esses ambientes constituem grande importância ecológica por serem considerados berçários para os recursos pesqueiros. Consequentemente, são excelentes indicadores da dinâmica

PEDRO FERREIRA/DREAMSTIME.COM

ambiental da área litorânea, além de estarem protegidos sob legislação federal para conservação permanente. Entretanto, têm sofrido fragmentação de hábitat em virtude da ocupação desordenada na costa brasileira.



Parque Estadual da Serra do Mar, localizado entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

CAATINGA

Ocorre nos estados do Nordeste (Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão) e no norte de Minas Gerais. O clima é seco, com baixa precipitação e altas temperaturas, promovendo elevada evapotranspiração. Esse bioma também pode ser denominado regionalmente como **sertão** ou **agreste**. Os solos são férteis em algumas regiões, mas a falta de água limita o desenvolvimento da vegetação.

As plantas encontradas neste bioma são conhecidas como xerófitas e apresentam adaptações, como espinhos e caules suculentos, que reduzem a taxa de transpiração, além de sistemas de raízes bem desenvolvidas para absorção de água subterrânea. As cactáceas e suculentas são comuns neste bioma, além de espécies como mandacarus, marmeleiros, barrigudas e aroeiras.

A fauna é composta de espécies de preás, gambás, veados catigueiros, tatus-bolas, tamanduás-mirins, entre outros. A Caatinga sofre impactos causados pelos grandes latifúndios, promovendo o desmatamento para a formação de campos de pastagem.



O bioma Caatinga apresenta espécies de plantas em disposição esparsa em razão das condições de solo e de clima.

PANTANAL

Este bioma está distribuído nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e estende-se pela Bolívia, pelo Paraguai e pela Argentina. É considerada a maior planície alagada, com inundações do rio Paraguai nos

meses de cheia (entre novembro e fevereiro), o que força os animais a se deslocarem para as áreas secas nesse período. Na baixa das águas, os animais retornam aos leitos de rios, lagos, lagoas, e os nutrientes deixados pela cheia fertilizam o solo.

A vegetação é composta de árvores como ipês-rosas, aroeiras, angicos, jenipapeiros, ingazeiros, jatobás, perobas, embaúbas e aguapés. A fauna se destaca por espécies de tuiuiús, araras-vermelhas, araras-azuis, garças-reais, capivaras, onças-pardas e onças-pintadas, e um elevado número de espécies de peixes e jacarés. Por conta disso, é considerado um santuário ecológico, uma vez que apresenta um dos ecossistemas com maior biodiversidade do mundo.

O Pantanal sofre grande impacto com a pesca predatória e o garimpo, levando à poluição do solo, com a pecuária extensiva, que favorece a competição Fesp-PR entre a fauna nativa e as espécies invasoras, além da constante degradação, causando empobrecimento e compactação do solo.



Região de Barra Mansa, no estado do Mato Grosso do Sul.

PAMPA

Os pampas também são chamados de campos sulinos e ocorrem no Rio Grande do Sul, estendendo-se até o Uruguai e a Argentina. A vegetação herbácea é composta principalmente de gramíneas, o que favorece o pasto para a criação de gados e ovelhas e o cultivo de arroz, milho, trigo e soja. O impacto sofrido por esse bioma deve-se, principalmente, ao pisoteio excessivo de animais, especialmente no período de escassez das gramíneas, o que promove erosão e arenização. A monocultura também empobrece o solo de maneira contínua.



A região de divisa entre o Brasil e a Argentina apresenta vegetação de plantas rasteiras do Pampa.

LEITURA COMPLEMENTAR

Importância do Brasil na biodiversidade mundial é maior do que se pensava

Quase um quarto de todos os peixes de água doce do mundo - mais precisamente 23% - estão nos rios brasileiros. Assim como 16% das aves do planeta, 12% dos mamíferos e 15% de todas as espécies de animais e plantas. Esses números estão sendo compilados pela primeira vez por cientistas brasileiros após a publicação do estudo "O futuro dos ecossistemas tropicais hiperdiversos", divulgado no final de julho na revista *Nature*. "Já imaginávamos que o Brasil tinha essa quantidade de espécies, mas os números exatos estavam espalhados em bases de dados muito diferentes pelo mundo. É uma combinação de dados única", disse à BBC News Brasil a bióloga Joice Ferreira, da Embrapa Amazônia Oriental, que participou do estudo e lidera os esforços para compilar os dados brasileiros.

"A condição do Brasil é muito única, mas, nas discussões políticas, o papel que o país tem na biodiversidade mundial é pouco considerável. Precisamos de um conjunto de políticas muito mais fortes e atuantes para lidar com essa biodiversidade."

O estudo, realizado por um grupo de 17 cientistas, incluindo quatro brasileiros, é a maior revisão de dados sobre a biodiversidade nos trópicos, segundo o biólogo marinho, zoólogo e botânico britânico Jos Barlow, da Universidade de Lancaster, no Reino Unido, que liderou a pesquisa.

"Sempre soubemos que a região era importante. Mas encontramos números surpreendentes. Mostramos, por exemplo, que 91% de todos os pássaros do mundo passam ao menos parte de suas vidas nos trópicos. Isso é incrível", disse à BBC News Brasil.

"Eu também fiquei impressionado com o fato de o Brasil ser responsável por um quarto dos peixes de água doce. Geralmente, esses ecossistemas são ignorados."

Perda acelerada de espécies tropicais

No estudo, a equipe internacional de cientistas alerta para o fato de que a falta de ações de conservação e monitoramento dos ecossistemas tropicais pode causar, em breve, uma perda sem precedentes de espécies - muitas das quais sequer são conhecidas.

Os ecossistemas tropicais - florestas, savanas, lagos e rios e recifes de coral - cobrem 40% do planeta, mas abrigam mais de três quartos (78%) de todas as espécies.

Além disso, desses ecossistemas dependem as vidas de centenas de milhares de pessoas. Os recifes de coral, por exemplo, são responsáveis pela subsistência e pela proteção de mais de 200 milhões, apesar de só cobrirem 0,1% dos oceanos.

Em todos esses locais, dizem os pesquisadores, a flora e a fauna sofrem a "ameaça dupla" das atividades humanas, como o desmatamento e a pesca predatória em excesso, e de ondas cada vez mais frequentes de calor, causadas pela mudança climática.

"Quando falamos em mudança climática, falamos muito do seu impacto nas regiões polares, mas isso está devastando os trópicos. E o mundo parece ter dado um passo atrás no que se refere ao compromisso com ações relacionadas ao meio ambiente."

Para Joice Ferreira, da Embrapa, também é preciso considerar que a maior parte dos países tropicais são regiões mais pobres, com menor capacidade de pesquisa. "Nossa região alimenta todas as outras do mundo com recursos naturais, mas a maior parte das pesquisas sobre os trópicos é liderada por países desenvolvidos", afirma.

"Isso nos coloca numa situação de vulnerabilidade, porque temos uma capacidade menor de resposta às mudanças climáticas. Estamos colocando em risco um número muito grande de espécies."

Dificuldade para catalogar dados no Brasil

Segundo Barlow, um dos principais problemas das regiões tropicais é a falta de investimento na coleta e na catalogação de espécies. Ou seja, sequer sabemos tudo o que está em perigo com o aumento das temperaturas globais.

Atualmente, cerca de 20 mil novas espécies são descobertas no mundo a cada ano. Mas, nesse ritmo, os pesquisadores estimam que seriam necessários pelo menos 300 anos para catalogar toda a biodiversidade do planeta.

Ferreira diz que ainda falta no Brasil um programa "abrangente e integrado de avaliação da biodiversidade". A maior parte das pesquisas, ela afirma, são feitas em locais de fácil acesso - como a beira dos rios e as margens de estradas - e na região Sudeste, onde se concentra a maior parte dos pesquisadores.

"Tentamos aos trancos e barrancos cumprir as metas internacionais, mas é tudo muito grosseiro e genérico. Num país muito menor como o Reino Unido, se conhece a fauna e a flora de cada quilômetro do país", compara.

"Precisamos fazer programas de monitoramento amplo em todos os biomas brasileiros e programas de conservação nos outros biomas, além da Amazônia. Mas o que vemos é justamente o contrário disso, um corte massivo de financiamento para ciência e tecnologia, especialmente nos recursos humanos."

Em 2014, o governo brasileiro criou o Sistema de Informação Sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr), uma espécie de atlas das espécies do país, ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC). A iniciativa, no entanto, avança a passos lentos na tarefa de catalogar apenas o que já se sabe sobre a fauna e a flora nativas.

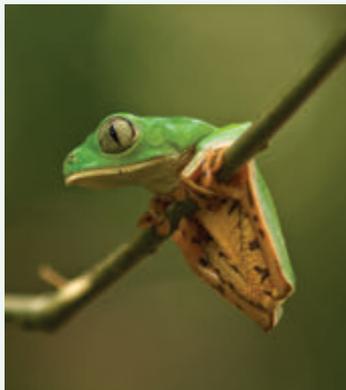
"Nunca chegamos numa amostragem de toda a biodiversidade espacial. O território brasileiro é grande demais, nunca tivemos investimento com regularidade suficiente e os programas de pesquisa nunca se preocuparam em traçar uma estratégia que abrangesse o território todo", disse à BBC News Brasil a bióloga

Andrea Nunes, coordenadora de biomas do MCTIC e diretora geral do SiBBR.

Nunes estima que, atualmente, o SiBBR tenha cerca de 15 milhões de espécies em sua base de dados. Mas só nas seis principais coleções do Brasil - ou seja, nas instituições como a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e o Museu de Zoologia de São Paulo - pode haver até 40 milhões de registros.

IMPORTÂNCIA do Brasil na biodiversidade mundial é maior do que se pensava, dizem cientistas. *Tribunal de Contas da União*. Disponível em: <<https://portal.tcu.gov.br/transparencia/sustentabilidade/>>. Acesso em: abr. 2019.

ALAMY STOCK PHOTO



Os anfíbios são muito sensíveis às alterações climáticas e, nos últimos anos, as taxas de desaparecimento de espécies desse grupo só aumenta. Na imagem, a perereca *Phyllomedusa*, encontrada nas Américas Central e do Sul.

RELAÇÕES ECOLÓGICAS HARMÔNICAS

O figo (*Ficus* sp.), popularmente conhecido como um fruto, é, na verdade, um pseudofruto, porque ele é formado em inflorescências invertidas, e não no ovário da flor. É constituído por múltiplas estruturas que se desenvolvem próximas umas das outras, estabelecendo um invólucro com centenas de pequenas flores que são polinizadas por insetos do gênero *Blastophaga*, que realizam a postura de seus ovos no interior dos figos, como a “vespa-do-figo” (*Blastophaga psenes*), de modo que são extremamente dependentes da planta.

A relação entre o figo e as vespas tem, aproximadamente, 34 milhões de anos, de acordo com análises de fósseis e dados moleculares. Como resultado dessa relação mutualística de milhões de anos, tanto o figo quanto a vespa adaptaram-se para a sobrevivência mútua. Ao longo de pelo menos 65 milhões de anos de evolução, as inflorescências da figueira *Ficus carica* se tornaram invólucros fechados ao mundo exterior, e apenas as vespas-do-figo conseguem penetrar.

O ciclo reprodutivo da figueira começa com a entrada da vespa-mãe no figo, que tem centenas de pequenas flores femininas e masculinas. A vespa, então, poliniza as flores femininas, tornando-as férteis. No entanto, ao atravessar o interior do figo, a vespa perde as asas e as antenas, o que impossibilita sua saída. Após botar os ovos, a vespa-mãe encerra sua participação no ciclo e morre. As flores polinizadas que não ganham um ovo se transformam em sementes. Já as flores que recebem ovos e se modificam na forma de galhas guardam em seu interior larvas de vespa.

O amadurecimento das flores e o ciclo de desenvolvimento das larvas acontecem ao mesmo tempo. As vespas machos são as primeiras a sair das flores e procuram as fêmeas, que serão fecundadas por eles. Uma vez que as fêmeas são fecundadas, os machos, que não desenvolvem asas, abrem um bu-

raco no figo, por onde caem no chão e morrem. Com a morte dos machos, as fêmeas fecundadas estão livres para emergir e polinizar outras figueiras, recomendo o ciclo.

Essa relação mutualística não está restrita à interação entre a figueira, que produz os figos comestíveis, e seus polinizadores específicos, as vespas-do-figo. Existem mais de 750 espécies do gênero *Ficus* e, para cada uma delas, há uma espécie de vespa polinizadora da família dos agaonídeos.

Pesquisadores apontam que, inicialmente, as vespas eram parasitas das figueiras. Por algum mecanismo evolutivo, a figueira incorporou a presença das vespas no ciclo reprodutivo, tornando uma relação ecológica desarmônica em uma relação harmônica.

RELAÇÕES INTRAESPECÍFICAS

Os seres vivos apresentam diversas relações ecológicas entre si, interagindo com as mais variadas formas de vida. Quando as interações acontecem entre indivíduos da mesma espécie, são chamadas de **relações intraespecíficas**. Dentro da complexidade dessas interações ecológicas, há **relações harmônicas**, nas quais existem benefícios para ambas as partes, ou resultado benéfico para uma e neutro para a outra. Essas interações estão divididas em **colônia** e **sociedade**.

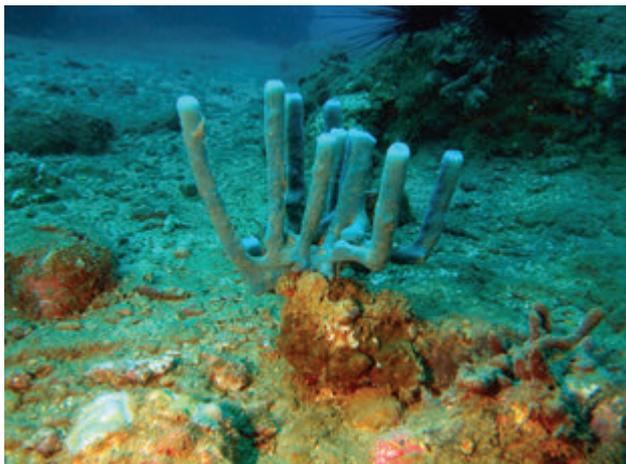
COLÔNIA

São associações relacionadas a estruturas morfológicas e fisiológicas de indivíduos que não são capazes de sobreviver fora da colônia. As colônias podem ser isomorfas ou heteromorfas.

Colônias isomorfas

As colônias isomorfas (do grego *iso*, igual; *morphos*, forma) são formadas por indivíduos morfologicamente semelhantes, como as bactérias, as cianobactérias, os fungos, os corais e as esponjas.

ALEXANDER OGURTSOV/DREAMTIME



Esponjas-do-mar são indivíduos muito semelhantes que formam uma colônia isomorfa.

Colônias heteromorfas

As colônias heteromorfas (do grego *hetero*, diferente; *morphos*, forma) são formadas por indivíduos que apresentam diferenças morfológicas e funcionais, com papéis distintos dentro da colônia. As caravelas-portuguesas, cnidários do gênero *Physalia*, são formadas por muitos indivíduos, entre eles, alguns têm bolsas com gás, responsáveis pela flutuação; outros, uma boca enorme, responsável pela alimentação da colônia; e outros, ainda, contam com tentáculos de células urticantes, atuando como predadores. Juntos, eles se assemelham a um único organismo, com funções específicas de um corpo. Daí a necessidade de ficarem juntos, contribuindo para o conjunto e suprindo suas necessidades individuais pela função de outros indivíduos da colônia.



BIOSPHOTO / ALAMY STOCK PHOTO

Colônia de caravelas-portuguesas (*Physalia* sp.), dividida em três partes distintas.

SOCIEDADE

Trata-se de cooperação entre indivíduos da mesma espécie, na qual há divisão de trabalho de maneira independente, com alto grau de comunicação e certa mobilidade entre eles.

Os seres humanos são exemplo de espécie que forma sociedades. Os insetos, por sua vez, chamam a atenção por serem distribuídos de maneira muito organizada, de modo que cada indivíduo desempenha uma função definida. Diferentemente da colônia, cada indivíduo em uma sociedade é capaz de sobreviver sozinho, pois possui todos os recursos necessários ao próprio desenvolvimento. No entanto, cada indivíduo faz parte de uma cadeia de relações que forma uma organização social.

As abelhas da espécie *Apis mellifera* (abelha-europeia) apresentam divisão de trabalho de acordo com seu papel dentro da sociedade, de maneira que cada indivíduo é morfologicamente específico. As abelhas-operárias são fêmeas estéreis que realizam todas as tarefas da colmeia; a abelha-rainha é a única fêmea fértil, responsável por reproduzir e aumentar o número de indivíduos; os zangões são machos férteis que têm como função fecundar a abelha-rainha.

RELAÇÕES INTERESPECÍFICAS

Correspondem a interações ecológicas entre espécies diferentes. São as mais diferenciadas e abundantes, o que gera uma quantidade muito grande de estudos em Ecologia.

MUTUALISMO

Nesta relação, ambas as espécies obtêm alguma vantagem, seja por fornecimento de abrigo, alimento ou outro recurso importante para a manutenção da vida. Existem diversas interações mutualísticas, algumas obrigatórias e altamente especializadas, e outras facultativas, que ocorrem por oportunismo. O limite das diversas formas de relações mutualísticas nem sempre é bem delimitado.

Mutualismo obrigatório ou simbiose

Nesse caso, a dependência entre os organismos é obrigatória, uma vez que eles não são capazes de sobreviver na ausência da outra espécie. Os benefícios são tão intrínsecos ao funcionamento e/ou ao ciclo de vida de cada organismo, que, caso um não funcione direito, o outro é diretamente prejudicado. Os mamíferos ruminantes – bois, carneiros, veados e girafas – abrigam bactérias no sistema digestório responsáveis por produzirem celulase, enzima que digere celulose. Dessa forma, bactérias digerem essa molécula e podem, ainda, utilizar parte dos subprodutos dessa digestão na própria nutrição, além de dispor de um ambiente seguro para a sobrevivência.

Os **liquens** são associações nas quais as algas ou as cianobactérias realizam fotossíntese, e os fungos fornecem proteção e absorvem a água e os nutrientes, distribuindo-os para elas. Portanto, uma espécie é dependente da outra para sobreviver.

Mutualismo facultativo ou protocooperação

Esse tipo de mutualismo se diferencia da simbiose porque nele as espécies em associação sobrevivem independentemente uma da outra. A protocooperação é benéfica para ambas as partes no que se refere à alimentação, a abrigo ou a outro recurso e, por isso, é denominada mutualismo facultativo.

Alguns mamíferos, como bois, búfalos e capivaras, apresentam carrapatos parasitas na região dorsal, que servem de alimento para aves do gênero *Crotophaga*, popularmente conhecidas como anuns. Dessa maneira, o pássaro se alimenta dos parasitas e os mamíferos se livram deles.

Outro caso de protocooperação é o dos crustáceos dos gêneros *Pagurus* e *Clibanarius*, conhecidos como caranguejos-eremita, e o de algumas espécies de anêmonas-do-mar. O caranguejo-eremita, diferentemente de outras espécies, tem corpo mole e é incapaz de se proteger. Por isso, ele se aproveita de conchas vazias abandonadas por gastrópodes para se alojar e se proteger. Algumas espécies de anêmonas-do-mar que costumam se fixar sobre as conchas abandonadas dos gastrópodes se beneficiam da mobilidade fornecida pelo caranguejo, ao mesmo tempo que o caranguejo se beneficia do mecanismo de defesa da anêmona por meio das células urticantes.

ANDREY NEKRASOV / ALAMY STOCK PHOTO



Caranguejo-eremita (*Clibanarius erythropus*) dentro de uma concha de gastrópode, sobre a qual se encontra uma anêmona-do-mar (*Actinia equina*).

INQUILINISMO

Trata-se da associação entre espécies, em que uma delas recebe abrigo, proteção ou suporte no corpo de outro indivíduo, sem prejudicá-lo. As esponjas-do-mar desempenham papel de abrigo para diversas outras espécies marinhas, como os crustáceos, os poliquetos e os equinodermatas. O peixe-agulha, por exemplo, abriga-se no interior do intestino do pepino-do-mar, em busca de proteção contra seus predadores.

Uma variação de inquilinismo que ocorre nas plantas é o epifitismo, em que bromélias, samambaias e orquídeas se "enrolam" ou "trepam" em torno ou em cima de outras plantas. A espécie epífita se apoia geralmente sobre uma árvore de grande porte para obter maior incidência de luz, recurso escasso no interior das florestas.

STUDIO BARCELONA SHUTTERSTOCK



Orquídeas são plantas epifitas que crescem sobre árvores sem causar prejuízos.

COMENSALISMO

Comensalismo é a interação em que há benefício para uma das espécies, sem qualquer prejuízo para a outra, no aproveitamento dos restos da alimentação dessa outra espécie, por exemplo. O peixe-piolho (*Echeneis naucrates*), ou rêmora, tem ventosas que se fixam temporariamente no tubarão, aproveitando a mobilidade e as sobras da refeição dele.

ROTEIRO DE AULA

BIOMAS TERRESTRES

PRINCIPAIS BIOMAS MUNDIAIS

Tundra

Principal característica:

permafrost

O clima é

frio e seco

com vegetação

rasteira

Taiga

O clima é

frio

principal tipo de vegetação:

pinheiros

Floresta temperada

Vegetação com árvores de porte

grande

e folhagem

caducifolia

Floresta pluvial tropical

O clima é

quente e úmido

e vegetação apresenta dosséis

densos

Chaparral

O clima é

ameno

e vegetação com plantas

lenhosas ou arbustivas

Campo

O clima é

variável

e vegetação

rasteira

Tipos de campos

estepepradaria

Deserto

O clima é

quente e seco

e vegetação

esparsa

ROTEIRO DE AULA

BIOMAS BRASILEIROS

Amazônia

Região

norte

Cerrado

Vegetação resistente a

queimadas

Mata atlântica

Ocorre principalmente na

costa brasileira

Caatinga

Vegetação

xerófitas

Pantanal

Considerada maior planície

alagada

Pampa

É um exemplo de campo, por apresentar vegetação do tipo

herbácea ou gramínea

ROTEIRO DE AULA

RELAÇÕES HARMÔNICAS

INTRAESPECÍFICAS

Associações entre indivíduos de espécies

iguais

Colônias

Indivíduos morfologicamente semelhantes

isomorfas

Indivíduos morfologicamente diferentes

heteromorfas

Sociedade

Cooperação e divisão de trabalho ocorrendo de maneira independente

INTERESPECÍFICAS

Associações entre indivíduos de espécies

diferentes

Mutualismo

Ambos os organismos obtêm alguma vantagem

Relação de dependência entre os organismos:

obrigatório ou simbiótico

Relação de independência entre os organismos:

facultativo ou protocooperação

Inquilinismo

Associação entre espécies em que uma delas recebe

abrigo ou proteção

Exemplos de epífitas:

samambaias, orquídeas e bromélias

Comensalismo

Uma espécie é beneficiada sem prejudicar ou trazer vantagem a outra

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UERN – Analise as afirmativas que descrevem algumas características de um ecossistema terrestre:

- I. Ocorre no hemisfério norte, próximo à calota polar;
- II. Os bois almiscarados estão entre os animais que representam a fauna dessa região;
- III. As plantas típicas dessa região são musgos e líquens, como também gramíneas e pequenos arbustos.

As afirmativas anteriores se referem ao seguinte bioma:

- a) Taiga
- b) Tundra**
- c) Floresta tropical
- d) Floresta temperada

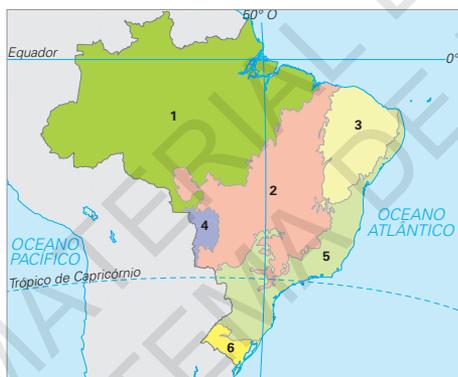
A Taiga é composta de coníferas e apresenta clima frio. A Floresta Temperada apresenta clima frio e folhas caducifólias. A Floresta Tropical apresenta clima quente e úmido, com dosséis densos e solo escuro.

2. UECE (adaptado) – As plantas da Caatinga apresentam algumas características particulares, como folhas transformadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis, caules suculentos e raízes profundas. Essa descrição se refere ao que definimos como

- a) xeromorfismo.**
- b) caducifólia.
- c) *permafrost*.
- d) decídua.

A alternativa B está incorreta porque plantas caducifólias perdem suas folhas em períodos mais frios, sendo a classificação sinônima de folhas decíduas, descrita na alternativa D. A alternativa C está incorreta porque *permafrosts* são solos congelados.

3. UDESC (adaptado) – Segundo o IBGE, são seis os biomas continentais brasileiros, conforme mostra a figura a seguir.



Cite os respectivos biomas enumerados no mapa.

O bioma 1 é a Amazônia, o bioma 2 é o Cerrado, o bioma 3 é a Caatinga, o bioma 4 é o Pantanal, o bioma 5 é a Mata Atlântica e o bioma 6 é o Pampa.

4. UDESC – Em uma comunidade biológica, os organismos interagem entre si nas chamadas relações ecológicas. Com respeito a essas interações, associe as colunas A e B.

Coluna A	Coluna B
1. colônias	() abelhas e vespas
2. inquilinismo	() líquens
3. sociedades	() bromélias, orquídeas
4. mutualismo	() corais
5. protocooperação	() anêmonas-do-mar e caranguejos-eremita

Assinale a alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo:

- a) 1 – 3 – 4 – 5 – 2
- b) 4 – 3 – 2 – 5 – 1
- c) 2 – 3 – 1 – 4 – 5
- d) 3 – 4 – 2 – 1 – 5**
- e) 3 – 2 – 4 – 5 – 1

Abelhas e vespas são um exemplo de sociedades. Líquens são exemplos de mutualismo. Bromélias e orquídeas são plantas epífitas, capazes de viver sobre plantas de porte maior em busca de luz. Os corais são uma colônia. Anêmonas-do-mar e caranguejos-eremita se relacionam por protocooperação.

5. Unic-MT

C4-H14

O ser humano está fortemente cercado, por dentro e por fora, de bactérias. Embora algumas delas constituam agentes de doenças, outras, como a *Escherichia coli*, vivem no intestino grosso e aí produzem vitaminas B₁₂ e K, que são aproveitadas pelo organismo após atravessarem a parede do cólon.

A relação que se estabelece entre o homem e as bactérias intestinais referidas pode ser identificada como

- a) predatismo, por causar a morte de um dos indivíduos.
- b) comensalismo, por ocorrer entre indivíduos pertencentes a duas espécies.
- c) mutualismo, por ser essencial para ambos os organismos relacionados.**
- d) parasitismo, por trazer malefícios a uma das espécies envolvidas.
- e) comensalismo, por envolver a utilização, por parte de um indivíduo, de substâncias produzidas por organismo de outra espécie.

Bactérias e humanos se relacionam por mutualismo, pois uma espécie não vive sem a outra. As bactérias ajudam a digerir determinadas substâncias importantes para o nosso corpo e, em troca, são fornecidos abrigo e alimentação.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

6. UNESP (adaptado) – Um estudante de Biologia observou que, em um ninho de saúvas, diferentes atividades são realizadas por diferentes grupos dessas formigas. Com base nessas informações:

- a) Cite o tipo de interação estabelecida entre as formigas de um mesmo formigueiro.

Trata-se de uma sociedade.

- b) O estudante afirmou que, se cada formiga resolvesse trabalhar só para si, as pessoas teriam menos problemas com as saúvas. Essa afirmativa está correta? Justifique.

Ela está correta, porque o sucesso dessas saúvas vem da atividade em conjunto, ou seja, do trabalho de maneira cooperativa entre as diferentes castas de formigas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 7. UEPA** – O termo bioma é mais abrangente do que formação vegetal, pois inclui, além da fitofisionomia, a fauna, características do clima, do solo e outros aspectos abióticos. Portanto, o bioma pode ser considerado como uma área do espaço geográfico caracterizada por um conjunto de ecossistemas com vegetação, solo e fisionomia típicos, no qual predomina certo clima.

Sobre o termo em destaque, no texto, analise as afirmativas abaixo:

- I. Área de procriação para muitas espécies marinhas por elevada quantidade de nutrientes orgânicos. Vegetação predominante de plantas arbóreas formada por halófitas.
- II. Pouca água, vegetação escassa, com predominância de plantas xerófitas, que possuem diversas adaptações. Região com alto grau de insolação e grande perda de água pela transpiração.
- III. Ocorre em zonas temperadas e tropicais, sendo classificado em pradaria, estepe e savana, de vegetação rasteira formada por gramíneas. De clima variável, de acordo com as latitudes. Baixa quantidade de chuvas.
- IV. Clima de temperatura quente com média anual de 26°C. O inverno é muito seco e as chuvas são abundantes no verão. A vegetação é ananizada porque o solo é pobre em nutrientes. Vegetação de arbustos tortuosos e pequenas árvores esparsas de raízes longas.
- V. O mais exuberante bioma vegetal do planeta, localizado em áreas de baixas altitudes, clima úmido e quente, com temperaturas entre 21°C e 32°C, a pluviosidade é elevada, megadiversidade e taxa de evapotranspiração elevada pelas folhas largas (latifoliadas) do vegetal.

A alternativa que indica as características correspondentes aos biomas mencionados no texto é:

- a) I – deserto; II – campos; III – manguezal; IV – cerrado; V – floresta tropical
- b) I – campos; II – deserto; III – manguezal; IV – cerrado; V – floresta tropical
- c) I – manguezal; II – deserto; III – floresta tropical; IV – cerrado; V – campos
- d) I – manguezal; II – cerrado; III – campos; IV – deserto; V – floresta tropical
- e) I – manguezal; II – deserto; III – campos; IV – cerrado; V – floresta tropical

- 8. UPE** – Leia o texto a seguir:

No Egito e na Antiguidade clássica, vivia um belo e esplendoroso pássaro, de origem mítica, com uma plumagem escarlate e dourada e com um canto melo-

dioso que encantava qualquer um. A Fênix, como era chamada, era dotada de uma capacidade extraordinária: tinha uma longevidade sem precedentes. À medida que sentia a morte se aproximar, ela mesma construía um ninho de ervas aromáticas e, com o próprio calor do corpo - cujas penas pareciam labaredas - ateava fogo a si própria e transformava-se em cinzas. Dessas cinzas, ressurgia outra ave Fênix e, assim, da mesma morte pelo fogo, surgia uma nova e promissora vida.

Essa lenda egípcia remete-nos a uma característica bastante peculiar de um bioma brasileiro.

Assinale a alternativa que indica o bioma o qual tem o fogo, produzido naturalmente, como mecanismo de manutenção da sua biodiversidade.

- a) Amazônia.
- b) Caatinga.
- c) Campo sulino.
- d) Cerrado.
- e) Mata Atlântica.

- 9. UFRR (adaptado)** – A Mata Atlântica originalmente cobria uma área de 1 milhão de km², estendendo-se ao longo do litoral brasileiro, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Este é o ecossistema brasileiro que mais sofreu os impactos ambientais dos ciclos econômicos da história do Brasil, reduzindo-se a cerca de 7% de sua área original. Analise as afirmações a seguir.

- I. O desmatamento da Mata Atlântica teve início com a chegada dos colonizadores ao Brasil, e os portugueses extraíram o pau-brasil, árvore de coloração avermelhada da qual era retirado um corante muito apreciado na Europa.
- II. Apesar da perda de vasta área, a Mata Atlântica não sofre com problemas de extinção, uma vez que as espécies endêmicas da região se encontram protegidas por Unidades de Conservação.
- III. A expansão da agricultura, principalmente ligada à produção de cana-de-açúcar no Nordeste e de café no Sudeste, foi um dos fatores que levaram à supressão de vastas áreas da Mata Atlântica.

Após a leitura, marque a opção com a(s) assertiva(s) corretas.

- a) III.
- b) I.
- c) I e II.
- d) I e III.
- e) Todas as afirmativas são incorretas.

10. Acafe-SC – Sobre os biomas brasileiros, marque com V as afirmações verdadeiras e com F as falsas.

- () O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, se caracteriza por uma vegetação arbórea esparsa, com pequenas árvores e arbustos, muito deles com casca grossa e troncos retorcidos. Durante seis meses toma-se verdejante devido as frequentes chuvas. Nos meses restantes, toma-se pronunciadamente seco e susceptível a queimadas, às vezes espontâneas.
- () A Caatinga ocupa cerca de 10% do território brasileiro, e é formada por plantas adaptadas ao clima seco, denominadas xeromórficas. Essas adaptações incluem folhas transformadas em espinhos, cutículas altamente impermeáveis e caules que armazenam água.
- () Os Manguezais são compostos por ecossistemas litorâneos, com solo lodoso e salgado. Devido ao excesso de água, as plantas adaptadas a esses ambientes podem apresentar raízes especializadas com pneumatóforos, estruturas que crescem no interior do solo, facilitando a absorção do oxigênio.
- () O Pantanal é a maior área continental periodicamente alagável do planeta. Com uma rica biodiversidade, é um bioma exclusivamente brasileiro, localizado nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A sequência correta, de cima para baixo, é

- a) V – F – F – F.
- b) V – V – V – V.
- c) F – V – F – V.
- d) V – V – F – F.

11. UNESP – As figuras apresentam vegetação de cinco biomas brasileiros.

BIOMA 1



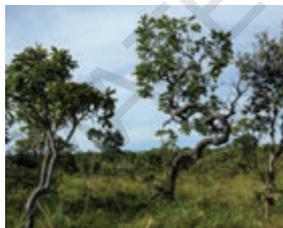
ILAN EIZYKOWICZ/SHUTTERSTOCK

BIOMA 3



FOTOS99/SHUTTERSTOCK

BIOMA 2



KLEYTON KAMOGAWA/SHUTTERSTOCK

BIOMA 4



KLEBER CORDEIRO/SHUTTERSTOCK

BIOMA 5



CARABINERDREAMSTIME.COM

Plantas xeromórficas e com folhas modificadas que diminuem a evapotranspiração; plantas com rizóforos e pneumatóforos (eficientes na sustentação da planta e na captação do oxigênio); e plantas epífitas (que vivem sobre outras plantas, aumentando a eficiência na captação de luz) são típicas dos biomas identificados, respectivamente, pelos números:

- a) 1, 2 e 4.
- b) 4, 5 e 2.
- c) 3, 1 e 5.
- d) 2, 5 e 3.
- e) 4, 1 e 3.

12. UERN (adaptada) – A imagem apresenta Euclides da Cunha, um grande escritor que expressa, em suas obras, características brasileiras bem marcantes, como, por exemplo, em seu livro *Os Sertões*.



BIBLIOTECA DIGITAL LUSO-BRASILEIRA

São afirmativas acerca da Caatinga, um importante bioma brasileiro, retratado na obra de Euclides da Cunha, **exceto**:

- a) Um dos problemas enfrentados é o desmatamento para o uso intensivo do solo, levando-o a um rápido processo de desertificação.
- b) Com a chegada da estação seca, as plantas perdem suas folhas e a mata adquire um aspecto cinza-esbranquiçado, que originou seu nome.
- c) A vegetação é composta por árvores baixas e arbustos retorcidos e cheios de espinhos, localizados em terrenos mais elevados e representando a parte arbórea do bioma.
- d) Clima característico é o tropical semiárido, que apresenta elevada temperatura ao longo de todo o ano e pluviosidade escassa e irregular, com baixa umidade relativa do ar.

13. Famerp-SP – A figura mostra líquens sobre o tronco de uma árvore.

PIOTR WYTRAZEK/SHUTTERSTOCK



A relação ecológica existente entre o líquen e a árvore e a relação entre os micro-organismos componentes dos líquens são classificadas, respectivamente, como

- a) epifitismo e mutualismo.
- b) sociedade e mutualismo.
- c) parasitismo e comensalismo.
- d) comensalismo e cooperação.
- e) mutualismo e epifitismo.

14. UERJ (adaptado) – Em seu processo de fixação biológica, o gás atmosférico nitrogênio é convertido em compostos inorgânicos nitrogenados. Um exemplo desse mecanismo de conversão ocorre na relação simbiótica entre bactérias do gênero *Rhizobium* e raízes de leguminosas. Indique duas vantagens dessa relação simbiótica, uma para a planta e outra para a bactéria.

15. UFPR (adaptado) – Para atrair potenciais polinizadores, as plantas comumente armazenam néctar nas suas flores em estruturas específicas chamadas de nectários. Contudo, várias espécies de plantas também podem apresentar nectários longe das flores, os chamados “nectários extraflorais”. Essas estruturas podem ser encontradas em vários locais, como folhas e brotos. Durante a sua procura por alimento, formigas se deparam com esses nectários e passam a se alimentar do néctar produzido, a eles retornando repetidamente. Durante essa atividade, as formigas acabam patrulhando essas plantas e defendendo-as contra potenciais herbívoros, como lagartas e percevejos.

Esse tipo de interação entre formigas e plantas com nectários extraflorais pode ser categorizado como

- a) epifitismo.
- b) mutualismo.
- c) colonialismo.
- d) comensalismo.
- e) inquilinismo.

16. Unifesp – A raflésia é uma planta asiática que não possui clorofila e apresenta a maior flor conhecida, chegando a 1,5 metro de diâmetro. O caule e a raiz, no entanto, são muito pequenos e ficam ocultos no interior de outra planta em que a raflésia se instala, absorvendo a água e os nutrientes de que necessita. Quando suas flores se abrem, exalam um forte odor de carne em decomposição, que atrai muitas moscas em busca de alimento. As moscas, ao detectarem o engano, saem da flor, mas logo pousam em outra, transportando e depositando no estigma dela os grãos de pólen trazidos da primeira flor.

O texto descreve duas interações biológicas e um processo, que podem ser identificados, respectivamente, como

- a) inquilinismo, mutualismo e polinização.
- b) inquilinismo, comensalismo e fecundação.
- c) parasitismo, mutualismo e polinização.
- d) parasitismo, comensalismo e fecundação.
- e) parasitismo, comensalismo e polinização.

17. UNCISAL – Um estudo realizado sobre a relação mutualística entre a planta *Hirtella myrmecophila* e a formiga *Allomerus octoarticulatus* mostrou que a associação não é 100% benéfica para ambas o tempo todo. Apesar de a formiga proteger as plantas contra ataques de outros insetos herbívoros, em ramos colonizados por ela, que se alimenta de domácias das folhas, normalmente não há desenvolvimento de flores e frutos, porque a formiga corta os ramos florais assim que eles começam a crescer. Observa-se que, em alguns ramos, não há formação de domácias e, sem a presença da formiga, a planta consegue se reproduzir.

Apesar de a relação mencionada no excerto apresentado não ser benéfica o tempo todo e em toda a planta, ainda pode ser considerada mutualismo, porque

- a) quanto mais formigas colonizarem as plantas, maior será a produção de domácias e seu sucesso reprodutivo.
- b) a planta, além de fornecer alimento, é beneficiada pela proteção contra outros herbívoros, proporcionada pela formiga.
- c) a planta, sem as formigas para polinizá-la, não consegue produzir seus frutos e sementes e deixar descendentes.
- d) o mutualismo é uma associação não obrigatória entre dois seres vivos, na qual apenas um dos envolvidos é beneficiado, pelo menos em uma fase da vida.
- e) há favorecimento de pelo menos um dos organismos envolvidos na relação, mesmo com prejuízo do outro.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H28

Uma região de Cerrado possui lençol freático profundo, estação seca bem marcada, grande insolação e recorrência de incêndios naturais. Cinco espécies de árvores nativas, com as características apresentadas no quadro, foram avaliadas quanto ao seu potencial para uso em projetos de reflorestamento na região.

Característica	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5
Superfície foliar	Coberta por tricomas	Coberta por cera	Coberta por cera	Coberta por espinhos	Coberta por espinhos
Profundidade das raízes	baixa	alta	Baixa	baixa	alta

Qual é a árvore adequada para o reflorestamento da região?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

19. Enem

C8-H28

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, ocupando cerca de 7% a 10% do território nacional. Nesse ambiente seco, mesmo quando chove, não há acúmulo de água, pois o solo é raso e pedregoso. Assim, as plantas desse bioma possuem modificações em suas raízes, caules e folhas, que permitem melhor adaptação a esse ambiente, contra a perda de água e de nutrientes. Geralmente, seus caules são suculentos e suas folhas possuem forma de espinhos e cutículas altamente impermeáveis, que apresentam queda na estação seca.

Disponível em: www.ambientebrasil.com.br. Acesso em: 21 maio 2010 (adaptado).

Considerando as adaptações nos órgãos vegetativos, a principal característica das raízes dessas plantas, que atribui sua maior adaptação à Caatinga, é o(a)

- a) armazenamento de nutrientes por um sistema radicular aéreo.
- b) fixação do vegetal ao solo por um sistema radicular do tipo tuberoso.
- c) fixação do vegetal ao substrato por um sistema radicular do tipo sugador.
- d) absorção de água por um sistema radicular desenvolvido e profundo.
- e) armazenamento de água do solo por um sistema radicular do tipo respiratório.

20. Enem (adaptado)

C4-H14

As algas são seres que conseguem absorver rapidamente compostos inorgânicos presentes na água, acumulando-os durante seu crescimento. Essa habilidade permitiu usá-las como biofiltros, com o intuito de limpar ambientes aquáticos contaminados, removendo nitrogênio e fósforo, além de metais pesados. Na técnica do cultivo integrado, outros organismos crescem associados às algas, o que gera maior equilíbrio ecológico.

A técnica do cultivo integrado é uma proposta interessante para tornar o ecossistema equilibrado porque

- a) os animais eliminam metais pesados, que são usados pelas algas para a síntese de biomassa.
- b) os animais fornecem excretas orgânicos nitrogenados, que são transformados em gás carbônico pelas algas.
- c) as algas usam os resíduos nitrogenados liberados pelos animais e eliminam gás carbônico na fotossíntese, usado na respiração aeróbica.
- d) as algas usam os resíduos nitrogenados provenientes do metabolismo dos animais e, durante a síntese de compostos orgânicos, liberam oxigênio para o ambiente.
- e) as algas aproveitam os resíduos do metabolismo dos animais e, durante a quimiossíntese de compostos orgânicos, liberam oxigênio para o ambiente.

RELAÇÕES ECOLÓGICAS DESARMÔNICAS E ECOLOGIA DE POPULAÇÕES

27

RELAÇÕES INTRAESPECÍFICAS

As relações desarmônicas são aquelas em que as espécies não se encontram em equilíbrio em termos de benefícios e prejuízos, de modo que ao menos uma delas é prejudicada. Apesar de o conceito remeter a algo negativo, trata-se de uma relação espontânea que ocorre na natureza e representa uma ferramenta importante para a manutenção do equilíbrio das espécies.

Existem dois tipos de relação intraespecífica desarmônica: o **canibalismo** e a **competição**. Neles o que está em jogo é a sobrevivência do indivíduo melhor adaptado, de forma que há vantagens de um sobre o outro que possibilitam àquele a perpetuação de seus genes para os descendentes.

CANIBALISMO

Trata-se da interação entre indivíduos da mesma espécie, em que uns se alimentam dos outros, geralmente pela falta de recursos alimentares ou por competição intensa no ambiente. Essa relação também é denominada **predação intraespecífica**.

Essa prática é bastante comum entre espécies de louva-a-deus, algumas aranhas e escorpões, que geralmente se alimentam de seus parceiros sexuais após a cópula com o objetivo de obter nutrientes fundamentais para a reprodução. Entre os artrópodes, é comum os indivíduos maiores serem predadores dos menores.

Em mamíferos, esse tipo de interação acontece com algumas espécies de roedores, que se alimentam de seus filhotes recém-nascidos. Isso geralmente ocorre porque os indivíduos parentais não reconhecem o cheiro de um dos filhotes no meio da ninhada e o identificam como intruso, ou ainda porque constatam que um deles é doente ou deficiente e terá poucas chances de sobrevivência.

COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA

Essa é a relação entre organismos da mesma espécie em que há disputa por recursos escassos no ambiente, como alimento, água, parceiro sexual, espaço e luminosidade.

Essa competição é fundamental para a evolução, pois somente organismos melhor adaptados ao ambiente sobrevivem à disputa, aumentando a chance de deixar descendentes igualmente bem adaptados. Além disso, esse tipo de interação pode influenciar no controle da densidade populacional. Quando há rápido crescimento de uma população, por exemplo, e a disponibilidade dos recursos não acompanha esse crescimento, os indivíduos disputam esses recursos. Essa competição causa a morte de muitos deles, alguns em disputa, outros por não conseguirem acesso a tais recursos, o que reduz a população ao seu tamanho natural, retornando ao quadro de equilíbrio daquela comunidade.

As plantas podem competir entre si por luz, nutrientes e água, por exemplo. Já os animais competem por parceiros reprodutivos e por território, demarcando o local com urina ou feromônios. Outro exemplo é o canto das aves, em que os machos que cantam melhor têm mais êxito na parceira sexual.

RELAÇÕES INTERESPECÍFICAS

Existem cinco tipos de relação interespecífica desarmônica: amensalismo ou antibiose, predatismo, esclavagismo, parasitismo e competição interespecífica.

- Relações intraespecíficas
- Relações interespecíficas
- Principais características de uma população
- Crescimento populacional

HABILIDADES

- Explicar as principais relações desarmônicas intraespecíficas e interespecíficas.
- Compreender a importância ecológica das relações desarmônicas entre os seres vivos.
- Justificar a importância das relações desarmônicas na preservação e na ocorrência das espécies no ambiente.
- Citar e explicar os principais fatores que influenciam na dinâmica populacional.
- Interpretar gráficos de dinâmica e crescimento populacional.

AMENSALISMO OU ANTIBIOSE

Relação em que uma espécie produz alguma substância que inibe o crescimento ou a reprodução de outras espécies. A primeira é chamada inibidora, enquanto as prejudicadas são denominadas amensais. Os fungos do gênero *Penicillium* sp. são capazes de produzir antibióticos que impedem o desenvolvimento de determinadas bactérias.

PREDATISMO

Trata-se da relação em que um indivíduo de determinada espécie se alimenta de indivíduos de outra espécie. A espécie beneficiada é denominada predadora, e a prejudicada, presa. Os predadores são excelentes agentes da seleção natural, por capturarem as presas mais fáceis, isto é, indivíduos menos adaptados ao ambiente, atuando no controle populacional, promovendo oscilação nas densidades – tanto da população de presas quanto da própria população. Todos os carnívoros são predadores, por se alimentarem de outros animais, como os cachorros-dormado, que caçam veados, lebres, entre outros.

A **herbivoria** é uma variação da predação na qual um consumidor primário se alimenta de determinada planta ou de parte dela.

Estratégias para escapar do predatismo

Existem diversas estratégias que algumas espécies desenvolveram ao longo da evolução para enganar seus predadores, entre elas, o mimetismo, a camuflagem e o aposematismo.

No **mimetismo**, algumas espécies apresentam características semelhantes às de outras e utilizam-na como recurso para indicar que não são uma boa espécie a ser predada. O **mimetismo mulleriano** ocorre entre espécies palatáveis e impalatáveis, que apresentam colorações de advertência semelhantes. Dessa maneira, todas que demonstrem essas características, mesmo que sejam palatáveis, serão evitadas pelos predadores, pois estes, ao não se alimentarem de um ser impalatável, evitarão organismos com padrões parecidos. A borboleta-monarca (*Danaus plexippus*) tem colorações marcantes e se alimenta de plantas que apresentam toxinas. Essas toxinas se acumulam no tecido dela, tornando-a impalatável. Já a espécie de borboletas vice-rei (*Limentis archippus*), por ser muito semelhante à borboleta-monarca, é evitada pelos predadores, mesmo não tendo as toxinas.

O **mimetismo batesiano** é mais uma variação encontrada na natureza. Ocorre quando uma espécie inofensiva se assemelha morfológicamente a um animal sabidamente perigoso ao predador. A formiga Kerengga (*Oecophylla* sp.), que é bastante agressiva, é mimetizada pela aranha-saltadora (*Myrmarachne* sp.), apresentando mesmo tamanho, formato e até comportamento, como levantar as pernas dianteiras para imitar as antenas da formiga.

TROUP DRESSER/GETTY IMAGES



KHLUNGCENTER/SHUTTERSTOCK

Formiga Kerengga (esquerda) e aranha-saltadora com as pernas erguidas (direita).

A **camuflagem** é uma estratégia contra a predação em que os organismos têm sua coloração ou a forma do corpo alteradas a fim de se camuflar no ambiente, tornando-se menos visíveis para o predador. As aves de coloração verde, por exemplo, dificilmente são identificadas na mata. Do mesmo modo, as arraiais apresentam coloração e textura semelhantes às do fundo do mar arenoso.



HENRIK_L/ISTOCKPHOTO.COM

Mariposa (*Biston betularia*) com cor e textura similar às da casca da árvore em que está pousada.

O **aposematismo** é uma estratégia evolutiva em que algumas espécies apresentam colorações fortes, como vermelho, amarelo, laranja, verde e azul, advertindo os possíveis predadores de que têm veneno ou gosto ruim.



KIKKERDIRK/ISTOCKPHOTO.COM

Espécies de sapos da família Dendrobatidae apresentam o padrão aposemático, sendo os de cor mais forte considerados altamente venenosos.

BRAN/ISTOCKPHOTO.COM



SARI ONEAL/SHUTTERSTOCK

À esquerda, borboleta-monarca (*Danaus plexippus*) e, à direita, borboleta vice-rei (*Limentis archippus*).

ESCLAVAGISMO

Essa é uma relação em que indivíduos de uma espécie obtêm vantagem com o trabalho de outras espécies. O chupim (*Molothrus bonariensis*), por exemplo, deposita seus ovos para serem chocados no ninho de outras aves, como o tico-tico (*Zonotrichia capensis*), que chega até mesmo a alimentar os filhotes de chupim como se fossem seus. Algumas formigas fazem pilhagens de outras sociedades, roubando ninfas (larvas) que se tornam suas escravas quando adultas.

PARASITISMO

Nesta relação, o indivíduo **parasita** se abriga no corpo de outra espécie **hospedeira**, que lhe serve como moradia. Os parasitas podem viver dentro do corpo do hospedeiro (**endoparasitas**), como bactérias, protozoários e vermes, ou se alojarem na região externa do corpo dele (**ectoparasitas**), como piolhos, pulgas, carrapatos, sanguessugas, ácaros ou lampreias.

Existem alguns tipos de parasita que dependem completamente do hospedeiro (**holoparasitas**). O cipó-chumbo (*Cuscuta* sp.), por exemplo, fixa-se em outras plantas e absorve a seiva elaborada, uma vez que não tem capacidade de produzi-la sozinha; assim, sem parasitar outra espécie, ele não sobrevive. Há também parasitas que dependem parcialmente do hospedeiro (**hemiparasitas**). A erva-de-passarinho (*Viscum album*) é uma espécie arbustiva que retira água e sais do hospedeiro, mesmo sendo capaz de realizar fotossíntese.

Em geral, os parasitas não matam os hospedeiros, pois necessitam deles para sobreviver. Além disso, o parasitismo promove a diversidade biológica, contribuindo para a riqueza de espécies.

COMPETIÇÃO INTERESPECÍFICA

Ocorre quando há duas populações de espécies diferentes na mesma comunidade ocupando nichos ecológicos iguais ou semelhantes. Se os recursos do ambiente não forem suficientes para todos, ocorre disputa, o que pode gerar controle populacional de ambas as populações ou a extinção de uma delas (**princípio ou lei de Gause**). A disputa é um fator importante no controle do tamanho das populações. Isso também é comum quando há introdução de espécies exóticas, que competem pelos recursos com espécies nativas, muitas vezes extinguindo-as. As competições também atuam como uma **forma de seleção natural**, possibilitando a sobrevivência apenas das populações melhor adaptadas.

ECOLOGIA DE POPULAÇÕES: CARACTERÍSTICAS E CRESCIMENTO

Em 2012, pesquisadores da Universidade do Vale do Sapucaí e da Universidade Federal da Paraíba ana-

lisaram uma área de Mata Atlântica no Parque Natural Municipal de Pouso Alegre (MG). O objetivo era estimar a densidade populacional de primatas na região.

Durante 41 dias, os pesquisadores registraram o número de indivíduos de cada espécie nas áreas transeccionadas. Como resultado, encontraram por km² uma média de: 23,83 sauás (*Callicebus nigrifrons*), 14,76 saguis-da-serra (*Callithrix aurita*), 7,7 macacos-prego pretos (*Cebus nigritus*) e 3,3 bugios-ruivos (*Alouatta clamitans*).

Com base nesses dados, os cientistas concluíram que a densidade de sauás foi alta, enquanto a de bugios foi muito baixa, com a ocorrência de apenas um bando com seis indivíduos na área analisada. Os motivos de a quantidade de bugios ser pequena são desconhecidos, mas os pesquisadores especulam que os resultados têm relação com a alta fragmentação do hábitat na região, em virtude do crescimento urbano.

Pesquisas como essas são fundamentais para a conservação das espécies. Por meio de dados como densidade, é possível simular por quanto tempo determinada população pode sobreviver e quais fatores estão a impactando. Desse modo, os cientistas são capazes de promover estratégias para conservação e manejo das espécies.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE UMA POPULAÇÃO

Uma população é o conjunto de indivíduos da mesma espécie que habitam um local em determinado intervalo de tempo. Cada população apresenta adaptações ao ambiente em que vive, associadas a seu sucesso reprodutivo. O tamanho das populações pode variar em número, dependendo de fatores como taxas de nascimento e morte e taxa de migração entre elas. Essas flutuações populacionais podem ser influenciadas por fatores ecológicos, como disponibilidade de alimentos, quantidade de predadores no ambiente, locais disponíveis para reprodução, predação e competição.

As principais características estudadas para compreender as dinâmicas populacionais são **densidade populacional**, **distribuição etária** e **potencial biótico**.

DENSIDADE POPULACIONAL

Trata-se da relação entre o número de indivíduos de uma população e o espaço que ela ocupa. Esse espaço é considerado em área (m², km²) ou volume (m³ ou km³).

$$\text{Densidade (D)} = \frac{\text{Número de indivíduos da população (N)}}{\text{Unidade de área ou volume (A)}}$$

Embora seja possível estimar o tamanho de uma população por meio da densidade, o resultado não revela *exatamente* o número de indivíduos naquele espaço. A quantidade calculada, nesse caso, é apenas um valor estatístico, porque a densidade populacional pode variar dentro da mesma área habitada. Essa variação ocorre, por exemplo, em virtude da disponibilidade de recursos ou das condições ambientais.

É comum que a densidade populacional humana nas metrópoles seja maior que em zonas rurais, por exemplo. O contrário ocorre com a densidade populacional de plantas, que é maior nas zonas rurais.

A **taxa de natalidade** e a **taxa de imigração** são fatores que contribuem para o aumento da densidade populacional. Por outro lado, a **taxa de mortalidade** e a **taxa de emigração** influenciam na redução da densidade populacional.

Quando analisamos esses fatores, é possível identificar o que pode estar afetando uma população diretamente. Devemos lembrar, no entanto, que esses fatores não determinam drasticamente as características populacionais, apenas influenciam as condições observadas.

Taxas de natalidade e mortalidade

A **taxa de natalidade** corresponde ao número de indivíduos que nasceram em uma população durante determinado período de tempo.

$$\text{Taxa de natalidade (TN)} = \frac{\text{Número de nascimentos}}{\text{Unidade de tempo}}$$

A **taxa de mortalidade**, por sua vez, corresponde ao número de indivíduos mortos em uma população no mesmo período de tempo.

$$\text{Taxa de mortalidade (TM)} = \frac{\text{Número de óbitos (mortes)}}{\text{Unidade de tempo}}$$

Taxas de imigração e emigração

Migrações ou dispersões são **fluxos de indivíduos** entre as populações e podem ser de dois tipos: quando há entrada de indivíduos em uma população, ocorre a **imigração**; quando há saída de indivíduos de uma população acontece a **emigração**.

Os movimentos migratórios geralmente ocorrem em resposta a alterações climáticas e à disponibilidade de alimentos. Esse comportamento garante que a população se reproduza e que os filhotes sobrevivam.

Por exemplo, no inverno, algumas espécies de aves migratórias viajam da América do Norte para a América do Sul fugindo das baixas temperaturas e da escassez de recurso nessa época do ano.

Índice de crescimento

Trata-se da relação entre as taxas de natalidade e mortalidade e as taxas de emigração e imigração. Esses fatores isolados não caracterizam adequadamente uma população, mas juntos podem informar muitos dados a respeito desta.

Quando o índice de crescimento (IC) é negativo (menor que 1), o número de perdas é maior que o número de reposição. Assim, a população encontra-se em declínio. Quando esse índice é igual a 1, o número de perdas (ou saídas) de indivíduos e a entrada são iguais. Nesse caso, a população está em equilíbrio. Por outro lado, se o valor do índice de crescimento for positivo (maior que 1), há mais entrada que saída, o que indica o crescimento da população.

“Entrada” e “reposição” são compreendidas como a *inclusão* de novos indivíduos na população, sejam eles provenientes de nascimentos ou de imigração.

“Saída” e “perda”, por sua vez, representam a *retirada* de indivíduos da população, sejam eles provenientes de mortes ou de emigração.

$$\text{IC} = \frac{\text{Taxa de natalidade} + \text{imigração}}{\text{Taxa de mortalidade} + \text{emigração}}$$

IC < 1 → população em declínio
 IC = 1 → população em equilíbrio
 IC > 1 → população em crescimento

POTENCIAL BIÓTICO

Refere-se à capacidade que uma população tem de aumentar em número de indivíduos quando está em condições ideais. Em outras palavras, o potencial biótico relaciona-se à natalidade máxima e à capacidade máxima de sobrevivência.

O aumento de uma população depende da capacidade de reprodução e adaptação no ambiente em que vive. Assim, quanto maior for a capacidade de se reproduzir e se dispersar, maior será o potencial biótico dessa população.

Esse crescimento pode ser exponencial em curto período de tempo se as condições ambientais forem favoráveis ou ilimitadas. Esse fenômeno promove o **desequilíbrio ambiental**, pois a quantidade de recursos consumidos aumenta.

Entretanto, o crescimento de uma população pode ser limitado por fatores ambientais, que são capazes de interferir, por exemplo, no clima, na disponibilidade de água e alimentos, na oxigenação e na presença de competidores. Esse conjunto de fatores recebe o nome de **resistência ambiental**.

À medida que a população aumenta, a resistência ambiental também cresce, o que reduz o crescimento populacional. Isso acontece até que haja um equilíbrio entre a resistência ambiental e o potencial biótico. Quando a população se encontra nesse equilíbrio, ela

atingiu a **capacidade máxima suportada pelo ambiente** (capacidade suporte). Entretanto, esse tamanho máximo pode sofrer pequenas oscilações.

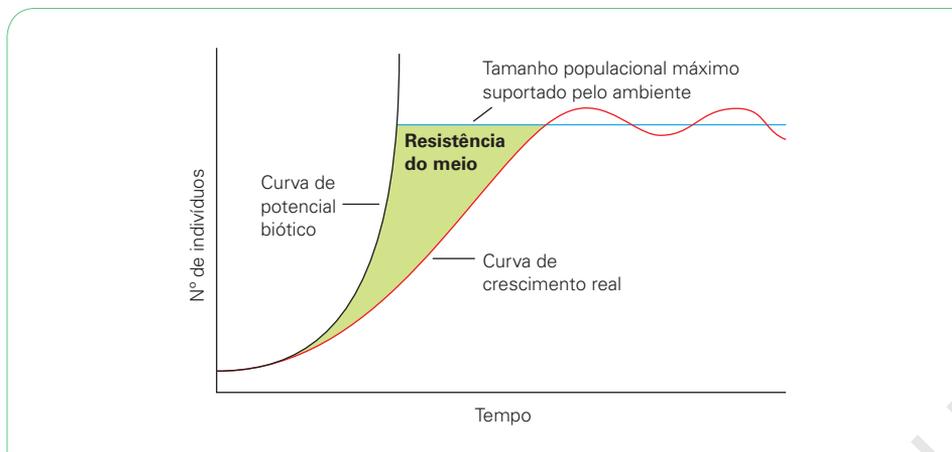


Gráfico relacionando o potencial biótico e a resistência ambiental de uma população.

CRESCIMENTO POPULACIONAL

Depende de fatores como taxas de natalidade, mortalidade, imigração e emigração e resistência ambiental. O gráfico do percurso de crescimento populacional pode ser representado por meio de uma curva do tipo sigmoide ou em forma de S.

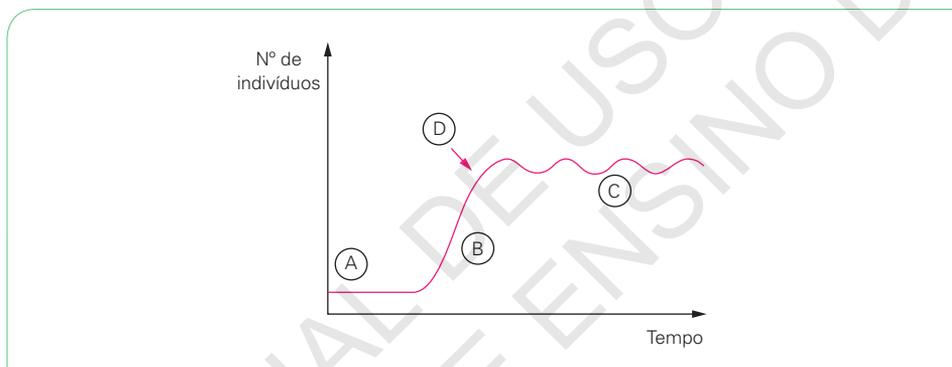


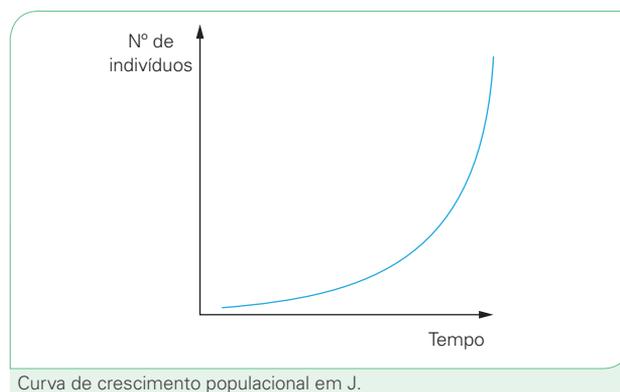
Gráfico com formato sigmoide do crescimento populacional em função do tempo. (A) representa um período de crescimento lento, em que há adaptações às condições ambientais. (B) refere-se a um período rápido de crescimento, com elevado número de indivíduos capazes de se reproduzirem. (C) diz respeito a um período de estabilidade populacional, com variação média em torno da resistência ambiental. (D) trata-se da ação efetiva da resistência ambiental sob a população.

O crescimento populacional é representado por uma curva em J quando é exponencial e ultrapassa a capacidade máxima do ambiente. Esse crescimento é interrompido se a resistência ambiental ou outro fator limitante atuar repentinamente sobre a população. Isso pode acontecer, por exemplo:

- após um período de crescimento lento;
- com o surgimento de novos organismos com alta adaptabilidade;
- quando o espaço é ilimitado;
- se houver falta de predadores.

Assim, a população ultrapassa o limite ambiental, e o potencial biótico da espécie é usado até atingir o próprio limite de crescimento e não entra em equilíbrio com o meio.

Geralmente as populações que crescem nesse ritmo são populações de insetos, algas e seres humanos.



Curva de crescimento populacional em J.

ROTEIRO DE AULA

RELAÇÕES DESARMÔNICAS

INTRAESPECÍFICAS

relações entre indivíduos de espécies

iguais

Canibalismo

indivíduos que se alimentam de outros indivíduos da mesma espécie

Competição intraespecífica

disputa por recursos entre espécies

iguais

INTERESPECÍFICAS

relações entre indivíduos de espécies

diferentes

Amensalismo

Uma espécie produz substâncias que

inibem

o desenvolvimento de outra espécie

evita a competição por recursos

Predatismo

uma espécie se alimenta de outra

Espécie que se alimenta é

predador

Espécie que serve de alimento é

presa

Esclavagismo

uma espécie se beneficia do

trabalho

de outra espécie

Parasitismo

uma espécie obtém

nutrientes e abrigo

de outra espécie

Competição interespecífica

disputa por recursos entre espécies

diferentes

ROTEIRO DE AULA

ECOLOGIA DE POPULAÇÕES

CARACTERÍSTICAS DE UMA POPULAÇÃO

Densidade

Relação entre o número de indivíduos e o

espaço ocupado

Aumento da população relacionado às taxas de

natalidade e imigração

Redução da população relacionada às taxas de

mortalidade e emigração

Distribuição etária

Representa a quantidade de indivíduos de acordo com seu

período ecológico

Potencial biótico:

capacidade da população

aumentar

em condições ideais

Resistência ambiental:

fatores que limitam o

crescimento

da população

Crescimento populacional

Inicia-se com um número pequeno de indivíduos, seguido de crescimento populacional exponencial e atuação da resistência ambiental:

Curva em S

Crescimento populacional exponencial, sem entrar em equilíbrio com o meio; atinge rapidamente o potencial biótico:

Curva em J

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFRGS-RS (adaptado) – Considere as afirmativas a seguir, sobre interações ecológicas desarmônicas.

- I. O canibalismo observado em fêmeas de algumas espécies de aranhas é um exemplo desse tipo de interação.
- II. Não existe esse tipo de interação entre as plantas.
- III. A disputa entre machos na tentativa de conseguir uma fêmea para acasalar exemplifica esse tipo de interação.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- a) I, apenas.
- b) II, apenas.
- c) I e III, apenas.**
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

A afirmativa II está incorreta, porque nas plantas podem acontecer relações intraespecíficas e interespecíficas desarmônicas, como a competição por nutrientes.

2. IFRS – Se duas espécies têm _____ muito semelhantes, pensou Gause, elas não conseguirão conviver em um mesmo ambiente por causa da severa _____ que se estabelecerá entre elas. Marque a alternativa que completa as lacunas corretamente.

- a) habitats – relação ecológica
- b) habitats – interação
- c) nichos ecológicos – predação
- d) nichos ecológicos – competição**
- e) hábitos – competição

A lei de Gause postula que, quando duas espécies apresentam os mesmos nichos ecológicos, há competição entre elas, o que promove controle populacional de ambas ou a extinção de uma delas.

3. Sistema Dom Bosco – Os fungos do gênero *Penicillium* sp. são capazes de produzir substâncias que impedem o desenvolvimento de bactérias. Atualmente essas substâncias são usadas na produção de antibióticos, combatendo doenças bacterianas. Cite qual tipo de relação ecológica essa situação exemplifica e justifique.

Trata-se de amensalismo, uma vez que os fungos secretam substâncias

que inibem o desenvolvimento de outra espécie.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente,

em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando con-

hecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos

organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações

com o ambiente, sexualidade, entre outros.

4. UPF-RS (adaptado) – A ecologia de populações é uma ciência que estuda os parâmetros populacionais. Com relação à ecologia da população, analise as afirmativas e assinale com V (verdadeiro) ou F (falso).

- () A regulação do tamanho das populações é realizada apenas por fatores abióticos, como os climáticos.
- () A densidade de uma população corresponde à relação entre o número de indivíduos e a disponibilidade de recursos alimentares do ambiente.
- () As relações como competição intraespecífica, predação e parasitismo são consideradas importantes fatores reguladores do tamanho da população.
- () A densidade das populações animais e vegetais permanece constante nos ecossistemas em equilíbrio ecológico.
- () A resistência ambiental corresponde ao conjunto de fatores que se opõem ao potencial biótico da população.

A sequência correta de preenchimento, de cima para baixo, é

- a) V – V – F – V – F.
- b) F – F – F – V – V.
- c) F – F – V – F – V.**
- d) V – F – V – F – V.
- e) F – F – V – V – F.

A primeira afirmativa é falsa. A regulação do tamanho da população é realizada por fatores abióticos e bióticos. A segunda afirmativa é falsa. A densidade de uma população corresponde à relação entre o número de seus indivíduos e o espaço por eles ocupado. A quarta afirmativa é falsa. A densidade das populações oscila nos ecossistemas em equilíbrio, em razão da resistência ambiental que atua sobre elas.

5. UEA-AM

C5-H17

A tabela indica os índices de natalidade, mortalidade, imigração e emigração em uma população hipotética, durante cinco anos consecutivos.

	2009	2010	2011	2012	2013
natalidade	30	25	40	20	15
mortalidade	20	10	35	5	10
imigração	15	10	10	10	15
emigração	10	5	10	10	10

Considerando que a população inicial, ao final de 2008, era de 100 indivíduos, é correto afirmar que

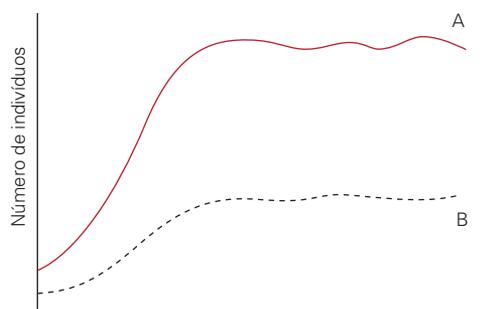
- a) 2010 foi o ano com maior crescimento populacional.**
- b) 2011 foi o ano com menor declínio populacional.
- c) 2013 foi o ano com menor crescimento populacional.
- d) 2012 foi o ano com maior declínio populacional.
- e) 2009 foi o ano com a maior estabilidade populacional.

Nasceram 20 indivíduos, morreram 10, imigraram 10 e emigraram 10. O saldo final foi 20 indivíduos a mais na população. A alternativa B está incorreta. Em 2012 ocorreu o menor declínio populacional. A alternativa C está incorreta. Em 2010 aconteceu o maior crescimento populacional. A alternativa D está incorreta. O correto é 2011. A alternativa E está incorreta. Em 2013 ocorreu a maior estabilidade populacional.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

6. Unicamp-SP (adaptado) – O gráfico abaixo ilustra as curvas de crescimento populacional de duas espécies de mamíferos (A, B) que vivem na savana africana, um pastador e um predador.

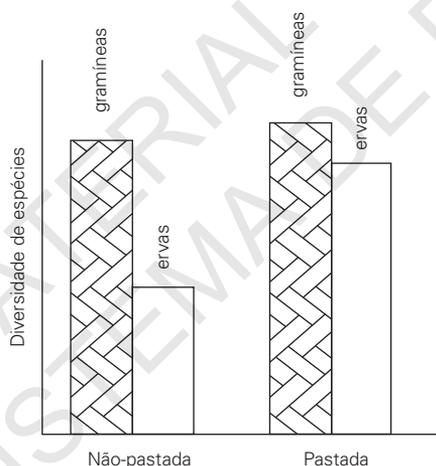
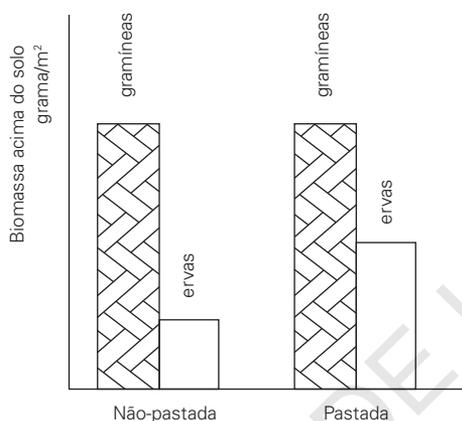


Qual espécie apresenta maior capacidade de suporte? O que significa esse conceito?

A curva A representa a espécie com a maior capacidade suporte, conceito que se refere ao potencial biótico máximo que o ambiente consegue suportar.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFMG – Analise estes gráficos, em que está representado o efeito da pastagem de uma população herbívora que se alimenta, preferentemente, de gramíneas sobre uma comunidade vegetal:



Considerando-se as informações contidas nesses gráficos e outros conhecimentos sobre o assunto, é correto afirmar que a pastagem faz diminuir

- os recursos disponíveis para outros herbívoros.
- a competição entre gramíneas e ervas.
- a diversidade dessas espécies vegetais.
- a produtividade das ervas.

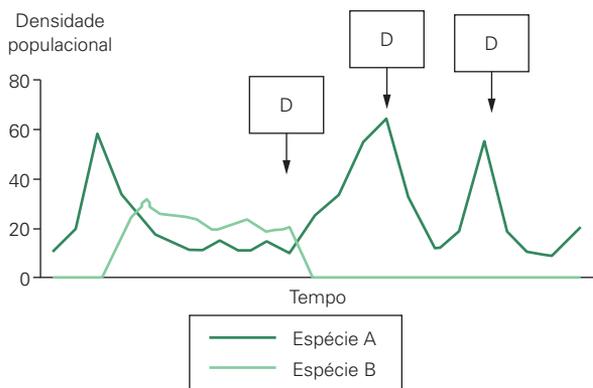
8. PUC-SP – O bicudo (*Sphenophorus levis*) é um inseto cujas larvas se desenvolvem no interior do rizoma da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), onde se alimentam dos tecidos do vegetal e podem provocar sua morte. No controle biológico do bicudo, tem sido utilizado com êxito o nematoide *Steinernema brazilense*, um verme milimétrico que abriga em seu intestino bactérias do gênero *Xenorhabdus*. Ao adentrar a larva do inseto por orifícios naturais, o verme libera as bactérias, as quais digerem os tecidos da larva e disponibilizam, assim, alimento para o verme. As relações ecológicas entre bicudo e cana-de-açúcar e entre o nematoide e as bactérias podem ser classificadas, respectivamente, como

- parasitismo e mutualismo.
- predatismo e comensalismo.
- inquilinismo e competição.
- amensalismo e protocooperação.
- protocooperação e predatismo.

9. UFPR – Uma coruja caça durante a noite e captura um morcego. Ambos são capturados por uma rede armada por pesquisadores. Após análise cuidadosa da coruja e do morcego, os pesquisadores encontraram, sob as penas da coruja, ácaros e piolhos, e sob os pelos do morcego, moscas hematófagas. As interações interespecíficas entre a coruja e o morcego, entre os ácaros e os piolhos e entre as moscas hematófagas e o morcego são denominadas, respectivamente,

- predação, parasitismo e inquilinismo.
- predação, mutualismo e parasitismo.
- parasitismo, competição e predação.
- predação, competição e parasitismo.
- competição, inquilinismo e parasitismo.

10. Unicamp-SP (adaptado) – A espécie A é um ácaro comum em plantações de morango, promovendo danos quando atinge a densidade de 20 indivíduos por lote de morango. Pesquisadores identificaram que geralmente onde existia a espécie A, também havia a espécie B de ácaros. Para compreender a relação entre essas duas espécies, foi realizado um experimento em que a espécie B foi introduzida em uma criação da espécie A em laboratório. Passado algum tempo, foi adicionado um defensivo agrícola (D) na criação e os resultados obtidos foram descritos no gráfico a seguir.



Com base nesses resultados e em seus conhecimentos, explique qual é o tipo de interação entre as espécies A e B.

11. Urca-CE (adaptado) – Na Biologia, as relações ecológicas são divididas em relações ecológicas interespecíficas e relações ecológicas intraespecíficas. As relações ecológicas interespecíficas se estabelecem entre indivíduos de espécies diferentes, enquanto as relações ecológicas intraespecíficas se estabelecem entre indivíduos da mesma espécie. Inquilinismo, herbivoria, parasitismo e mutualismo são exemplos de relações ecológicas interespecíficas, ou seja, ocorrem entre indivíduos de espécies diferentes. Sociedade, colônia e competição são exemplos de relações ecológicas intraespecíficas. Analise as descrições a seguir:

- I. A caravela é um cnidário que vive flutuando no mar e é formada por um conjunto de indivíduos da mesma espécie que vivem fisicamente juntos, dividindo o trabalho.
- II. A associação entre certos fungos e algas clorofíceas ou cianobactérias forma um novo tipo de organismo, o líquen.
- III. Entre alguns insetos da mesma espécie, os animais mais fracos ou doentes são devorados pelos sadios.
- IV. Várias espécies de abelhas formam agrupamentos altamente organizados, nos quais, de modo instintivo, cada indivíduo coloca a sobrevivência da colmeia acima de sua própria sobrevivência.

As relações ecológicas descritas são, respectivamente,

- a) sociedade, colônia, canibalismo e mutualismo.
- b) mutualismo, sociedade, canibalismo e colônia.
- c) comensalismo, sociedade, predatismo e colônia.
- d) colônia, mutualismo, canibalismo e sociedade.
- e) protocooperação, colônia, predatismo e sociedade.

12. UFSCar-SP (adaptado) – Os gráficos a seguir representam as curvas de crescimento de duas espécies de protozoários: A e B. Em 1, as espécies foram cultivadas em tubos de ensaio separados e, em 2, foram cultivadas no mesmo tubo de ensaio.

Figura 1

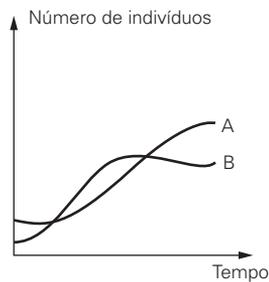
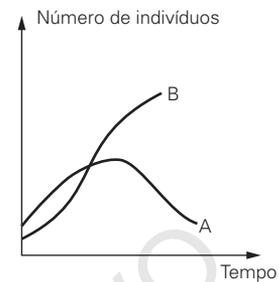
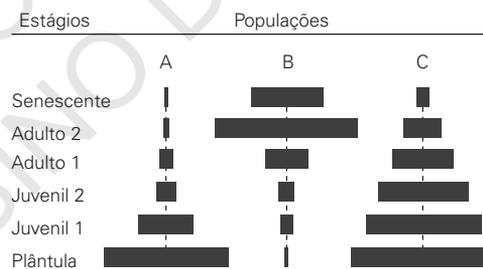


Figura 2



Considerando que as condições do meio foram as mesmas em todos os casos, elabore uma hipótese para o resultado encontrado na Figura 2.

13. Fuvest-SP – A figura representa a estrutura de três populações de plantas arbóreas, A, B e C, por meio de pirâmides etárias. O comprimento das barras horizontais corresponde ao número de indivíduos da população em cada estágio, desde planta recém-germinada (plântula) até planta senescente.



Bresinsky et al. Tratado de Botânica de Strasburger, 36a ed. Ed. Artmed, Porto Alegre, 2012. Adaptado.

A população que apresenta maior risco de extinção, a população que está em equilíbrio quanto à perda de indivíduos e a população que está começando a se expandir são, respectivamente,

- a) A, B e C.
- b) A, C e B.
- c) B, A e C.
- d) B, C e A.
- e) C, A e B.

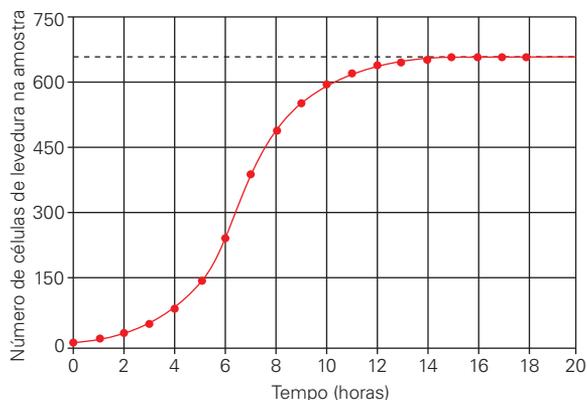
14. Uece – Em relação à dinâmica de populações, escreva V ou F conforme seja verdadeiro ou falso o que se afirmar nos itens abaixo.

- () A densidade populacional é definida como o número de indivíduos presentes na comunidade que vive em determinada área ou volume.
- () A curva de crescimento populacional real resulta da interação entre seu potencial biológico e a resistência ambiental.
- () Qualquer população pode apresentar crescimento exponencial, independentemente do meio em que vive.
- () A capacidade de carga ou resistência ambiental, a competição e a densidade populacional são exemplos de fatores que regulam o crescimento populacional.

Está correta, de cima para baixo, a seguinte sequência:

- a) V – V – V – F.
- b) V – F – V – F.
- c) F – V – F – V.
- d) F – F – F – V.

15. Univag-MT – Para se estabelecer a curva de crescimento populacional de leveduras, as células desses fungos foram cultivadas por 20 horas em frasco contendo meio de cultura líquido. A cada 30 minutos foi retirada uma amostra de mesmo volume para a contagem do número de células. Os dados obtidos estão representados no gráfico.



É correto afirmar que

- a curva no gráfico representa o potencial biótico das leveduras.
- a taxa de mortalidade se iguala à de reprodução entre 4 e 12 horas.
- a área entre a linha tracejada e a curva no gráfico indica a resistência do meio.
- a linha tracejada no gráfico determina a carga biótica máxima do meio.
- as células cessaram a reprodução a partir de 16 horas.

16. UPF-RS (adaptado)

Número de tigres no mundo aumenta pela primeira vez em cem anos

O número de tigres em estado selvagem no mundo aumentou pela primeira vez em cem anos graças aos esforços de preservação, informaram vários grupos de defesa da natureza.

Segundo dados do Fundo Mundial para a Natureza (WWF) e do Fórum Global do Tigre, o número avaliado de tigres selvagens subiu para 3 890, em comparação com os 3 200 exemplares até 2010. "Pela primeira vez após várias décadas de recuo, o número de tigres aumenta", comemorou Marco Lambertini, diretor da WWF Internacional, em um comunicado.

Este foi o primeiro aumento expressivo do número desses felinos desde 1900, quando havia 100 mil tigres no mundo. Mais da metade da população de tigres no mundo se encontra na Índia, onde 2 226 exemplares vivem em reservas de 18 Estados, segundo o último balanço de 2014.

Os especialistas alertam, no entanto, que esse aumento poderia ser explicado pelo aperfeiçoamento no método de contagem. Mas constatam os esforços na proteção dos felinos. Em Bangladesh, o número de tigres caiu de 440 em 2010 a 106 em 2015, apesar de os ecologistas acharem que a diferença se deve a uma sobreavaliação da população há seis anos.

A drástica redução da população desses felinos na Indonésia é causada pelo desmatamento com fins industriais destinados ao cultivo de óleo de palma e pasta de papel. O Camboja, por sua parte, está pensando em reintroduzir o tigre depois de anunciar sua extinção na semana passada por não ter provas de sua existência no país desde 2007.

As principais causas da diminuição drástica da população de tigres na Ásia são o desmatamento, a destruição de seu habitat e a caça ilegal. [...]

Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2016/04/numero-de-tigres-no-mundo-aumenta-pela-primeira-vez-em-cem-anos-20160411155508836106.html>>. Acesso em: abr. 2019.

As populações evoluem e se adaptam ao ambiente. Podem crescer e se estabilizar ou podem declinar e se extinguir. Há dois aspectos importantes na caracterização de uma população: a densidade populacional e a taxa de crescimento. Considerando esses aspectos e as informações contidas no texto acima, é correto afirmar que

- a taxa de crescimento anual da população mundial de tigres foi de 0,2 entre 2010 e 2016.
- para estimar a taxa de crescimento de uma população, deve-se realizar um levantamento do número de indivíduos por unidade de área.
- pode-se definir densidade populacional como a variação do tamanho de uma população em determinado intervalo de tempo.
- o principal fator que está contribuindo para o crescimento populacional dos tigres é a sua baixa densidade populacional, que leva ao aumento da taxa de natalidade e à diminuição da taxa de mortalidade.
- teoricamente, qualquer população tem capacidade de crescimento exponencial. No entanto, o crescimento da população mundial de tigres tem sido limitado pelos recursos do ambiente e pela predação.

17. UFGD-MS (adaptado) – As populações tendem a crescer e a atingir uma dimensão estável. O aumento exagerado de uma população pode criar condição para um desequilíbrio ecológico, com sérios riscos para a sua preservação. Nessa circunstância, os indivíduos da população passam a enfrentar uma competição mais intensa entre si por alimentos e por local de abrigo, expondo-se mais convidativamente ao ataque de seus inimigos naturais. Quando ocorre espontaneamente uma redução considerável da população é de se supor que algo não vai bem com ela. E isso, sem dúvida, a expõe de igual forma à ameaça de extinção.

Analise as afirmativas a seguir:

- O estado conveniente é aquele em que a população se mantém, depois de ter atingido sua dimensão ideal, com uma densidade estável ou constante.
- Os mecanismos intrínsecos dependem dos próprios integrantes da população.
- Se todos os indivíduos de uma população consomem a mesma variedade de alimentos, logicamente o crescimento populacional exagerado pode levar à exaustão do sistema.
- Muitas espécies, quando sofrem aumento demográfico exagerado, com risco de desequilíbrio ecológico, aumentam sensivelmente a sua taxa de reprodução, visando à manutenção da espécie.
- O intemperismo abrange todas as formas de atuação antrópica no ambiente contra determinada espécie.

Está(ão) correta(s)

- apenas I.
- apenas I e II.
- II, IV e V.
- I, II e III.
- apenas IV.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem (adaptado)

C4-H14

Vaga-lumes machos e fêmeas emitem sinais luminosos com o objetivo de se atraírem na época da reprodução. Entretanto, na espécie de vaga-lume do gênero *Photuris*, a fêmea atrai machos de outra espécie, que, ao se aproximarem, se tornam presas fáceis, sendo devorados por elas. Esse tipo de relação ecológica é um exemplo de

- comensalismo, sendo uma relação harmônica.
- inquilinizismo, sendo uma relação desarmônica.
- protocooperação, sendo uma relação desarmônica.
- predatismo, sendo uma relação desarmônica.
- mutualismo, sendo uma relação harmônica.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H14

As hienas caçam em grupos e são geralmente lideradas pelas fêmeas, maiores e mais agressivas que os machos, principalmente quando se trata de competir por recursos limitados.

Sabendo do comportamento desses animais, é correto dizer que as hienas apresentam, em relação a outras espécies que se valem desses mesmos tipos de recursos,

- competição intraespecífica.
- competição interespecífica.
- canibalismo.
- esclavagismo.
- amensalismo.

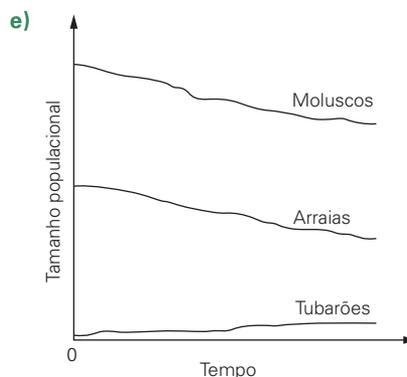
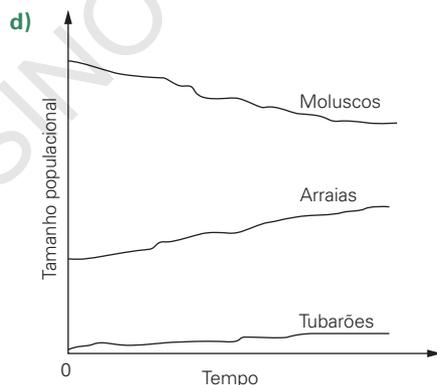
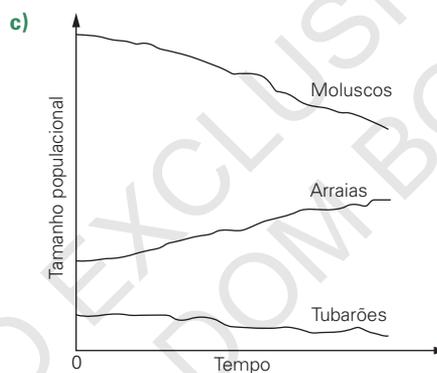
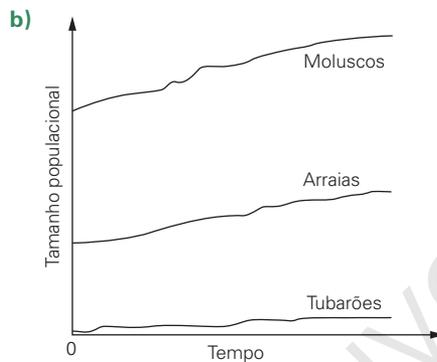
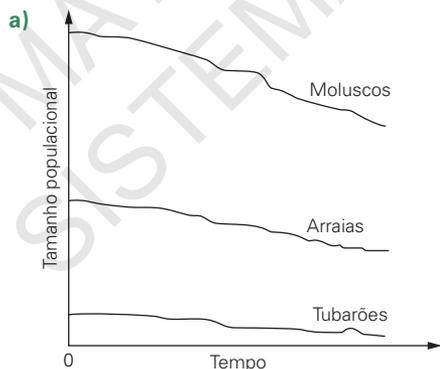
20. Enem

C5-H17

Dados compilados por Jeremy Jackson, do Instituto Scripps de Oceanografia (EUA), mostram que o declínio de 90% dos indivíduos de 11 espécies de tubarões do Atlântico Norte, causado pelo excesso de pesca, fez com que a população de uma arraia, normalmente devorada por eles, explodisse para 40 milhões de indivíduos. Doce vingança: essa horda de arraias é capaz de devorar 840 mil toneladas de moluscos por ano, o que provavelmente explica o colapso da antes lucrativa pesca de mariscos na Baía de Chesapeake (EUA).

LOPES, R. J. Nós, o asteroide. *Revista Unesp Ciência*, abr. 2010. Disponível em: <https://issuu.com>. Acesso em: 9 maio 2017 (adaptado).

Qual das figuras representa a variação do tamanho populacional de tubarões, arraias e moluscos no Atlântico Norte, a partir do momento em que a pesca de tubarões foi iniciada (tempo zero)?



CONTROLE POPULACIONAL, SUCESSÃO ECOLÓGICA E DESEQUILÍBRIOS AMBIENTAIS

28

Após muitos anos extintos, na década de 1990, lobos-cinzentos (*Canis lupus*) foram reintroduzidos no Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos. O resultado, acompanhado durante décadas pelos pesquisadores, foi o mais surpreendente. Com a matilha reintroduzida, outros animais que também estavam desaparecidos voltaram a ser vistos no parque, além da renovação da flora e até mesmo a mudança do curso natural de um rio.

A alteração ecológica inicial foi observada na cobertura vegetal que, ao ser modificada, aumentou em abundância de espécies, além de atrair outras, como os castores, responsáveis pela reformulação do bioma. Os castores são construtores de barragens e represam grande quantidade de água, o que atraiu lontras, sapos, patos e peixes, expandindo as cadeias alimentares e aumentando a complexidade do ambiente, de modo que outras espécies encontraram um hábitat mais propício para viver e se reproduzir.

É possível observar, em estudos como esse, a importância do que o desequilíbrio de uma espécie pode desencadear em toda a biodiversidade de um ecossistema. A introdução do lobo-cinzento como predador causou a morte de outros animais, como os alces e os veados. A intensa pressão que os lobos geraram fez essas duas espécies mudarem os hábitos de vida, alterando a dinâmica do ecossistema. A diversidade de espécies no parque sofreu aumento, mas isso não necessariamente acontece em outros casos de reintrodução de espécies. Há controvérsias quanto aos riscos de extinção, de modo que sempre é necessário um estudo cuidadoso do processo de reintrodução de uma espécie já extinta, visto que muitos fatores devem ser levados em conta. Portanto, o estudo de Ecologia é essencial para se entender a dinâmica do ambiente e como se dão os controles populacionais e de sucessão ecológica.

CONTROLE POPULACIONAL

Corresponde à forma com que as populações naturais podem ter seu tamanho controlado por meio das relações ecológicas. Ou seja, por predatismo, parasitismo ou pelas competições intraespecífica e interespecífica.

PREDATISMO

O predatismo é um fator determinante para o controle populacional porque promove um controle mútuo, uma vez que os predadores dependem da quantidade de alimento disponível para sua sobrevivência. A presa, por outro lado, depende do número de predadores para ter sua população diminuída, de modo que os predadores podem controlar o número de presas ou então dizimar a população por completo.

O aumento de predadores corresponde à redução do número de presas. Uma vez que o número de presas diminui, a disponibilidade de alimentos para os predadores também diminui e, conseqüentemente, há encolhimento na população de predadores por fome ou redução na taxa de natalidade. Quando a população de predadores é reduzida, a taxa de predação contra as presas também diminui, e a população entra em equilíbrio. O aumento do número de presas torna a disponibilidade de alimento maior para os predadores e, por conta disso, ocorre expansão da população de predadores, reiniciando o processo.

- Controle populacional
- Sucessão ecológica
- Alterações abióticas
- Alterações bióticas
- Desenvolvimento sustentável

HABILIDADES

- Compreender a importância das relações ecológicas no controle das populações.
- Interpretar gráficos relacionados aos conceitos de controle populacional e sucessão ecológica.
- Explicar o conceito de sucessão, bem como seus estágios e sua importância para comunidades e ecossistemas.
- Citar e explicar os principais impactos abióticos e bióticos que desequilibram um ecossistema.
- Compreender a importância de conservar ambientes naturais e suas espécies nativas.
- Refletir sobre os desastres ambientais causados pela intervenção antrópica.

No Canadá, por exemplo, foi observado um fenômeno típico entre populações de linces, que são predadores, e lebres, que são presas. O aumento da população de linces fez com que a população de lebres fosse reduzida.

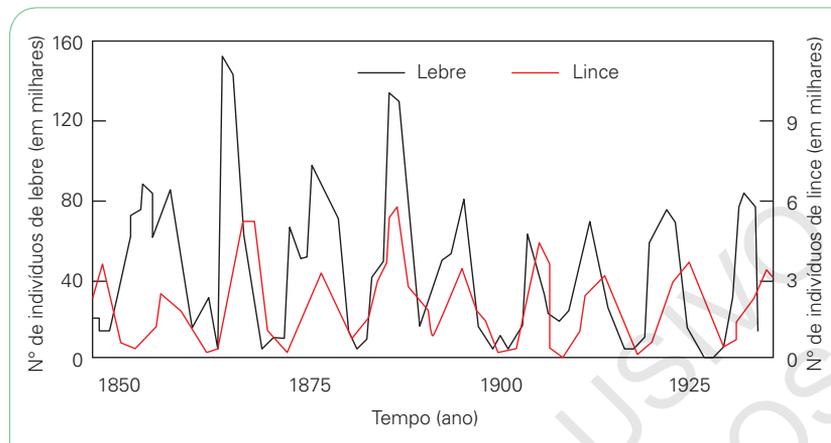


Gráfico da oscilação das populações de lebre e lince no Canadá entre 1850 e 1925.

Um estudo demonstrou que essas populações oscilam em tamanho, aumentando e diminuindo em períodos entre seis e nove anos. Os predadores sofreram diminuição em sua população por privação de alimento, e, então, a população de lebres começou a aumentar novamente. Em seguida, a população de linces acompanhou o crescimento da população de lebres, e assim sucessivamente.

PARASITISMO

A relação entre parasita e hospedeiro leva ao equilíbrio das populações, e esta pode ser uma relação endêmica, epidêmica ou pandêmica.

A **relação endêmica** ocorre quando o número de hospedeiros parasitados em uma população é estável, possibilitando uma estimativa do número de futuros parasitados. Na **relação epidêmica**, o número de hospedeiros parasitados ultrapassa exageradamente o estimado, não havendo equilíbrio, o que pode ser grave para aquela população. O que difere a **relação pandêmica** das outras duas é a presença de diversos focos epidêmicos em áreas diferentes simultaneamente. Quando a população humana é afetada por parasitoses ou doenças virais, como a dengue, trata-se de uma relação pandêmica.

COMPETIÇÃO INTRAESPECÍFICA

A **competição intraespecífica** é mais um exemplo nas relações ecológicas de controle da densidade de certa população, seja por disputa de recursos como alimentos, seja pela **territorialidade**, isto é, a disputa por espaço. O território é delimitado normalmente pelo macho da espécie, de maneira que outros machos necessitam sair do grupo e dominar outros espaços. A **competição interespecífica** também afeta diretamente as populações, deixando-as menos densas, e isso ocorre principalmente por conta da disputa pelos mesmos recursos entre espécies que ocupam os mesmos nichos.

CURVA DE SOBREVIVÊNCIA

É possível analisar uma população através de suas curvas de sobrevivência, que relacionam o número de sobreviventes em função da idade, conforme o gráfico mostrado a seguir.

A curva **A** representa uma alta taxa de mortalidade entre jovens, sendo característica de animais com fase larval em seu desenvolvimento. Há um número alto de indivíduos, mas, com o passar do tempo, esse número diminui consideravelmente, uma vez que as larvas são mais vulneráveis à predação. Indivíduos que sobrevivem a essa fase tendem a ter boa expectativa de vida, com melhores condições de sobrevivência e, assim, estabilizam a população com um número mais baixo que o inicial.

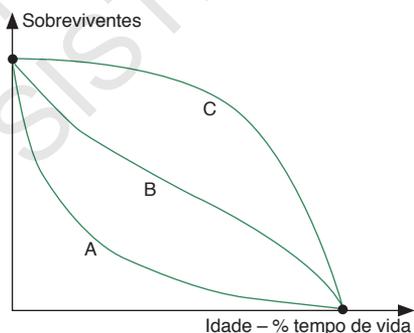


Gráfico de curvas de sobrevivência.

A curva **B** indica uma taxa de mortalidade estável e igual nas diferentes idades, sendo, portanto, a curva típica de uma população equilibrada. Muitos indivíduos nascem e, ao longo do tempo, são gradativamente mortos, sem quedas bruscas ou interrupções, o que mostra resistência e adaptação às condições ecológicas.

A curva **C** aponta uma baixa taxa de mortalidade entre jovens, que aumenta somente a partir de uma idade avançada, ao término da vida. Esse tipo de curva explica animais que vivem em grupos, e assim protegem e cuidam de suas crias. Os mamíferos são o grupo com mais espécies adaptadas a diversos ambientes, principalmente em razão do sucesso reprodutivo estabelecido com o cuidado parental.

LEITURA COMPLEMENTAR

O controle biológico usado como ferramenta

Em 2004, uma doença chamada *greening* alastrou-se e devastou as principais produções de frutas cítricas do país, promovendo grandes prejuízos para os produtores. Essa doença é causada pelas bactérias *Candidatus liberibacter asiaticus*, que são transmitidas por insetos psilídeos (*Diaphorina citri*), de coloração branca-acinzentada, com manchas escuras nas asas e tamanho entre 2 mm e 3 mm. Esses insetos são bastante comuns na época de germinação das plantas. Plantas afetadas por essa doença não conseguem se reproduzir, e as adultas em produção sofrem queda prematura dos frutos e definham com o tempo, até morrerem.

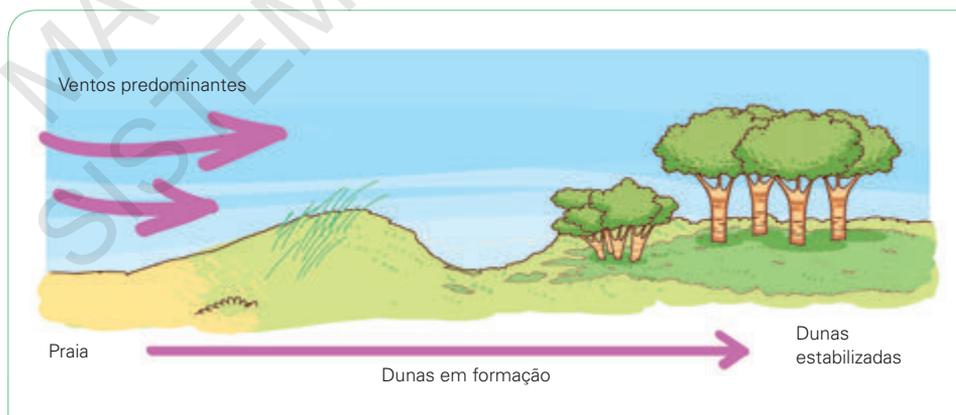
Em 2015, o Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) inaugurou o Laboratório de Controle Biológico e, como produto inicial, desenvolveu uma vespa da espécie

Tamarixia radiata, soltando-a nas citriculturas. Esse inseto é predador específico dos psilídeos, utilizando as ninfas para se reproduzir e, assim, matando-as antes de se tornarem adultas. Segundo a Fundecitrus, cada vespa consegue eliminar até 500 ninfas e, além disso, não há preocupações em desequilibrar o ecossistema, pelo fato de a vespa atingir apenas espécies de psilídeos. Em 2017, foram produzidas mais de 1 milhão de vespas liberadas em 734 propriedades, tanto em São Paulo quanto em Minas Gerais, abrangendo em torno de 4789 hectares.

FUNDO de Defesa da Citricultura (Fundecitrus). Soltura de vespas diminui população de psilídeo onde não há controle químico. Elas são inimigas naturais do inseto transmissor do *greening*. *GI*. 25 set. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/especial-publicitario/fundo-de-defesa-da-citricultura/unidos-contra-o-greening/noticia/soltura-de-vaspas-diminui-populacao-de-psilideo-ou-nao-ha-controle-quimico.ghtml>>. Acesso em: abr. 2019. (Adaptado)

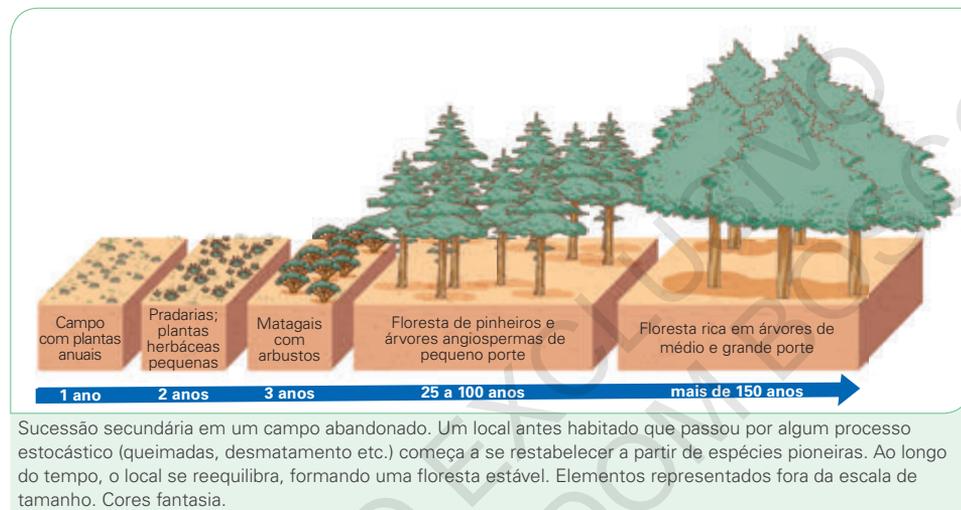
SUCCESSÃO ECOLÓGICA

É uma sequência de alterações nas comunidades ao longo de sua existência decorrente das mudanças no ambiente. As transformações na sucessão ecológica ocorrem em etapas e podem ser classificadas de acordo com seu substrato: **sucessões primária** e **secundária**. Na sucessão primária, inicialmente algumas espécies desencadeiam a ocupação de um ambiente anteriormente desabitado, povoando os substratos locais adversos como superfícies de rochas nuas, dunas e lavas vulcânicas. As espécies da sucessão primária são específicas por estarem sujeitas a condições pouco favoráveis e serem de fácil e rápido desenvolvimento.



Sucessão primária em dunas. Um local inicialmente não habitado passa a apresentar espécies pioneiras, que, ao longo dos anos, poderão transformar o ambiente em uma floresta estável. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Na sucessão secundária, as espécies pioneiras (sucessão primária) já estão instaladas no ambiente, mas, por causa de algumas condições específicas, elas não conseguem se desenvolver. As comunidades previamente estabelecidas deixam o solo rico em nutrientes, por exemplo, proporcionando condições favoráveis para uma nova ocupação por uma diversidade maior de espécies. Esses locais podem ser um terreno dentro da cidade destituído de fauna e flora posteriormente abandonado, ou uma comunidade preservada que tenha sofrido queimadas, ou florestas recém-derrubadas.



ESTÁGIOS DA SUCESSÃO ECOLÓGICA

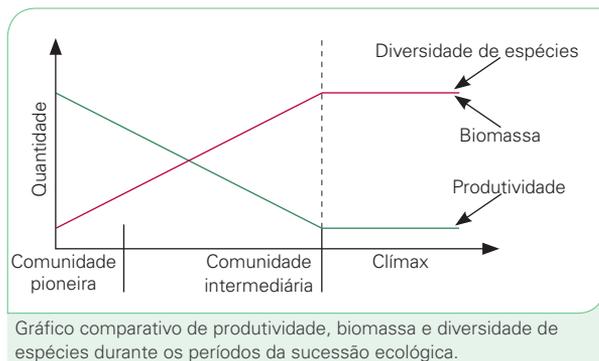
A sucessão ecológica é dividida em três etapas: comunidade pioneira, comunidade intermediária e comunidade clímax.

A **comunidade pioneira** é a primeira comunidade que se instala no ambiente, formada por indivíduos que necessitam de poucos nutrientes para sobreviver, como líquens, musgos, samambaias, gramíneas e capins. Essas espécies têm grande importância, pois enriquecem o solo com nutrientes e umidade, promovendo condições ideais para o estabelecimento de outras populações. Em geral, esse estágio apresenta diversidade de espécies baixa, com predomínio de seres autótrofos que produzem mais do que consomem, com grande produção primária líquida.

A **comunidade intermediária** é constituída de herbáceas e arbustos; sementes dessas plantas são trazidas por aves, pela água ou pelo vento e germinam no ambiente. A produtividade líquida da comunidade intermediária é inferior à da comunidade pioneira. Entretanto, com o tempo, ela atinge desenvolvimento compatível com as condições ambientais do ecossistema a que pertence, tornando-se relativamente estável na etapa seguinte, além de ser mais resistente e proporcionar diversidade na paisagem.

Por fim, a **comunidade clímax** conta com produtividade líquida próxima a zero, de maneira que tudo que é produzido é consumido por ela. Além disso, apresenta maior diversidade de espécies, com organismos mais complexos e bem-adaptados, como animais e plantas de grande porte. A biomassa é maior e constante, uma vez que o consumo realizado pelas próprias plantas e os seres heterótrofos é intenso e há maior quantidade de nichos ecológicos.

Durante as fases de sucessão ecológica, a dinâmica populacional é intensa, com vários processos de migração e taxas variáveis de natalidade e mortalidade. No início, as espécies se alteram rapidamente, mas, ao longo do tempo, a diversidade e a biomassa da comunidade aumentam, as teias alimentares tornam-se cada vez mais complexas e a produtividade primária líquida (PPL) se reduz. O gráfico a seguir mostra esse processo por meio das variações de biomassa, diversidade de espécies e produtividade.



Os ecossistemas aquáticos, como os lagos, também estão sujeitos à sucessão ecológica. Ao longo do tempo, a vegetação submersa começa a se desenvolver e, conseqüentemente, há deposição de matéria orgânica no fundo e nas margens do lago. A vegetação emergente ascende à superfície e encontra condições para se proliferar, o que dificulta a passagem de luz para o fitoplâncton que vive submerso. Esse processo transforma o lago em uma região pantanosa, e a vegetação herbácea é progressivamente sucedida por uma floresta, atingindo, portanto, a comunidade clímax.

DESEQUILÍBRIOS AMBIENTAIS

No final de 2015, a barragem de rejeitos da mineradora Samarco se rompeu, provocando uma enxurrada de lama que invadiu casas e destruiu o distrito de Bento Rodrigues, em Mariana (MG), atingindo o rio Doce. Quatro anos depois, em janeiro de 2019, a tragédia se repetiu. Dessa vez, na cidade de Brumadinho (MG), em que outra barragem, na mina do Feijão, se rompeu, provocando um mar de lama que encobriu toda a região de mineração, incluindo a base administrativa da Vale – multinacional responsável pela Samarco –, atingindo o rio Paraopeba, que desemboca no rio São Francisco. Na última contagem, feita pela Polícia Civil em abril de 2019, o número de mortos identificados em Brumadinho foi de 240 vítimas.

Intervenções ambientais feitas por seres humanos causam cada vez mais perdas irreparáveis aos ecossistemas, contaminando a fauna e a flora nativas por rejeitos de minérios contendo metais pesados. Essas alterações incluem a extinção de diversas espécies endêmicas das regiões afetadas, a destruição do hábitat de diversos seres vivos e a eliminação de ecossistemas inteiros e até de uma grande parte do bioma da região. Além dos danos diretos, há danos indiretos de longo prazo, como a alteração das relações biológicas intrínsecas, em que o desaparecimento ou a diminuição da população de uma espécie influencia no controle populacional de outras. Foi observado, por exemplo, o aumento da incidência de mosquitos nessas regiões mencionadas, uma vez que sapos e outros predadores foram praticamente extintos do ambiente.

A lama que atingiu toda a região secará lentamente, formando uma espécie de cimento que, pela baixa quantidade de matéria orgânica, impede o desenvolvimento de várias espécies.

Os ambientes aquáticos também sofrem com esses crimes ambientais, pois a lama não tem oxigênio suficiente dissolvido, fazendo com que qualquer ser vivo presente no ambiente morra asfixiado. A economia de subsistência das populações ribeirinhas e rurais que usufruem das águas dos rios foi imensamente impactada, pois os cursos de água sofreram assoreamento e alterações em seus caminhos. O ecossistema marinho é também afetado quando a lama chega aos mares, por conta dos rios que desembocam no oceano, de modo que a lama densa pode interferir no deslocamento dos peixes da região, atrapalhar a nidificação das tartarugas, além de contaminar parte da fauna oceânica com os rejeitos da mineração.

Segundo o então presidente da Vale, a fiscalização das barragens havia sido feita de acordo com as normas de segurança. Entretanto, não é a primeira vez que tragédias e crimes ambientais como esses acontecem, levando a população e as autoridades a refletir sobre a importância de medidas preventivas e leis ambientais que são negligenciadas no Brasil.

ALTERAÇÕES ABIÓTICAS

São alterações ambientais ocorridas pela liberação de energia, como a luz, ou de matéria, como gases poluentes, resultando em um desequilíbrio que prejudica o ambiente e os seres vivos.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO) E DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

O CO é liberado a partir da combustão parcial dos combustíveis fósseis de indústrias e automóveis. Esse gás poluente é extremamente tóxico para o ser humano, pois tem grande afinidade com a molécula de hemoglobina e se liga fortemente a ela, de modo que a hemoglobina perde a capacidade de se ligar ao oxigênio, o que pode levar indivíduos a uma asfixia letal. Por isso, é importante ter cuidado com a inalação de CO em locais fechados, como garagens e túneis com automóveis em funcionamento, com aquecedores residenciais a gás e lareiras.

Já o CO₂ é utilizado como matéria-prima na fotossíntese e é liberado naturalmente no ambiente por meio da respiração. A queima de combustíveis fósseis tem aumentado em demasia sua concentração na atmosfera, intensificando o efeito estufa e alterando a temperatura da Terra. As queimadas e as atividades industriais também têm contribuído com o aumento da concentração desse gás.

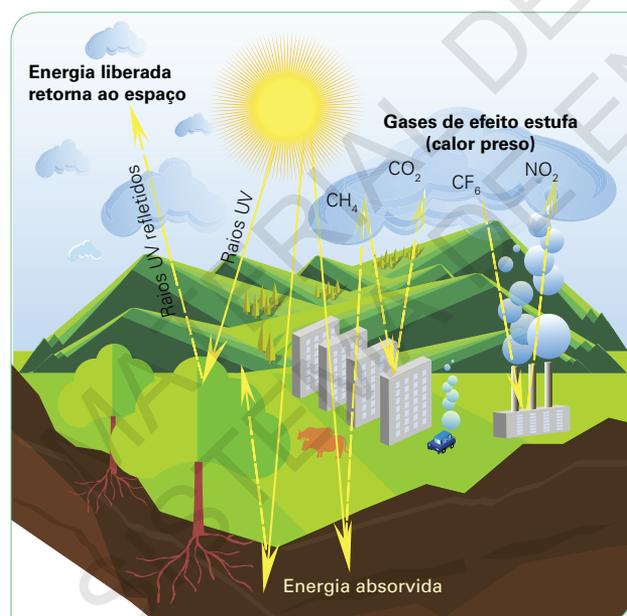
O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera eleva a dissolução desse gás nos oceanos e faz com que haja redução do pH (aumento da acidez) das águas, aumentando a concentração de íons H⁺. A acidificação

dos oceanos afeta o metabolismo de vários organismos marinhos, como moluscos, corais e equinodermos, reduzindo a capacidade deles de formarem estruturas corporais rígidas, o que pode levar à extinção dessas espécies. Os produtores marinhos, como os fitoplânctons, também são afetados, o que compromete toda a cadeia alimentar dos demais organismos do ecossistema.

EFEITO ESTUFA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O CO_2 tem papel essencial no fenômeno conhecido como efeito estufa, que ocorre da seguinte forma: a energia luminosa do Sol, ao atingir a atmosfera terrestre, é refletida, em parte, de volta para o espaço. Uma parcela dessa energia consegue atravessar a atmosfera, sendo absorvida pelo planeta e promovendo o aquecimento da atmosfera terrestre, de modo que a concentração de CO_2 dificulta a saída desse calor e gera uma estufa que mantém a temperatura da Terra. Quando a quantidade desse gás é excessiva, o calor é cada vez mais retido na atmosfera, e isso contribui para o aquecimento da superfície, o que afeta diretamente os ciclos biogeoquímicos e a vida de várias espécies.

Desde a Revolução Industrial, no século XVIII, a utilização de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e o petróleo, promoveu um aumento da concentração de CO_2 na atmosfera. Anualmente, são lançados de 5 bilhões a 6 bilhões de toneladas desse gás, tornando sua concentração cada vez mais elevada e, em consequência, modificando o clima do planeta com desequilíbrios ambientais.



Demonstração do funcionamento do efeito estufa. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

GÁS OZÔNIO (O_3)

A camada de ozônio, conforme discutido em módulos anteriores, situa-se na estratosfera, entre 15 km e 50 km de altitude. Tem como principal função

filtrar as radiações ultravioletas (UV) originadas do Sol. Os átomos livres de oxigênio em altas altitudes reagem com moléculas de O_2 , formando a molécula de ozônio (O_3). Por ser altamente reativa e oxidante, essa reação acontece de maneira espontânea e muito rápida, mas é também bastante instável e se dissocia com facilidade ao entrar em contato com os raios UV. Para que haja dissociação da molécula de ozônio, deve haver absorção de raios UV. Esses fenômenos de formação e dissociação do ozônio na estratosfera conferem uma proteção constante e eficiente para a superfície terrestre.

Ao longo dos anos, tem-se intensificado a redução da camada de ozônio no planeta, em especial na região da Antártica, possibilitando uma maior incidência de raios UV na atmosfera. Essa redução se dá principalmente pela reação do O_3 com compostos que o desestruturam e destroem sua conformação ideal. Em excesso, as radiações podem provocar sérios danos aos seres vivos e aos ecossistemas, como a diminuição da população de fitoplânctons, interferindo em cadeias alimentares inteiras; a perturbação dos ciclos reprodutivos das plantas; a intensificação do efeito estufa; e o aumento da ocorrência de doenças de pele em humanos.

A principal causa da redução da camada de O_3 se deve ao uso excessivo de clorofluorcarbonos (CFCs), que entram em contato com o ozônio e dissociam essa molécula. Os CFCs são produzidos, em sua maioria, na fabricação de plásticos, e antigamente estavam presentes em muitos aerossóis (desodorantes, aromatizadores de ambiente etc.).

CHUVA ÁCIDA E COMPOSTOS NITROGENADOS

O dióxido de enxofre (SO_2) é um dos poluentes atmosféricos formados na queima de combustíveis fósseis, no aquecimento doméstico e na geração de energia. O carvão mineral, que é um desses combustíveis fósseis, é composto aproximadamente de 3% de enxofre. Além dele, o gás sulfídrico (H_2S), proveniente da decomposição de matéria orgânica, afeta as vias aéreas, quando oxidado a SO_3 (óxido sulfúrico).

O gás carbônico (CO_2), presente naturalmente na atmosfera, reage com a água também presente no ar, gerando o ácido carbônico (H_2CO_3), que possui um pH igual a 5,6. Como essa formação é espontânea, a chuva em equilíbrio com o CO_2 é naturalmente ácida e, por isso, ela tem um excesso de acidez quando seu pH for menor que 5,6.

Esse aumento da acidez na chuva ocorre principalmente quando há um aumento na concentração de óxidos de enxofre e de nitrogênio na atmosfera. O SO_2 reage com o oxigênio e com a água livres na atmosfera e, juntos, formam o ácido sulfúrico (H_2SO_4), bastante corrosivo e constituinte da **chuva ácida**. Ainda, assim como acontece com outros óxidos, o SO_2 , ao reagir com a água, forma também o ácido sulfuroso (H_2SO_3), que da mesma forma acidifica a água.

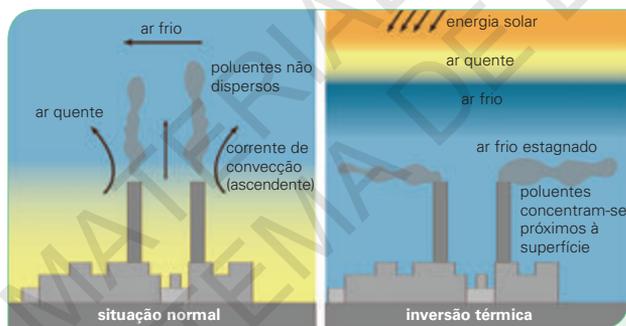
Ao caírem em formato de chuva, acidificam o solo e destroem áreas extensas de vegetação em razão do baixo pH. Além disso, corroem rochas, metais e outros materiais. A acidez elevada pode levar à morte de determinados organismos aquáticos, e esse tipo de poluição pode, inclusive, ser levado pelos ventos para outras regiões do planeta.

Em relação aos compostos nitrogenados, o dióxido de nitrogênio (NO_2) é formado também a partir da combustão de combustíveis fósseis e do uso de fertilizantes na agricultura. É um gás marrom-avermelhado, prejudicial às plantas e aos animais, que participa na formação de ozônio, no aumento do efeito estufa e contribui para a formação da chuva ácida, embora seus produtos não sejam tão corrosivos quando comparados aos compostos de enxofre.

INVERSÃO TÉRMICA

Em geral, a renovação do ar atmosférico é realizada por convecção, de maneira que a radiação solar atravessa a atmosfera, aquecendo a crosta terrestre. O solo aquecido libera calor e aquece o ar, que se expande e sobe para regiões mais elevadas da atmosfera. Isso faz com que camadas mais frias na região superior sejam deslocadas para baixo, originando correntes de convecção que renovam o ar junto ao solo.

No inverno, os raios solares aquecem apenas as camadas superiores da atmosfera, promovendo inversão, ou seja, uma camada de ar quente se sobrepõe à de ar frio, evitando que as correntes de convecção se originem. Isso faz que os poluentes não consigam se dissipar, acumulando-se entre 1 km e 3 km acima da superfície e gerando sérias complicações respiratórias. A esse fenômeno damos o nome de **inversão térmica**.



Esquema de formação de inversão térmica. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

DERRAMAMENTO DE PETRÓLEO

O vazamento do óleo bruto ou de derivados é capaz de alterar cadeias e ecossistemas inteiros, eliminando fitoplânctons, que são organismos muito sensíveis, além de aves e animais marinhos, com um impacto de difícil controle. O óleo, por ser menos denso que a água, permanece na superfície dela e impede a passagem da luz solar, reduzindo a taxa fotossintética. Além de ser tóxico, tem uma consistência que adere à pele e

às penas dos animais, podendo até mesmo fazer com que fiquem presos na superfície.

Um método bastante eficiente para mitigar os impactos do petróleo em ambientes marinhos é a **biorremediação**, que consiste em introduzir algumas espécies de fungos e bactérias que conseguem degradar os componentes do petróleo, utilizando os hidrocarbonetos como fonte de energia.

METAIS PESADOS

Os metais pesados extraídos de garimpos costumam acumular-se nos organismos das cadeias alimentares, promovendo cegueira, má formação nos embriões, ulcerações nas gengivas, perda do tato e distúrbios no sistema nervoso. Indústrias químicas que atuam na produção de fungicidas utilizam, por exemplo, mercúrio, um desses metais. Já a queima da gasolina e as indústrias de cristais e fundição liberam chumbo, que causa saturnismo no ser humano, doença caracterizada por perturbações nervosas, nefrites crônicas, paralisia cerebral e anemia.

A absorção de metais pesados pelo organismo provoca **bioacumulação**, pelo fato de os seres vivos não conseguirem eliminá-los adequadamente. Assim, o mercúrio ingerido por um integrante da cadeia alimentar é passado aos demais níveis tróficos, que também acumulam esse metal. Aos poucos, todos os organismos da cadeia trófica são contaminados, de modo que as complicações e os efeitos gerados afetam todas as populações e seus descendentes. A transferência das substâncias tóxicas de materiais pesados de um nível trófico para outro é chamada **magnificação trófica**.

EUTROFIZAÇÃO

O processo de eutrofização da água se dá pela liberação de esgoto e lixo nos rios e oceanos ou pela deposição de fertilizantes que chegam às águas por lixiviação, poluindo-as. O aumento de compostos nitrogenados e fosfatados nas águas promove a proliferação de cianobactérias e algas, que consomem grande parte do oxigênio dissolvido na água.

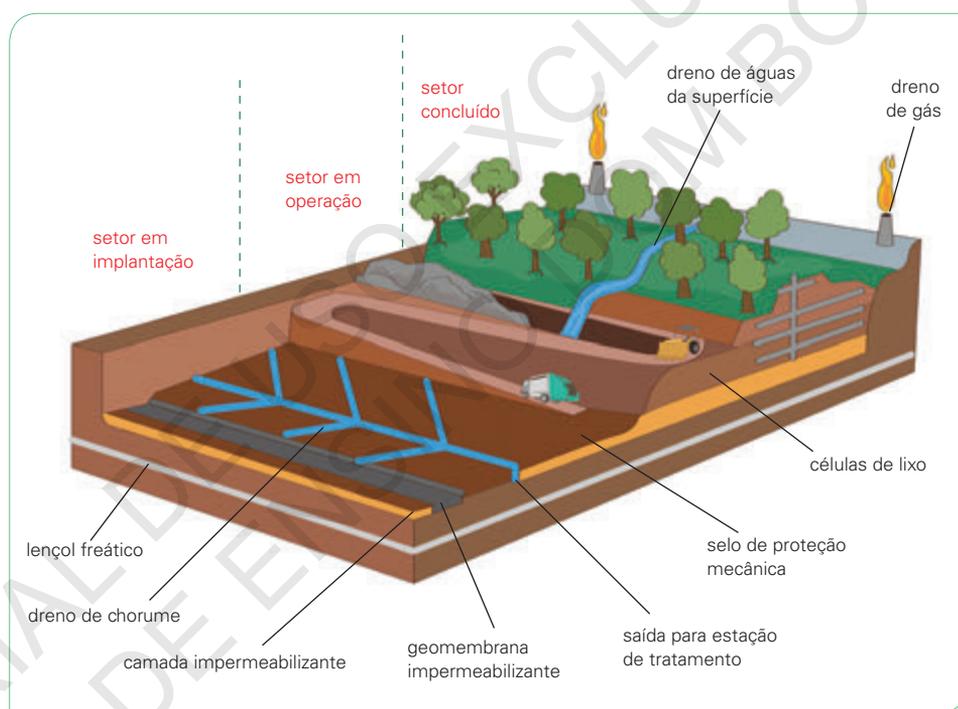
O crescimento descontrolado das populações de algas na superfície da água dificulta a passagem de luz para outras espécies de algas presentes em regiões mais profundas, impossibilitando a realização da fotossíntese. Com isso, a quantidade de oxigênio é reduzida ainda mais, tornando imprópria a qualidade da água, e, por fim, causando a morte dos seres vivos.

RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduo sólido é todo lixo gerado nas cidades, nas regiões rurais e nas áreas industriais. São resíduos que necessitam de tratamento especial, uma vez que processos inadequados promovem contaminação do meio ambiente. Atualmente, os principais destinos para os resíduos sólidos são: lixão, aterro sanitário, incineração, compostagem e reciclagem.

O **lixão** é o depósito de resíduos a céu aberto, sem nenhuma preparação do solo, promovendo infiltração de componentes liberados pela decomposição residual, que levam à contaminação direta. Esse método também produz chorume, líquido resultante de processos de decomposição biológica, física e química, que entra no solo, contaminando o lençol freático. O excesso de lixo gera, ainda, desequilíbrio das populações de insetos e ratos, que são vetores de diversas doenças humanas graves, causando epidemias infecciosas entre os demais seres vivos.

O **aterro sanitário** é um local em que o lixo é isolado do ambiente em camadas sobrepostas e compactas, passando por técnicas de impermeabilização e, assim, promovendo o mínimo de contaminação. O chorume também é produzido nesse caso, mas passa por tratamento. O gás metano liberado pela decomposição do lixo pode ser usado como biogás na geração de energia. Ao final do processo, a proposta é recuperar a área utilizada como aterro. Em 2010, foi instituída uma lei que determinava que somente resíduos para os quais ainda não há viabilidade econômica ou não há tecnologia de tratamento deverão ser destinados aos aterros. Os demais resíduos deverão ser encaminhados para tratamento e reciclagem.



Esquema de formação de chuva ácida. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A **incineração** é o processo utilizado para rejeitos hospitalares, por exemplo, pelo qual o lixo é queimado em câmaras, evitando contaminações. Depois desse processo, as cinzas podem ser empregadas nas indústrias de fertilizantes. Entretanto, esse procedimento libera gases poluentes no ambiente, e, portanto, é imprescindível o uso de filtros nas chaminés para minimizar as emissões.

A **compostagem** é um procedimento mais comum nas áreas rurais e promove a reutilização de compostos orgânicos, como restos de alimento, folhas e frutos, para a produção de fertilizantes de solo.

A **reciclagem** é a forma de reaproveitamento da matéria-prima para a fabricação de novos produtos, como vidros, metais, papéis e plásticos, evitando o acúmulo de resíduos e o consumo de matéria-prima de maneira descontrolada.

ALTERAÇÕES BIÓTICAS

São as alterações ambientais causadas pelas atividades humanas, interferindo ou utilizando-se de seres vivos presentes nos ecossistemas. A introdução de animais exóticos e a extinção de alguma espécie podem causar danos irreversíveis.

INTRODUÇÃO DE ESPÉCIES

Espécies que são introduzidas em ambientes dos quais não fazem parte originalmente são denominadas **exóticas**. Elas apresentam uma boa adaptação natural ao ambiente, proliferam-se com facilidade e tendem a competir com as espécies nativas, exercendo dominância sobre elas. Em alguns casos, esse impacto pode ser imperceptível, mas em outros pode ser catastrófico, modificando profundamente a estrutura do ecossistema e gerando prejuízos econômicos.

São comuns casos de introdução de espécies vegetais exóticas em projetos paisagísticos que não valorizam espécies nativas, que muitas vezes não ficam restritas às áreas do projeto e se proliferam por todo o ambiente.

EXTINÇÃO DE ESPÉCIES

O processo que leva à extinção de uma espécie pode ocorrer naturalmente, associado a eventos estocásticos, como um terremoto ou vulcanismo. Por outro lado, a ação antrópica também leva à extinção de inúmeras espécies, como a caça predatória, a introdução de espécies exóticas, a poluição, a destruição

ou a fragmentação de habitats, as queimadas, além da poluição e da acidificação dos oceanos.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Corresponde ao crescimento econômico que contempla o uso racional dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável apresenta três aspectos principais: recursos não renováveis só podem ser utilizados à medida que possam ser substituídos por outros equivalentes, que sejam renováveis; o consumo de recursos renováveis não deve ultrapassar sua capacidade de renovação; a quantidade de rejeitos produzidos não deve ultrapassar a capacidade de absorção dos ecossistemas. O desenvolvimento sustentável prevê integração entre a economia, a sociedade e o ambiente, isto é, a sociedade deve crescer economicamente tendo como base a inclusão social e a proteção ao meio ambiente, uma vez que os recursos naturais são finitos.

MATERIAL DE USO EDUCATIVO
SISTEMA DE ENSINO DOMÉSTICO

ROTEIRO DE AULA

CONTROLE POPULACIONAL E SUCESSÃO ECOLÓGICA

CONTROLE POPULACIONAL

Principais formas de controle populacional:

predatismo

parasitismo

competição

Quanto maior a população de predadores,

menor

a população de presas

No parasitismo as relações podem ser

endêmicas,

epidêmicas ou

pandêmicas

A competição

reduz

o número de indivíduos das populações

Relaciona o número de sobreviventes em função da idade:

curva de sobrevivência

SUCESSÃO ECOLÓGICA

A sucessão primária ocorre em locais

ainda não habitados.

A sucessão secundária ocorre em locais

que já foram habitados.

Estágios da sucessão

Comunidade pioneira

Comunidade intermediária

Comunidade clímax

A produtividade líquida tende a

zero

até o estágio final

A diversidade de espécies

aumenta

até o estágio final

A biomassa

aumenta

até o estágio final

Sucessão em lagos

A deposição de

matéria orgânica

forma região pantanosa

A vegetação herbácea é substituída por vegetação de floresta, formando a

comunidade clímax

ROTEIRO DE AULA

DESEQUILÍBRIOS AMBIENTAIS

ALTERAÇÕES ABIÓTICAS

Os compostos de carbono estão relacionados aos impactos:

acidificação dos oceanos

efeito estufa

aquecimento global

A redução da camada de O₃ leva à

maior incidência de raios UV na Terra

Os compostos de enxofre e nitrogênio provocam

chuva ácida

No inverno, os poluentes encontram-se próximos da superfície, dando origem à

inversão térmica

O derramamento de petróleo

reduz

a taxa de fotossíntese

Metais pesados são

acumulados

ao longo da cadeia alimentar

A eutrofização faz aumentar o número de

nutrientes

e reduz a concentração de O₂ na água

Destinos para os resíduos sólidos:

lixão, aterro sanitário, incineração, compostagem e reciclagem

ALTERAÇÕES BIÓTICAS

Espécies exóticas

competem

com as espécies nativas

Espécies também são extintas pela

ação antrópica

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Trabalho em conjunto entre:

economia

sociedade

meio ambiente

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. FGV-SP

C8-H28

A comunidade clímax constitui a etapa final de uma sucessão ecológica. Considere-se que a comunidade chegou ao clímax quando

- a) as teias alimentares, menos complexas, são substituídas por cadeias alimentares.
- b) a produção primária bruta é igual ao consumo.**
- c) cessam a competição interespecífica e a competição intraespecífica.
- d) a produção primária líquida é alta.
- e) a biomassa vegetal iguala-se à biomassa dos consumidores.

O processo de sucessão ecológica atinge um clímax quando a produção primária bruta é inteiramente consumida dentro da comunidade. A alternativa A está incorreta porque no clímax as teias alimentares são mais complexas. A alternativa C está incorreta porque, depois de atingir o clímax, as comunidades ainda estão sujeitas a controles populacionais, que podem ser regulados por competição. A alternativa D está incorreta porque a produtividade tende a zero no clímax, até que a produção seja igual ao consumo. A alternativa E está incorreta porque a biomassa aumenta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

2. Acafe-SC (adaptado)

Bioinseticida feito de microrganismos

Depois de 15 anos de pesquisa, uma nova tecnologia para o controle biológico de pragas está pronta para uso comercial. Trata-se de um bioinseticida feito a partir de nematoides, vermes milimétricos que vivem no solo, para uso no combate a insetos e outros organismos que atacam cultivos como os de cana-de-açúcar, plantas ornamentais e eucalipto. O novo inseticida biológico foi desenvolvido pelo engenheiro agrônomo e entomologista Luís Garrigós Leite, da unidade de Campinas do Instituto Biológico, vinculado à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. A comercialização dos nematoides será feita com os vermes envoltos em diatomita, um pó de origem mineral que deixa os vermes úmidos e em estado de latência. Só voltam à atividade quando o produto é diluído em água.

Fonte: g1. globo, 11 out. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/>>. Acesso em: mar. 2019.

Nesse sentido, marque V para as afirmações verdadeiras e F para as falsas.

- Controle biológico é um fenômeno que pode acontecer espontaneamente na natureza e consiste na regulação do número de indivíduos de uma determinada espécie por inimigos naturais ou condições ambientais.
- Os nematódeos são as presas nesse processo.
- O controle biológico é um componente fundamental do equilíbrio da natureza, cuja essência está baseada no mecanismo da densidade recíproca, isto é, com o aumento da densidade populacional da presa ou do hospedeiro poderá aumentar, também,

o número dos predadores ou dos parasitas. Dessa maneira, os inimigos naturais causam um declínio na população predada ou parasitada.

- O controle biológico artificial é quando o homem interfere de modo a proporcionar um aumento de seres predadores, parasitas ou patógenos, podendo esses serem insetos, fungos, vírus, bactérias, nematóides e ácaros.

- a) V – F – V – V**
- b) V – V – F – V
- c) F – F – V – F
- d) F – V – V – F

A segunda afirmação está incorreta, porque os nematódeos parasitarão os insetos, causando sua morte. São, portanto, considerados parasitas.

- 3. Fuvest-SP (adaptado) – Considere dois estágios, X e Y, de um processo de sucessão ecológica. No estágio X, há maior biomassa e maior variedade de nichos ecológicos. No estágio Y, há maior concentração de espécies pioneiras e a comunidade está sujeita a variações mais intensas. Qual dos dois estágios representa uma comunidade clímax? Explique como você chegou a essa conclusão.

O estágio X, pois a comunidade clímax apresenta maior biomassa e grande diversidade de nichos ecológicos, com grande diversidade faunística.

- 4. Unicamp-SP – No decorrer de sua existência, a espécie humana tem sido uma das principais responsáveis pelo desaparecimento de muitos organismos de nosso planeta. Nos tempos mais remotos, a caça indiscriminada de animais mais vulneráveis, como aves não voadoras, era um dos principais motivos de extinção de várias espécies. Atualmente o ser humano continua sendo o principal promotor da perda de biodiversidade. Um conjunto de possíveis causas de extinção de espécies nos tempos atuais é

- a) fragmentação de hábitat, uso de cobaias em pesquisas científicas e caça controlada.
- b) fragmentação de hábitat, introdução de espécies exóticas e poluição.**
- c) poluição, introdução de espécies exóticas e reprodução de espécies em cativeiro.
- d) poluição, reprodução de espécies em cativeiro e credences populares.

A alternativa A está incorreta, pois o uso de cobaias em pesquisas científicas não pode ser considerado fator marcante na extinção de espécies, até mesmo porque são usadas em pequeno número e o processo de reprodução das cobaias é feito de maneira controlada. A caça controlada é regulamentada e tem como objetivo controlar o crescimento desordenado de certas espécies. A alternativa B está correta, pois a fragmentação do habitat (desencadeada, principalmente, pelo crescimento das cidades, pela introdução de espécies exóticas – que com frequência não têm predadores naturais para realizar seu controle populacional – e pela poluição resultante da atividade humana) causa a extinção de organismos. A alternativa C está incorreta, pois a reprodução em cativeiro não resulta em extinção de organismos. A alternativa D também está incorreta, pois credices populares, por si só, não levam à extinção de organismos.

5. Fuvest-SP (adaptado) – A eutrofização marinha por nitratos e fosfatos tem provocado proliferação excessiva de algas, gerando grande mortalidade de peixes. Explique o motivo da grande incidência de mortes dos peixes.

O excesso de matéria orgânica na água favorece a proliferação de mi-

croorganismos aeróbios que utilizam nitratos e fosfatos na alimentação.

O aumento da população desses microrganismos leva a um grande con-

sumo de oxigênio dissolvido na água, o que reduz a concentração nela.

Dessa maneira, essa redução leva à morte dos peixes, que passam a

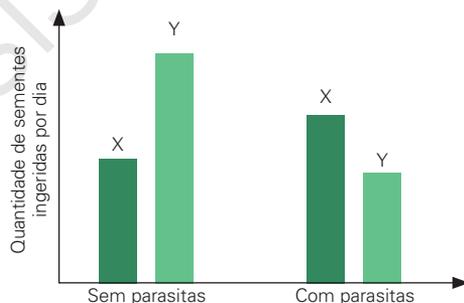
não ter mais oxigênio.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UCS-RS – A sucessão ecológica é o processo de colonização de um ambiente por seres vivos. Com o passar dos anos, os organismos que habitam um determinado local vão sendo substituídos por outros. São exemplos de espécies pioneiras em um processo de sucessão ecológica na superfície de uma rocha

- líquens e briófitas.
- anelídeos e platelmintos.
- angiospermas e gimnospermas.
- pteridófitas e artrópodes.
- nematóides e insetos.

8. Famerp-SP – Indivíduos de duas espécies de roedores (X e Y) competem entre si por sementes de girassol, podendo, além disso, apresentar os mesmos parasitas intestinais. Em um experimento, um pesquisador manteve a mesma quantidade de indivíduos dessas duas espécies no mesmo ambiente, com sementes de girassol como alimento. A análise foi feita com as espécies de roedores parasitadas e, depois de um tratamento, com as mesmas espécies sem os parasitas. O gráfico ilustra o resultado obtido.



6. Mackenzie-SP – O ozônio (O_3) é um gás existente na atmosfera. A respeito dele, considere as seguintes afirmações:

- É um dos responsáveis pela ocorrência de chuva ácida.
- A presença dele em qualquer nível da atmosfera é responsável pelo bloqueio de raios ultravioleta.
- Grandes quantidades desse gás nas camadas mais baixas da atmosfera são responsáveis pelo aumento do risco de câncer.

Assinale

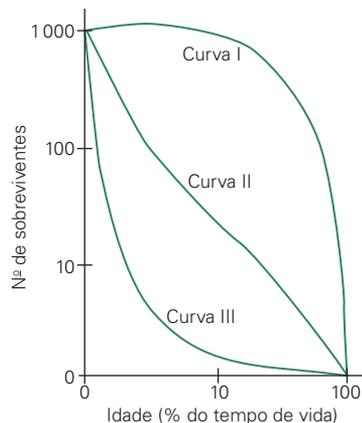
- se somente as afirmações II e III estiverem corretas.
- se somente as afirmações I e II estiverem corretas.
- se somente a afirmação III estiver correta.
- se somente a afirmação II estiver correta.
- se somente as afirmações I e III estiverem corretas.

As alternativas A, B e D estão incorretas, pois, ao contrário do que é afirmado na segunda opção, o ozônio está presente na estratosfera, onde realiza o bloqueio dos raios ultravioletas. As alternativas B e E estão incorretas, pois o ozônio não é responsável pela ocorrência de chuva ácida. Ela é causada principalmente pelo dióxido de enxofre e pelo dióxido de nitrogênio, gases que, ao se juntarem com a água, se transformam em ácido.

Os resultados mostrados no gráfico permitem concluir que

- quando os parasitas estão ausentes, as espécies X e Y não competem entre si.
- quando os parasitas estão ausentes, a espécie X é melhor competidora do que a espécie Y.
- quando os parasitas estão presentes, a espécie X é melhor competidora do que a espécie Y.
- os parasitas não influenciam a competição entre as duas espécies de roedores.
- quando os parasitas estão presentes, a espécie Y é melhor competidora do que a espécie X.

9. UFRGS-RS – A figura a seguir apresenta três padrões hipotéticos de curvas de sobrevivência, frequentemente encontrados na natureza.



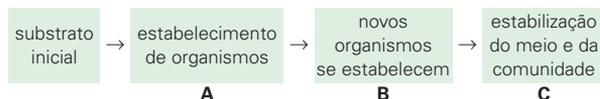
Assinale com V (verdadeiro) ou F (falso) as afirmações a seguir, referentes a essas curvas.

- () A curva I ilustra uma situação na qual a probabilidade de sobrevivência é aproximadamente igual durante a maior parte da vida.
- () A curva II caracteriza organismos com poucos descendentes e muito investimento parental.
- () A curva III é típica de organismos cuja sobrevivência é baixa entre os jovens.
- () A curva III caracteriza organismos com muitos descendentes e nenhum cuidado parental.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V – V – F – F.
- b) F – V – V – V.
- c) V – F – V – V.
- d) F – V – F – F.
- e) F – F – V – V.

10. UDESC – Analise o organograma, que representa algumas fases de uma sucessão ecológica em um determinado bioma.



Em relação à sucessão ecológica, assinale a alternativa correta.

- a) Os organismos pioneiros, geralmente, não alteram as condições originais do local onde se instalam.
- b) Os organismos presentes nas fases A e C fazem parte das chamadas comunidades clímax.
- c) Em B tem-se as chamadas espécies pioneiras, como as plantas arbustivas.
- d) Com o passar do tempo, as complexidades estrutural e funcional do ecossistema tendem a aumentar.
- e) Se o substrato inicial for uma região que já foi anteriormente ocupada por uma comunidade, tem-se a chamada sucessão ecológica primária.

11. IFSul-RS – Krakatau, antes chamada equivocadamente Krakatoa, uma ilha do tamanho de Manhattan, localizada entre Java e Sumatra, desapareceu no fim da manhã de 27 de agosto de 1883. Foi despedaçada por uma série de poderosas erupções vulcânicas. O centro de Krakatau fora substituído por uma cratera submarina de 7 km de comprimento e 270 m de profundidade. Somente um resquício da extremidade sul ainda estava acima do nível d'água, coberto por uma camada de pedra-pomes de 40 m ou mais de espessura e com uma temperatura de 300 °C a 850 °C, suficiente para derreter chumbo. Todo e qualquer sinal de vida havia, é claro, sido extinto.

O texto anterior serve como exemplo para discutir um assunto muito importante nos estudos de ecologia: o processo de sucessão ecológica, ou seja, como a vida se reorganiza em ecossistemas perturbados pela ação antrópica ou por causas naturais. A partir do texto e de outros conhecimentos sobre o assunto, pode-se dizer que

- a) nesses casos, conforme descrito no texto, a sucessão ecológica é inicialmente mais lenta, tanto pelo fato de estar longe de fontes de propágulo quanto por se tratar de uma sucessão primária.
- b) a diversidade de espécies tende a diminuir à medida que o processo de sucessão vai ocorrendo, pois

nesses casos certas populações tendem a dominar o ambiente degradado.

- c) na sucessão secundária as espécies ditas pioneiras são normalmente de grande porte, e a energia produzida é totalmente gasta para manter os processos respiratórios.
- d) o estágio clímax de uma sucessão ecológica somente poderá ser atingido em áreas em que ocorre sucessão secundária, mas em áreas de sucessão primária isso não é possível.

12. UEL-PR – Em grandes cidades, o despejo de esgoto doméstico sem tratamento adequado tem provocado um processo de eutrofização nos lagos e rios próximos à zona urbana. Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, o evento que explica a mortalidade de organismos no ambiente aquático decorrente do lançamento de uma quantidade excessiva de matéria orgânica.

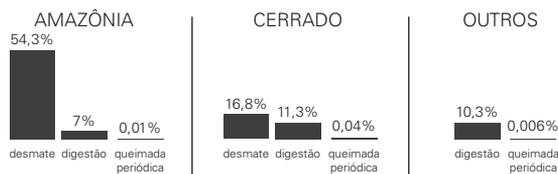
- a) Aumento da quantidade de bactérias anaeróbicas, diminuindo a concentração do oxigênio e dos sais dissolvidos na água.
- b) Diminuição da concentração de fosfatos para a atividade fotossintetizante das bactérias autótrofas.
- c) Diminuição dos peixes herbívoros, que se alimentam da matéria orgânica decorrente da proliferação de bactérias anaeróbicas.
- d) Proliferação de bactérias aeróbicas, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido na água.
- e) Proliferação de organismos autótrofos, que promovem uma competição intraespecífica por matéria orgânica.

13. UFSM-RS

O consumo mundial de carne vem aumentando, o que traz impactos não só à saúde, como ao meio ambiente. Pelo menos metade das emissões brasileiras de gases do efeito estufa é causada pela pecuária bovina, indica um estudo interdisciplinar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). A maior parte do problema se deve ao desmatamento para abrir pastagens na Amazônia e no Cerrado, afirma o trabalho, mas a fermentação entérica do gado e as queimadas nas áreas de pastagem dão uma dimensão maior ao problema. O plano de corte de emissões do Brasil, porém, não tem uma abordagem específica para cuidar dos bois.

Folha de S. Paulo, 11 dez. 2009. (Adaptado)

Emissões da pecuária brasileira em milhões de toneladas do CO₂ equivalente, em 2008, por bioma



Fonte: Folha de S. Paulo, 11/12/2009. (adaptado)

Considerando essas informações, analise as afirmativas:

- I. O desmatamento e posterior queimada devolvem à atmosfera o carbono retido nas plantas, emitindo monóxido e dióxido de carbono, gases de efeito estufa.
- II. O desmatamento do Cerrado contribui pouco com a emissão de gases de efeito estufa no Brasil.

III. Uma forma de diminuir a emissão de metano é transferir todo o rebanho da Amazônia e do Cerrado para outros biomas.

IV. A fermentação do alimento no trato digestório do gado gera o gás metano, um poderoso gás de efeito estufa.

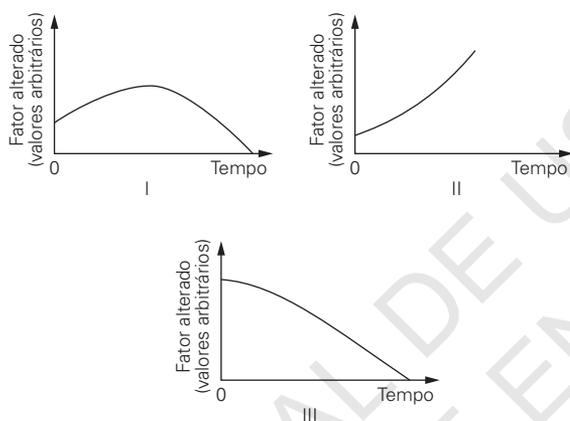
Estão corretas

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

14. UNESP

A forma comum, e talvez a mais antiga, de poluir as águas é pelo lançamento de dejetos humanos e de animais domésticos em rios, lagos e mares. Por serem constituídos de matéria orgânica, esses dejetos aumentam a quantidade de nutrientes disponíveis no ambiente aquático, fenômeno denominado eutrofização (do grego *eu*, bem, bom, e *trofos*, nutrição).

AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. *Biologia das populações*, vol. 3, 2004. (Adaptado)



A partir das informações fornecidas, considere um lago que esteja em processo de eutrofização. O teor de oxigênio na água, a concentração de microrganismos aeróbicos, a mortalidade dos peixes e a concentração de microrganismos anaeróbicos podem ser representados, respectivamente, pelos gráficos

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

15. UFRGS-RS – Em relação à produção e ao uso de fertilizantes sintéticos em lavouras, considere as seguintes afirmações.

- I. O fosfato de amônia é um ingrediente básico de fertilizantes, sendo o fósforo obtido principalmente a partir de rochas de fosfato de cálcio.
- II. A água da chuva carrega fertilizantes para os cursos de água, provocando o aumento do volume de nutrientes e da população de plantas e de organismos que deles se alimentam, como os moluscos.

III. O uso excessivo de fertilizantes para a produção de biocombustíveis pode mais contribuir para o aquecimento global do que trazer benefício pela economia de combustíveis fósseis.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

16. UNESP (adaptado) – Em 2008, a revista *Veja* publicou uma edição especial sobre a Amazônia, e dizia que realizar o reflorestamento com árvores exóticas, como o eucalipto, poderia gerar um retorno econômico, além de ser uma técnica bastante viável. Com base nessas informações e em seus conhecimentos, explique se isso de fato é algo viável, em se tratando da Floresta Amazônica.

17. IFBA – O rompimento da barragem da mineradora Samarco é considerado um dos maiores desastres ambientais já registrados. Foram 600 km de lama e rejeitos, percorrendo desde a Barragem do Fundão até o oceano Atlântico. Tal cenário de destruição contribuiu para a mortalidade de peixes, tornando-os impróprios para o consumo, inviabilizando a atividade pesqueira da região.

Dentre as causas que contribuem para a mortalidade dos peixes, o processo que explica o ocorrido no rio Doce é:

- a) O fenômeno da eutrofização por meio do enriquecimento das águas do rio por matéria orgânica decorrente do deslizamento, que foi consumida posteriormente por decompositores aeróbicos, levando à anóxia do corpo d'água.
- b) A lixiviação, que representa a remoção dos nutrientes superficiais de maneira intensa em razão do volume do deslizamento gerado.
- c) A oxidação de componentes minerais presentes nos rejeitos, que reduziu o volume de gás oxigênio para os organismos vivos existentes no rio.
- d) A bioacumulação por metais pesados presentes na água, pois o acúmulo de tais metais se relaciona diretamente com a redução do oxigênio.
- e) A maré vermelha decorrente do aumento populacional das algas em razão do volume de nutrientes trazidos pelo deslizamento.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem (adaptado)

C5-H19

A microvespa *Trichogramma* sp. coloca seus ovos junto aos ovos de outros insetos, para que sirvam de alimento à sua prole quando nascerem. Existem algumas espécies de borboletas que se alimentam das folhas do algodoeiro. Se adicionarmos a microvespa aos ovos das borboletas, será possível reduzir a densidade desta, de maneira que a cultura de algodão não sofra prejuízos.

A técnica de controle biológico realizado pela espécie de microvespa consiste em

- a) introduzir um parasita no ambiente da espécie predadora de algodoeiros.
- b) introduzir um gene letal nos ovos das borboletas, para reduzir a população.
- c) promover competição entre a microvespa e a borboleta na obtenção de recursos.
- d) alterar o hábitat das espécies e, assim, selecionar os melhor adaptados.
- e) aplicar inseticidas no algodoeiro, reduzindo a população da espécie predadora.

19. Enem

C3-H10

Estranha neve: espuma, espuma apenas que o vento espalha, bolha em baile no ar, vinda do Tietê alvoroçado ao abrir de comportas, espuma de dodecilbenzeno irreduzível, emergindo das águas profanadas do rio bandeirante, hoje rio despejo de mil imundícies do progresso.

ANDRADE. C. D. *Poesia e prosa*. Rio de Janeiro: Nova Aguilar, 1992. (Fragmento)

Nesse poema, o autor faz referência à

- a) disseminação de doenças nas áreas atingidas por inundações.
- b) contaminação do lençol freático pela eliminação de lixo nos rios.

- c) ocorrência de enchente causada pela impermeabilização dos solos.
- d) presença de detergentes sintéticos como agentes poluentes de águas.
- e) destruição de fauna e flora pela contaminação de bacias hidrográficas.

20. Enem

C3-H10

Apesar de belos e impressionantes, corais exóticos encontrados na Ilha Grande podem ser uma ameaça ao equilíbrio dos ecossistemas do litoral do Rio de Janeiro. Originários do oceano Pacífico, esses organismos foram trazidos por plataformas de petróleo e outras embarcações, provavelmente na década de 1980, e disputam com as espécies nativas elementos primordiais para a sobrevivência, como espaço e alimento. Organismos invasores são a segunda maior causa de perda de biodiversidade, superados somente pela destruição direta de hábitat pela ação do homem. As populações de espécies invasoras crescem indefinidamente e ocupam o espaço de organismos nativos.

LEVY, I. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br>>. Acesso em: 5 dez. 2011. (Adaptado)

As populações de espécies invasoras crescem bastante por terem a vantagem de

- a) não apresentarem genes deletérios em seu pool gênico.
- b) não possuírem parasitas e predadores naturais presentes no ambiente exótico.
- c) apresentarem características genéticas para se adaptarem a qualquer clima ou condição ambiental.
- d) apresentarem capacidade de consumir toda a variedade de alimentos disponibilizados no ambiente exótico.
- e) apresentarem características fisiológicas que lhes conferem maior tamanho corporal que o das espécies nativas.



GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO BOSCO

BIOLOGIA 2

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



- Poríferos
- Cnidários
- Platelminhos
- Nematódeos

HABILIDADES

- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa e relações com o ambiente.
- Reconhecer características que possibilitam a inclusão de poríferos e cnidários no reino Animalia.
- Comparar as características dos organismos que constituem os dois filos, relacionando aspectos morfológicos e fisiológicos.
- Caracterizar os grupos de platelmintos e nematódeos quanto à sua morfologia e fisiologia.
- Comparar características entre platelmintos e nematódeos.
- Conhecer as principais verminoses e parasitoses causadas por platelmintos e nematódeos.

PORÍFEROS, CNIDÁRIOS, PLATELMINTOS E NEMATÓDEOS

Os animais são organismos eucariotos, multicelulares e heterotróficos. A novidade evolutiva compartilhada por todos eles é a blástula, estágio do desenvolvimento embrionário que consiste em um conjunto de células organizadas em torno de uma cavidade preenchida por fluido, com formato de uma bola.

Evidências bioquímicas fósseis e estudos de datação genética indicam que os poríferos foram os primeiros animais surgidos, há cerca de 750 milhões de anos, provavelmente derivados de ancestrais similares aos coanoflagelados coloniais. As células flageladas dos poríferos (coanócitos) são uma forte evidência desse parentesco.

Atualmente são conhecidas cerca de 1 200 000 espécies de animais, que são classificadas em aproximadamente 35 filos. Contudo, a estimativa dos especialistas é que existam entre 20 milhões e 30 milhões de espécies animais na Terra, o que significa que a maior parte da biodiversidade animal ainda é desconhecida pela ciência.

Uma vez que as mudanças ambientais promovidas pela humanidade — poluição, destruição e redução dos ecossistemas e mudanças climáticas — têm se intensificado nas últimas décadas, cientistas preveem que grande parte da biodiversidade planetária deverá ser extinta antes mesmo de ser conhecida.

Entre os organismos mais ameaçados de extinção do planeta, estão os corais, organismos pertencentes ao filo dos cnidários, que, com as esponjas, estão entre os primeiros grupos a surgir ao longo da evolução dos animais. Para se ter uma ideia de sua diversidade, embora ocupem menos de 1% do leito marinho, estima-se que os corais forneçam habitat para cerca de um milhão de espécies, incluindo 25% dos peixes do mundo. Isso significa que uma em cada quatro espécies marinhas vive nos recifes de corais.

PORÍFEROS

Também conhecidos por esponjas, formam o filo Porifera (do latim *porus*, poro; e *fera*, portador de). Entre as cerca de 9 mil espécies de esponjas atualmente conhecidas, existem representantes com diversos formatos e tamanhos que variam de 1 mm a 2 m de diâmetro e podem apresentar coloração bastante variada (cinza, pardo, vermelho, alaranjado e azul).

SERGEUWPHOTO/ISTOCK



Esponja (leuconoide) gigante em forma de barril. Parque Nacional da Indonésia.



JOLANTA WOJCIČKA



RATTIYA THONGDUMHYU



JOLANTA WOJCIČKA

Diversidade de coloração observada entre algumas esponjas.

Vivem isoladas, mas também há espécies que formam colônias com grande número de indivíduos. Quase todas são marinhas e possuem ampla distribuição geográfica. Existem somente duas famílias de água doce, com pouco mais de 100 espécies vivendo nesse hábitat. Algumas espécies de poríferos ficaram muito conhecidas na Antiguidade pelo uso econômico, como as esponjas de banho, com seus delicados esqueletos. Assim, o termo **esponja** passou a ser aplicado informalmente para todos os poríferos, embora nem todas as espécies possuam esqueletos flexíveis e delicados.

Entre os Metazoa ou reino Animalia, os poríferos são os únicos animais multicelulares que não apresentam tecidos verdadeiros, portanto órgãos e sistemas estão ausentes.

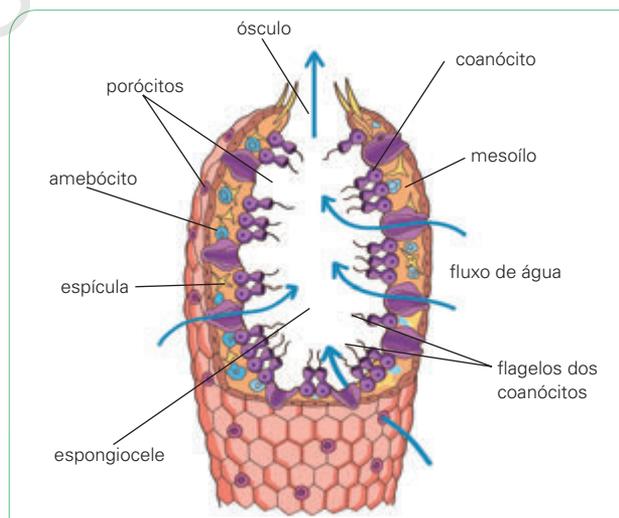
Os principais meios de defesa das esponjas contra predadores são o mecânico (espículas) e o químico (biotoxinas). Algumas espécies produzem substâncias químicas que são usadas tanto na defesa contra predação quanto na competição por espaço. Muitas espécies são estudadas na área farmacológica por produzirem substâncias com atividade anti-inflamatória, anticancerígena e antimicrobiana, como a esponja *Cryptotethya crypta*, que fabrica um composto usado como princípio ativo no combate ao vírus da herpes humana.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os poríferos vivem sempre fixos a um substrato (formas sésseis). A maioria das esponjas tem o corpo em forma de um pequeno barril ou tubo, cheio de furros. Através de inúmeros **poros** (ou **óstios**) na parede externa do corpo, a água entra no organismo, que é organizado ao redor de um sistema interno de fluxo de água, o que assegura a obtenção de alimento e oxigênio.

A maioria das espécies é assimétrica, mas algumas podem ter simetria radial. O corpo de uma esponja consiste em duas camadas de células separadas por uma matriz gelatinosa chamada de **mesoilo**. Uma vez que ambas as camadas de células estão em contato com a água, os processos como a troca gasosa e a remoção de resíduos podem ocorrer por difusão simples através das membranas dessas células. A água é drenada pelos poros em uma cavidade central, e então flui para fora da esponja por meio de uma grande abertura no ápice do animal chamada de **óstulo**. As esponjas mais complexas têm paredes do corpo pregueadas, e muitas têm canais de água ramificados e vários óstulos.

A parede externa do corpo das esponjas é formada por uma camada de células achatadas e bem unidas entre si chamadas **pinacócitos**. Os inúmeros poros na parede do corpo consistem em um tipo especial de célula chamada **porócito**, com a forma de um tubo perfurado, que se estende do exterior até uma cavidade interna do corpo chamada **átrio** ou **espongiocela**. A espongiocela é revestida por



Estrutura típica de uma esponja asconóide com as principais células dos poríferos. As setas azuis indicam o caminho do fluxo de água. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 684. (Adaptado)

uma camada de células flageladas, os **coanócitos**, que forma a parede interna do corpo. Os coanócitos são os responsáveis pela circulação e pelo fluxo de água e pela obtenção de alimento.

No mesoílo são encontradas células chamadas **amebócitos** e os **elementos de sustentação** esquelética das esponjas. Os amebócitos são células ameboides totipotentes capazes de originar todos os outros tipos de células das esponjas.

Os elementos de sustentação são formados por **espículas** e/ou fibras proteicas. As espículas são estruturas minerais microscópicas de formato variado constituídas por sílica ou por carbonato de cálcio (calcárias) e produzidas pelos **escleroblastos**. As fibras proteicas são compostas de uma proteína similar ao colágeno, a **espongina**, que é secretada pelos **espongioblastos**. Escleroblastos e espongioblastos são células originadas da diferenciação de amebócitos.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
DC / LATINSTOCK

Espículas de sílica observada em eletromicrografia de varredura. Cores fantasia.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
DC / LATINSTOCK

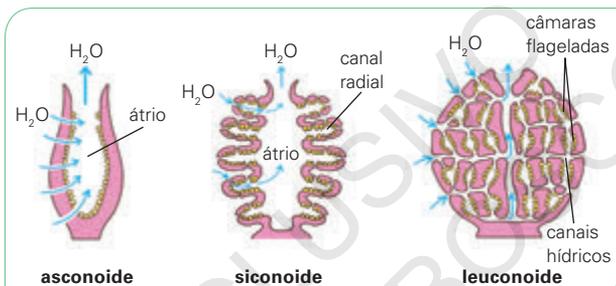
Algumas esponjas não possuem espículas como elementos esqueléticos, mas apenas uma rede de espongina espalhada por todo o mesoílo. Há esponjas que possuem tanto espículas quanto fibras de espongina constituindo o material de sustentação de seu corpo.

TIPOS MORFOLÓGICOS E CLASSIFICAÇÃO

São encontrados três tipos básicos de organização morfológica entre as esponjas: **áscon** ou **asconoide**, **sícon** ou **siconoide**, e **lêucon** ou **leuconoide**.

- **Asconoide**: possui estrutura corporal mais simples e é similar a um vaso ou tubo. O volume de sua cavidade, a espongiocela, é maior em relação à área revestida por coanócitos, o que reduz a velocidade do fluxo de água pela esponja. São espécies com tamanho de alguns poucos centímetros.
- **Siconoide**: a parede do corpo apresenta “dobramentos” que formam vários tubos radiais, cada um com um canal radial revestido internamente por coanócitos. A área recoberta pelos coanócitos é maior em relação ao volume da espongiocela, o que torna o fluxo de água mais rápido em relação às esponjas asconoides.
- **Leuconoides**: são as formas mais complexas. A parede do corpo apresenta um padrão de dobramentos que formam câmaras internas revestidas

por coanócitos (câmaras flageladas) que são interconectadas por canais hídricos. Nas esponjas leuconoides, a espongiocela está reduzida ao canal hídrico. Esse padrão corporal proporciona um fluxo mais rápido e mais eficiente na circulação interna de água, o que permite que as esponjas leuconoides alcancem tamanhos bem maiores que as asconoides e siconoides. A grande maioria das esponjas tem a forma leuconoide.



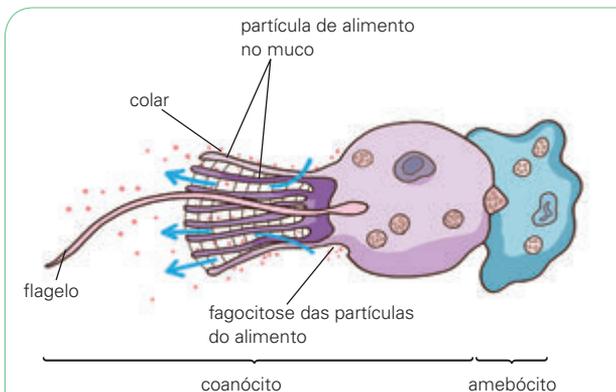
Padrões morfológicos dos poríferos. As setas azuis indicam o caminho do fluxo de água pela esponja. Os coanócitos estão representados em amarelo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio. 2*. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 189. v. 3.

FISIOLOGIA

As esponjas dependem fundamentalmente do fluxo de água que passa por seu corpo para obter partículas alimentares e oxigênio e eliminar excretas e gás carbônico, por isso são consideradas **organismos filtradores** e possuem **digestão intracelular**.

Por meio do fluxo de água criado pelo batimento dos flagelos, os coanócitos realizam a filtração das partículas que ficam retidas no muco produzido pelo colar (expansão da membrana celular em torno do flagelo) e são ingeridas por fagocitose. A digestão é intracelular e se dá dos coanócitos para os amebócitos, que se deslocam pelo mesoílo e realizam a distribuição de nutrientes e outras substâncias para as outras células por **difusão simples**.



Detalhe da morfologia do coanócito e do amebócito. Digestão intracelular das esponjas ocorre, parcialmente, no coanócito. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 684. (Adaptado)

As trocas gasosas — obtenção de O_2 e eliminação de CO_2 — e a eliminação de resíduos metabólicos também ocorrem por difusão simples. O papel do sistema circulatório é parcialmente executado pela cavidade interna e também pelos amebócitos, que se deslocam pelo mesoólio, auxiliando na distribuição de nutrientes e outras substâncias.

Os poríferos não possuem sistema nervoso, de modo que um estímulo não é transmitido para outras partes do corpo. No entanto, um estímulo pode promover uma **resposta local**, como o fechamento do ósculo.

REPRODUÇÃO

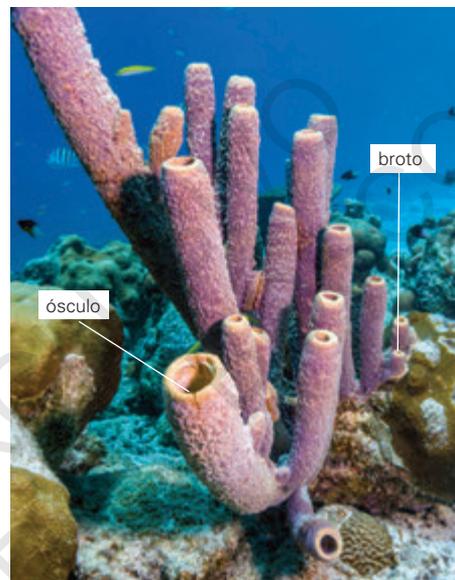
Entre as esponjas, ocorrem reproduções assexuada e sexuada.

Reprodução assexuada

A maioria das esponjas realiza reprodução assexuada por **brotamento**, em que expansões na parede do corpo formam brotos que crescem e, posteriormente, desprendem-se do corpo da esponja parental, originando um novo indivíduo. Em espécies coloniais, o novo indivíduo formado permanece ligado ao corpo da esponja parental.

Algumas espécies de água doce se reproduzem assexuadamente por meio das **gêmulas**, estruturas resistentes produzidas durante condições ambientais desfavoráveis, como períodos de seca ou frio extremos. Com a morte, o corpo da esponja degenera-se, liberando as gêmulas, no interior das quais há vários amebócitos, que se mantêm em baixa atividade metabólica, até que as condições ambientais voltem a ficar favoráveis. Quando isso ocorre, os amebócitos retomam à sua atividade metabólica, diferenciando-se em outros tipos de células e dando origem a novas esponjas.

As esponjas apresentam elevada capacidade de regeneração, podendo formar uma nova esponja a partir de um pequeno pedaço do corpo de um indivíduo. Essa grande capacidade de regeneração deve-se às suas células totipotentes, os amebócitos.

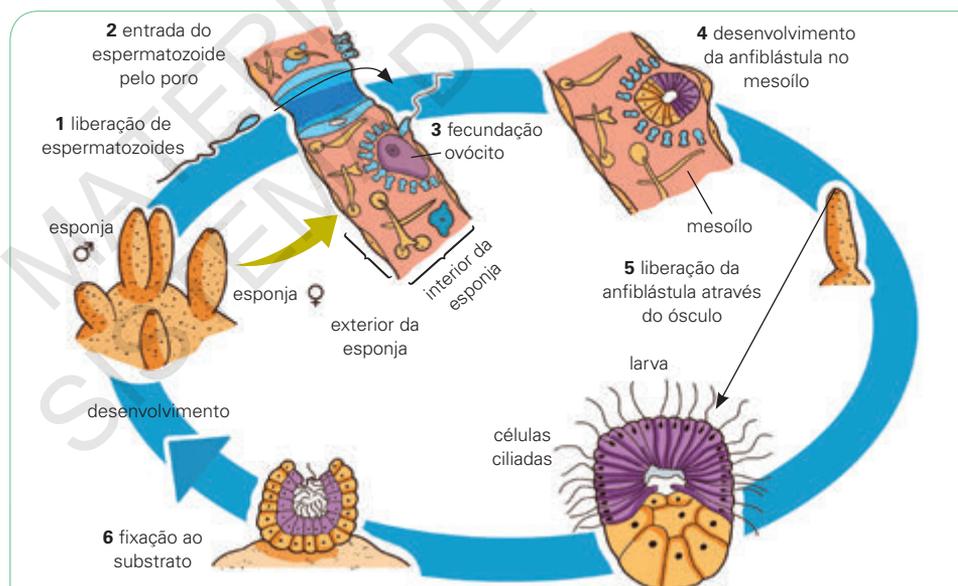


Esponja tubular, em que se veem novos indivíduos formados por brotamento.

JOHNANDERSONPHOTO/ISTOCK

Reprodução sexuada

A maioria das espécies é monoica ou hermafrodita, embora também existam espécies dioicas. Enquanto os espermatozoides são liberados na água, deixando a esponja parental pelo fluxo de água que sai pelo ósculo, os ovócitos geralmente permanecem no mesoólio da esponja em que foram produzidos, local onde ocorrem a fecundação e o desenvolvimento do zigoto. Após a blástula, é formada uma larva livre-natante (anfibrástula), que deixa o indivíduo parental, fixa-se a um substrato e origina uma esponja adulta. Assim, a reprodução sexuada da maioria das esponjas ocorre pela **fecundação interna**, com **desenvolvimento indireto**.



Representação esquemática da reprodução sexuada em poríferos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 205. v. 2.

CNIDÁRIOS

Os cnidários, anteriormente chamados de celenterados, são os primeiros animais a possuir uma cavidade com função digestiva, por isso são denominados **enterozoários** (*enteron* = intestino; *zoo* = animal). A palavra **cnidário** vem do grego *knide*, que significa urtiga, e está associada a uma substância urticante presente em uma célula exclusiva desse grupo, os **cnidócitos**.

Estudos moleculares sugerem que os cnidários surgiram há cerca de 680 milhões de anos. Atualmente, são conhecidas aproximadamente 10 mil espécies. Entre as novidades evolutivas dos poríferos, estão o surgimento de **tecidos (animais diblásticos)**, um tubo ou **cavidade digestória** (incompleta) e **sistema nervoso**.



GILMANSHIN

Forma livre-natante (medusa), *Aurelia aurita*.

A grande maioria das espécies vive em ambiente marinho, mas existem alguns poucos representantes de água doce. Há duas formas corporais básicas entre os cnidários, a **medusa** (livre-natante) e o **pólipo** (fixas ou sedentárias).

As medusas estão entre os cnidários mais conhecidos. São popularmente chamadas de água-viva (*Aurelia aurita*), sendo responsáveis por numerosos casos de queimaduras em banhistas em todo o mundo. Seu corpo contém mais de 95% de água, o que explica o nome popular.

Muitos cnidários formam colônias gigantes, a exemplo dos corais, formadas por grande quantidade de animais fixos, que crescem e se desenvolvem uns sobre os outros. Nos recifes há vasta diversidade de vida marinha. As algas crescem sobre eles e também podem viver em endossimbiose com os corais, sendo protegidas, desse modo, de ataque de predadores e fornecendo parte da nutrição que os corais precisam por meio da fotossíntese. As mudanças climáticas e a poluição dos oceanos estão levando ao branqueamento de corais por todo o globo, fenômeno resultante da perda das algas endossimbiontes e que tem como consequência a morte das colônias de corais.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A medusa e o pólipo representam diferentes formas de cnidários quanto à sua morfologia externa básica. No entanto, ambas as formas possuem a mesma organização corporal interna. Os cnidários têm um plano corporal de **simetria radial**, o que significa que as partes do corpo estão dispostas ao redor de um eixo central, como os raios da roda de uma bicicleta.

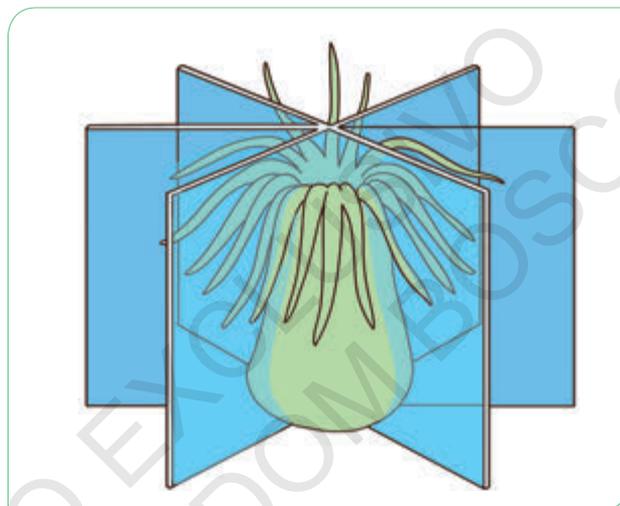


Ilustração da simetria radial da anêmona-do-mar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os pólipos, em geral, são fixos (sésseis) ou sedentários. O corpo cilíndrico do pólipo tem uma extremidade superior livre onde fica a boca (rodeada pelos tentáculos), e a extremidade oposta fica em contato com o substrato ou fixa a ele. As medusas têm o corpo mole e gelatinoso com a forma de guarda-chuva (*umbrela*), ou de sino, com a boca e os tentáculos voltados para baixo, em direção ao substrato.

Estruturas do corpo

A parede do corpo dos cnidários constitui-se de **epiderme** (camada externa) e **gastroderme** (camada interna). Entre as duas camadas fica a **mesogleia** — camada gelatinosa onde as células nervosas formam o **sistema nervoso difuso** (não centralizado), não havendo áreas de concentração de neurônios. Na epiderme e na gastroderme estão presentes células epiteliomusculares, ou seja, células contráteis.

O corpo dos cnidários contém a cavidade gastrovascular (ou celêntero), onde o alimento é parcialmente digerido por enzimas digestivas secretadas pelas células da gastroderme. Assim, o processo de digestão inicia-se extracelularmente e se completa no interior das células da gastroderme (**digestão extracelular e intracelular**). A cavidade gastrovascular comunica-se com o exterior por meio de um único orifício, a boca (**enterozoários incompletos**), que também é usada para a eliminação dos resíduos alimentares. Os sistemas respiratório, circulatório e excretório estão ausentes nos cnidários.

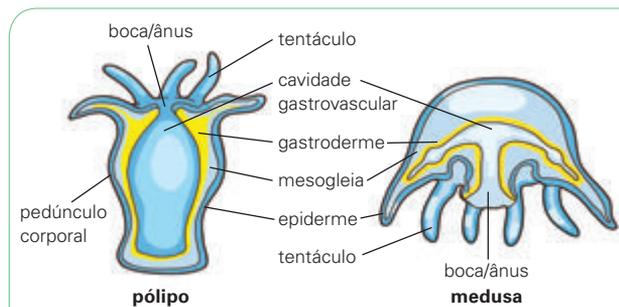
Ao redor da boca, os cnidários possuem tentáculos, que são expansões corporais utilizadas na captura dos alimentos e para levar o alimento até a boca. Na epiderme dos tentáculos, há um grande número de cnidócitos.

Locomoção

Medusas locomovem-se por contração do corpo e expulsão de jatos de água (jato-propulsão). Apesar de a maioria dos pólipos ser fixa, algumas formas polipoídes podem soltar-se do substrato e “nadar”, deslizando sobre o substrato por meio de contrações para frente e para trás do corpo, como as anêmonas-do-mar, ou realizando movimentos similares a “cambalhotas”, como as hidras.

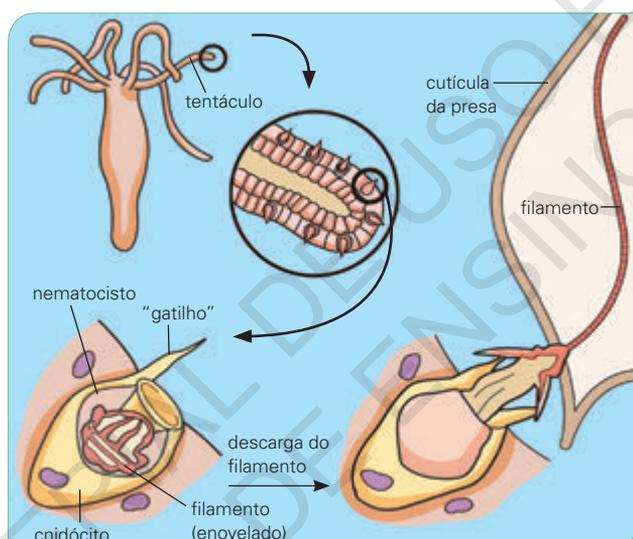
Estrutura de defesa

No interior dos cnidócitos, há uma estrutura chamada nematocisto, uma cápsula que contém um filamento enrolado. Uma vez que o cnidócilio, pequeno esporão localizado na superfície do **nematocisto**, é ativado por contato, o filamento dentro da cápsula é projetado para fora com um arpão. Junto do filamento há uma substância tóxica que imobiliza a presa ou afugenta o predador. A maior parte dos cnidócitos está concentrada na epiderme em torno dos tentáculos.



Cnidários com forma de pólipo e medusa. A parede do corpo de um cnidário é formada por uma camada externa de epiderme (azul-escuro) e uma camada interna de gastroderme (amarelo). Entre a epiderme e a gastroderme há uma camada gelatinosa, a mesogleia. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*, 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 685.



Esquema representando a estrutura dos cnidócitos presentes na epiderme dos tentáculos dos cnidários. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*, 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 686.

CLASSIFICAÇÃO

Atualmente são reconhecidas cinco classes de cnidários: hidrozoários, cifozoários, antozoários, cubozoários e estaurozoários.

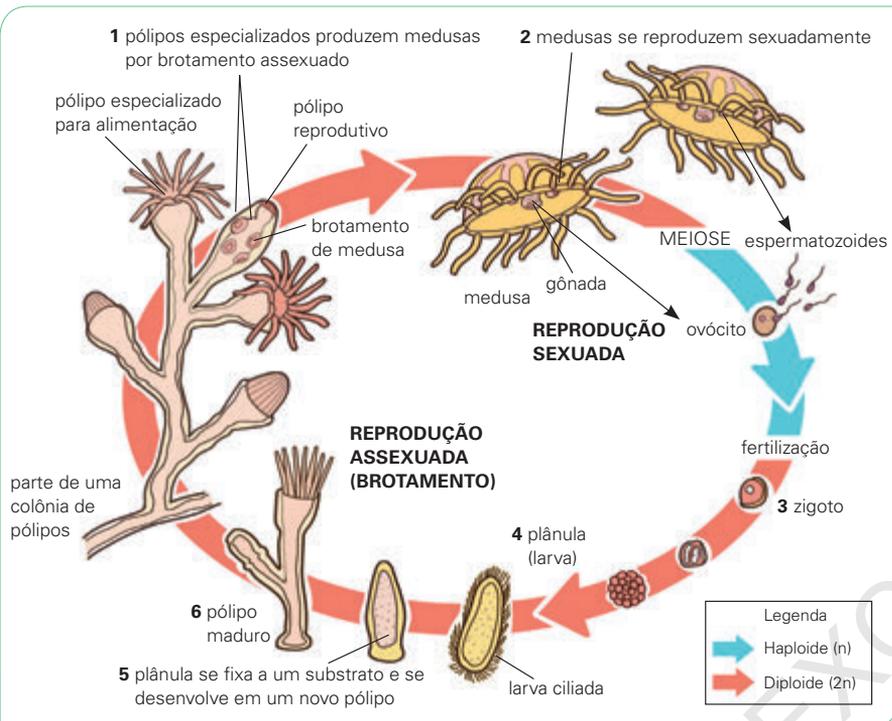
REPRODUÇÃO

Cnidários exibem padrões sexuais e assexuais de reprodução.

Reprodução assexuada

Ocorre por brotamento ou estrobilização. As hidras reproduzem-se principalmente dessa forma. O brotamento gera uma cópia genética idêntica parental.

As imensas colônias de antozoários, como os formadores dos recifes de corais, também se originam por brotamento. A diferença no brotamento dos corais é que os descendentes não se desprendem dos indivíduos parentais; assim, a colônia cresce continuamente.



Ciclo de vida do hidrozóario *Obelia* sp. em que estão representadas tanto a fase assexuada como sexuada. O pólipos reproduz-se assexuadamente por brotamento. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

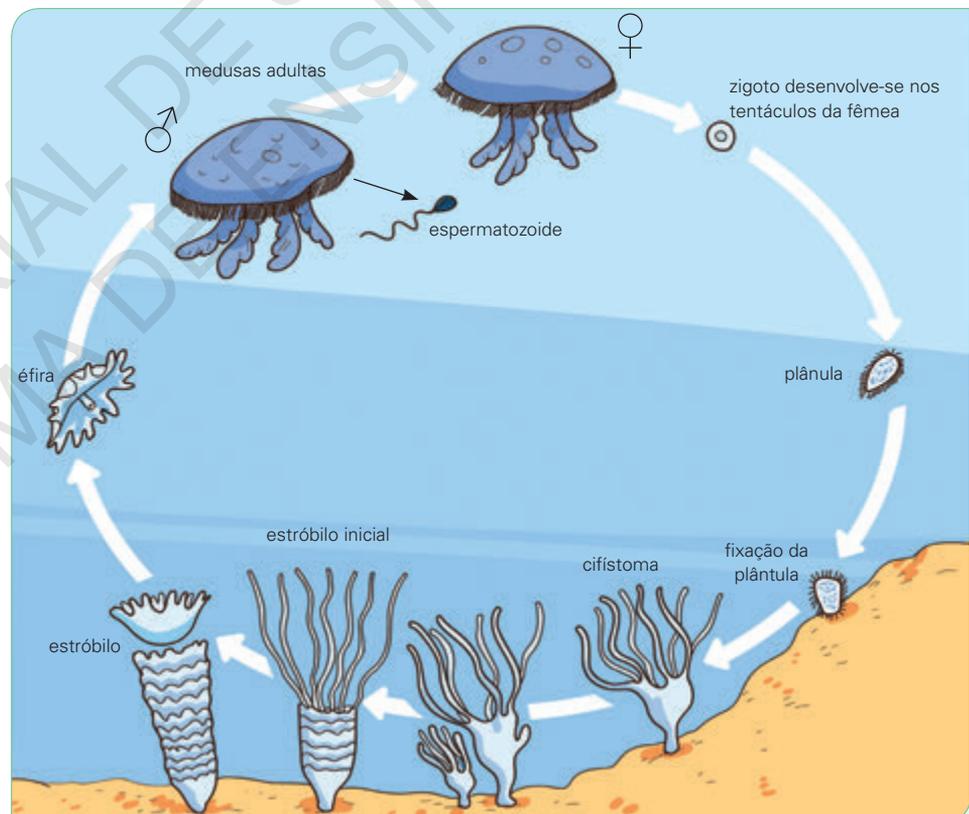
Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 687.

imaturas), que crescem e se tornam medusas adultas. Na classe Anthozoa, não há metagênese.

Cnidários têm grande capacidade de regeneração. Cada parte de uma hidra cortada ao meio se regenera completamente e forma uma nova hidra.

Reprodução sexuada

Em sua maioria, os cnidários são dioicos. A fecundação pode ser externa ou interna, e na maioria das espécies o desenvolvimento é indireto (formação da larva plânula). Nos grupos Hidrozoa e Sciphozoa, ocorre a metagênese (alternância de gerações), em que as formas medusoides produzem os gametas e, após a fecundação, o zigoto origina a plânula, larva ciliada que se fixa a um substrato e se desenvolve em um pólipos. Nos cifozoários o pólipos segmenta-se por estrobilização (forma de reprodução assexuada), originando as éfiras (medusas



Ciclo de vida do cifozoário *Aurelia* sp. ilustrando a metagênese ou alternância de gerações. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. (Adaptado)

Platelmintos e Nematódeos

Platelmintos e nematódeos são popularmente conhecidos como vermes de corpo achatado e vermes de corpo cilíndrico, respectivamente. Esses animais descendem de ancestrais com o corpo formado por **três folhetos embrionários** (ectoderme, mesoderme e endoderme). Isso os torna, portanto, **triblásticos**. Assim, com exceção dos poríferos (que não têm tecidos verdadeiros) e cnidários (os quais são diblásticos), todos os demais filos animais descendem de ancestrais triblásticos. Além disso, platelmintos e nematódeos compartilham outras duas novidades evolutivas em relação a poríferos e cnidários: a **simetria bilateral do corpo** e a **centralização do sistema nervoso**.

Os dois grupos compreendem espécies que vivem em ambientes terrestres e aquáticos, que podem ter forma de vida livre ou ser parasitas de animais e plantas.

No entanto, esses dois grupos de animais são conhecidos principalmente em função de certas parasitoses, uma vez que atingem com frequência seres humanos. Há pelo menos 50 doenças bastante comuns causadas por vermes das quais podemos ser vítimas.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), estima-se que, no mundo, mais de 1 bilhão de pessoas corre risco de contrair verminoses transmitidas por solo e/ou água contaminados. Não por acaso, essas doenças são principalmente causadas pela falta de saneamento básico, realidade crônica em países pobres ou em desenvolvimento de regiões tropicais ou subtropicais.

As verminoses não são apenas um problema de saúde pública, mas de impacto socioeconômico, na medida em que envolvem gastos com tratamentos e remédios e afetam a qualidade de vida da população, o que conseqüentemente prejudica a produtividade e a renda desses países.

PLATELMINTOS

Esse termo deriva do grego (*platys* = achatado + *helminthes* = verme). São conhecidos popularmente como vermes achatados em razão do formato de representantes típicos do grupo, como as planárias. No entanto, existem platelmintos de corpo alongado em forma de fita e com formato ovoide.

Atualmente são conhecidas cerca de 20 000 espécies de platelmintos, que se distribuem em locais terrestres úmidos ou em ambientes aquáticos marinhos ou de água doce. As formas parasitas são responsáveis por doenças humanas frequentes e graves, como a esquistossomose (*Schistosoma*), a teníase e a cisticercose (*Taenia*).

CARACTERÍSTICAS GERAIS E FISIOLOGIA

Platelmintos são **triblásticos**, **acelomados** (cavidade corporal ausente) e com simetria **bilateral**. A **cefalização** e a mesoderme desses seres são em grande parte responsáveis pela maior complexidade quando comparados com cnidários e poríferos.

Esses animais foram os primeiros na história evolutiva a apresentar cefalização, ou seja, a concentração de células nervosas (gânglios) e órgãos sensoriais na região anterior do corpo. Entre esses órgãos, estão os **ocelos** (estruturas fotorreceptoras localizadas na região cefálica que facilitam a exploração do ambiente durante seu deslocamento) e as **aurículas** (expansões laterais da região cefálica capazes de perceber substâncias químicas dissolvidas na água, o que auxilia o animal a procurar alimento).

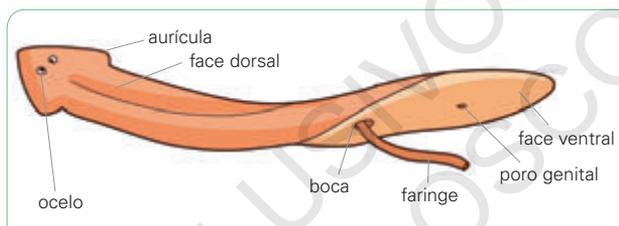


Ilustração de uma planária de água doce. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

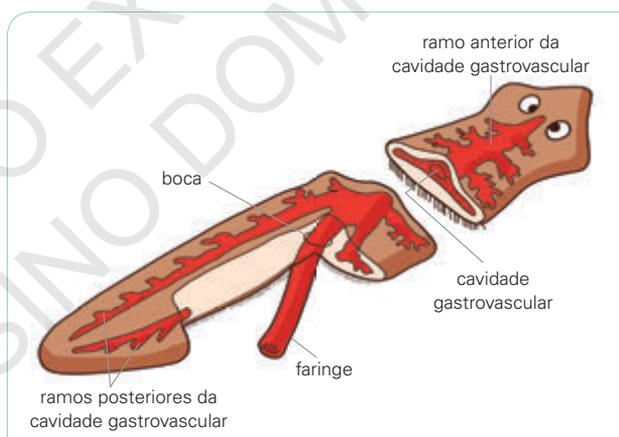


Ilustração esquemática do sistema digestório da planária. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 220. v. 2.

O tubo digestório desses seres é incompleto, portanto são animais **protostômios** e **enterozoários incompletos**. Apresentam a boca como único orifício e são desprovidos de ânus para eliminar resíduos alimentares.

A ausência dos sistemas respiratório e circulatório é compensada pelo formato achatado do corpo desses animais. Isso facilita o transporte por difusão para todas as partes do organismo.

Vermes parasitas são anaeróbios. Já os de vida livre respiram pelo processo de difusão. Os platelmintos foram o primeiro grupo de animais a ter um sistema excretor, formado por protonefrídios, compostos de células-flama ou solenócitos. Essas células apresentam inúmeros cílios, que, por meio de batimentos contínuos, filtram os fluidos extracelulares (intersticiais) do parênquima para o sistema de túbulos, os quais se abrem para o exterior por meio de poros excretores.

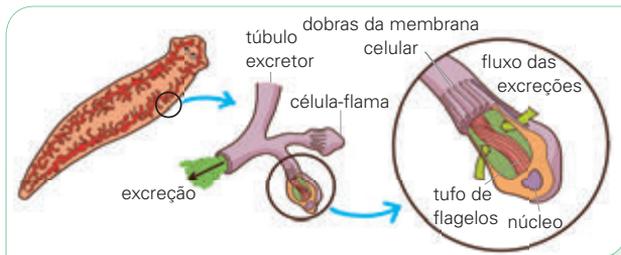


Ilustração do sistema excretor da planária, com as células-flama em detalhes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 220. v. 2.

O sistema nervoso dos platelmintos é do tipo **ganglionar**, formado por um par de gânglios nervosos na região anterior. Dela partem um ou mais pares de cordões nervosos longitudinais, dispostos na superfície ventral, dorsal ou lateral. Esses cordões estão ligados transversalmente por diversas comissuras (nervos). Dos gânglios e dos cordões nervosos partem ramificações das células nervosas para o restante do corpo.

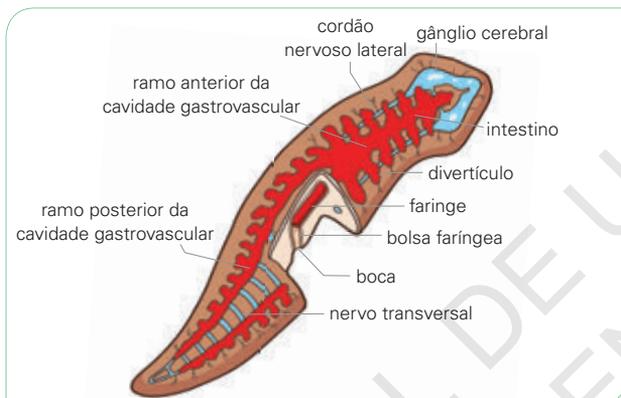


Ilustração esquemática do sistema nervoso da planária. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 474.

Reprodução

Ocorre de forma sexuada e assexuada. Quando platelmintos menores, como as planárias, sofrem um corte transversal, cada parte se regenera e origina outro indivíduo.

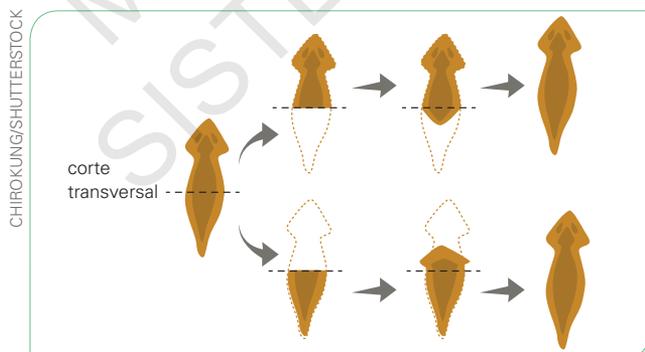


Ilustração esquemática da regeneração em planárias. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

As planárias também se reproduzem sexuadamente. Embora sejam animais hermafroditas, não conseguem realizar autofecundação. Para o processo ocorrer, duas planárias se aproximam e posicionam seus poros genitais, fazendo-os entrarem em contato, por meio de orifícios na superfície ventral. Através deles as planárias trocam espermatozoides e realizam fecundação **cruzada e interna**. O zigoto, junto às células ricas em substâncias nutritivas, é liberado do corpo do progenitor e desenvolve-se sem passar por estágio larval (desenvolvimento direto).

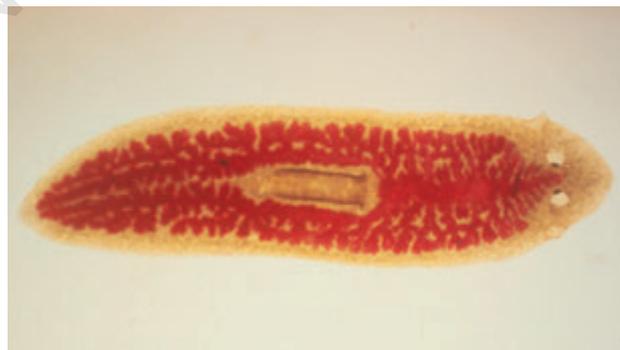
Platelmintos parasitas se reproduzem sexuadamente. O verme *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose, apresenta sexos separados (dioico) com dimorfismo sexual. As tênias são hermafroditas e realizam autofecundação.

CLASSIFICAÇÃO

O filo Platyhelminthes é geralmente dividido em três classes: "Turbellaria", Trematoda e Cestoda. É importante ressaltar que o nome da primeira classe recebe aspas por ser um grupo parafilético, sem valor taxonômico.

Classe "Turbellaria"

Compreende espécies aquáticas ou terrestres de vida livre. Planárias, por exemplo, vivem em locais de água limpa, sob folhas ou pedras. Medem de 1 cm a 2 cm de comprimento e de 2 mm a 5 mm de largura, com uma extremidade anterior e outra posterior.



As planárias do gênero *Dugesia* são platelmintos de vida livre. Imagens de microscopia óptica desse gênero oferecem excelente visualização de órgãos e tecidos. Em vermelho, podemos ver a estrutura do tubo digestório e suas ramificações.

Classe Trematoda

Compreende platelmintos parasitas internos (endoparasitas), como o *Schistosoma mansoni* e a *Fasciola hepatica* (causadora de infecção no fígado), além de parasitas externos (ectoparasitas) de peixes. Esses vermes apresentam corpo revestido por uma cutícula protetora contra enzimas digestivas do hospedeiro. Contam também com ventosas usadas para fixação.

NIBSC/SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA



Imagem de eletromicrografia de varredura de *Schistosoma* sp., representando o macho (rosa) e a fêmea (verde). Aumento desconhecido. Cores fantasia.

DR. ARTHUR SIEGELMAN, VISUALS UNLIMITED/ SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA



Imagem de microscopia óptica de *Fasciola hepatica*, causadora da fasciolose. Esse animal tem como hospedeiros definitivos ovinos e bovinos (e, acidentalmente, humanos). Aumento desconhecido.

Classe Cestoda

É formada em sua totalidade por endoparasitas. Entre os representantes mais conhecidos, estão as tênias. São exemplos: *Taenia solium*; *T. saginata*; *Echinococcus granulosus*; *Hymenolepis nana*; *Hymenolepis diminuta*; *Diphyllobothrium latum* (tênia do peixe). Esses seres têm corpo alongado e dividido em três regiões: cabeça (ou **escólex**), pescoço (ou colo) e corpo (ou **estróbilo**). Na cabeça há ventosas (ganchos ou botrídias), usadas para se fixarem ao hospedeiro. Do pescoço até o final do corpo, na região posterior, existe a divisão em segmentos – chamados **proglótides** (ou progliotes). São classificadas em jovens, adultas e grávidas ou grávidicas (repletas de ovos).

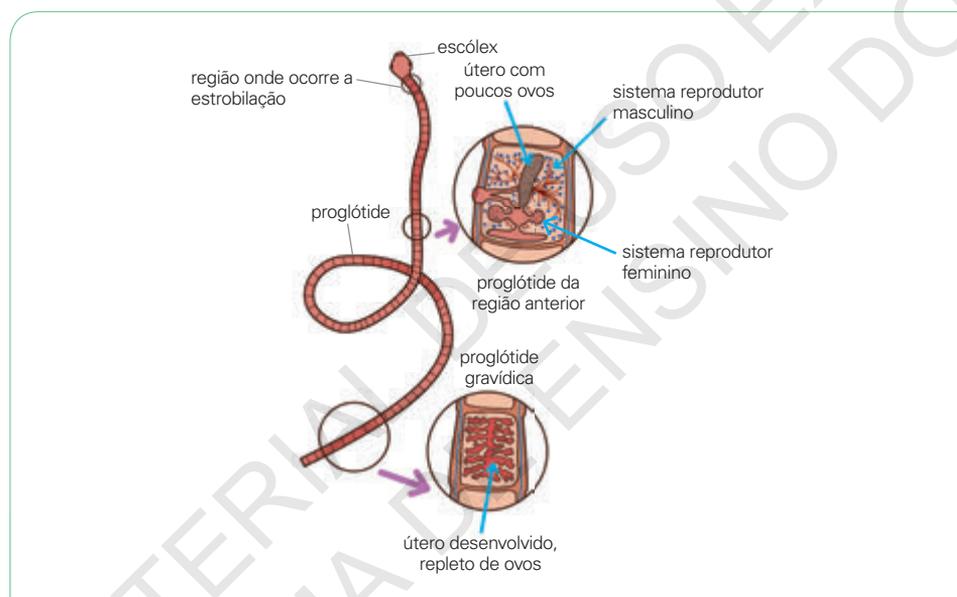


Ilustração esquemática do corpo de uma tênia, com as proglótides em detalhes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

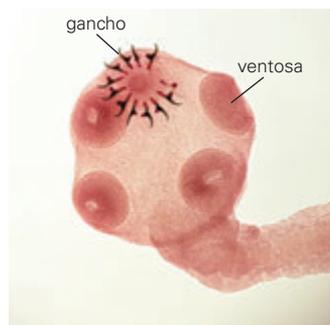
Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 197. v. 3.

PARASIToses

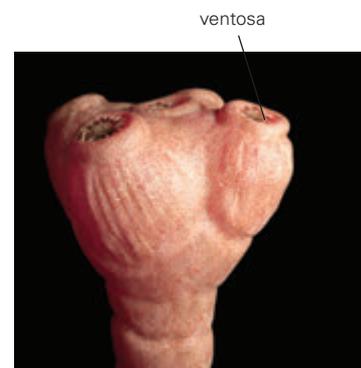
Teníase

É uma doença causada por platelmintos das espécies *Taenia solium* (parasita de suínos) e *Taenia saginata* (parasita de bovinos). A fixação do escólex ocorre por meio de ventosas na *T. saginata* e por meio de ventosas e ganchos na *T. solium*.

O ciclo reprodutivo da teníase inicia-se com o rompimento dos ovos ingeridos no intestino do hospedeiro **interme-**



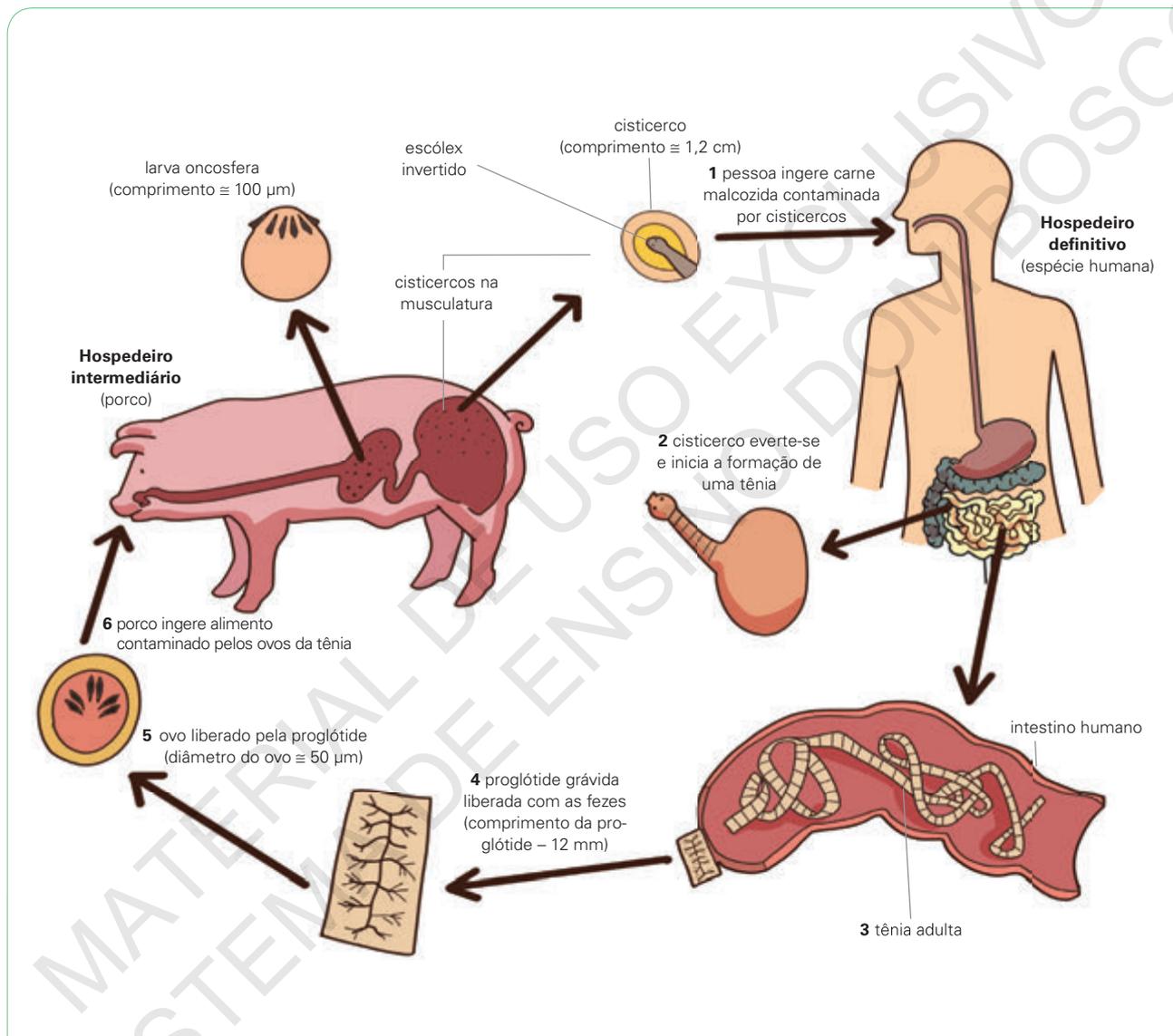
D. KUCHARSKI K. KUCHARSKA/ SHUTTERSTOCK



CREVIS/SHUTTERSTOCK

Escólex de *Taenia solium* (esquerda) e de *T. saginata* (direita).

diário. Posteriormente o embrião é liberado. Este penetra pela mucosa intestinal, alcança a corrente sanguínea e se instala em tecidos moles, como músculos e sistema nervoso (cérebro). O embrião desenvolve-se nesses tecidos e origina as larvas chamadas **cisticercos**. Se a carne do animal contaminado for consumida crua ou malcozida, os cisticercos abrem-se por ação das enzimas digestivas do indivíduo. Então, o escólex liberado fixa-se na mucosa intestinal e cresce, formando outro indivíduo, que absorve os nutrientes do hospedeiro por difusão, através de sua superfície corporal. Em poucos meses, proglótides grávidas são eliminadas pelas fezes do novo hospedeiro, as quais podem contaminar outras pessoas ou outros animais.



Ciclo reprodutivo da teníase do porco, a *Taenia solium*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 226. v. 2.

Quando surgem, alguns dos sintomas mais comuns da teníase são: dor de cabeça, mal-estar, diarreia e falta de apetite. Às vezes, ocorrem dores abdominais, anemia e fraqueza.

A prevenção consiste em três medidas principais: cuidados adequados com dejetos humanos por meio de saneamento básico; cozimento adequado de carnes bovinas e, principalmente, suínas; tratamento dos doentes, o que evita que sejam eliminadas no ambiente mais proglótides com ovos.

Cisticercose

O ser humano participa do ciclo reprodutivo da *Taenia solium* como hospedeiro intermediário, ao ingerir ovos do parasita presentes em água contaminada ou alimentos crus ou mal lavados.

O ciclo é igual ao que ocorre no porco: os ovos eclodem no intestino e liberam o embrião. Este penetra a mucosa intestinal, percorre a corrente sanguínea e atinge os tecidos moles, nos quais se instala.

Frequentemente músculos, olhos e cérebro são os locais afetados. No último caso, a doença se manifesta com maior gravidade e, na forma da neurocisticercose humana, patologia que pode causar a morte do indivíduo.

Esquistossomose

Também conhecida popularmente como barriga-d'água, é a verminose mais letal do mundo. Estima-se que entre 8 milhões e 10 milhões de pessoas sejam parasitadas anualmente no Brasil. Esse número representa quase 4% da população. O agente causador é o platelminto *Schistosoma mansoni*.

Os esquistossomas têm como hospedeiro intermediário natural caramujos de água doce do gênero *Biomphalaria*. Esses animais vivem em corpos de água de pouca correnteza e apresentam enorme capacidade reprodutiva. Em ambiente favorável (água limpa), a larva ciliada **miracídio** se desenvolve no ovo. Quando este eclode, ela nada até encontrar e penetrar o caramujo. A larva, então, transforma-se em uma espécie de saco contendo células germinativas chamadas de **esporocistos** (reprodução assexuada). Estes se desenvolvem em **cercárias**, larvas que penetram ativamente a pele humana.



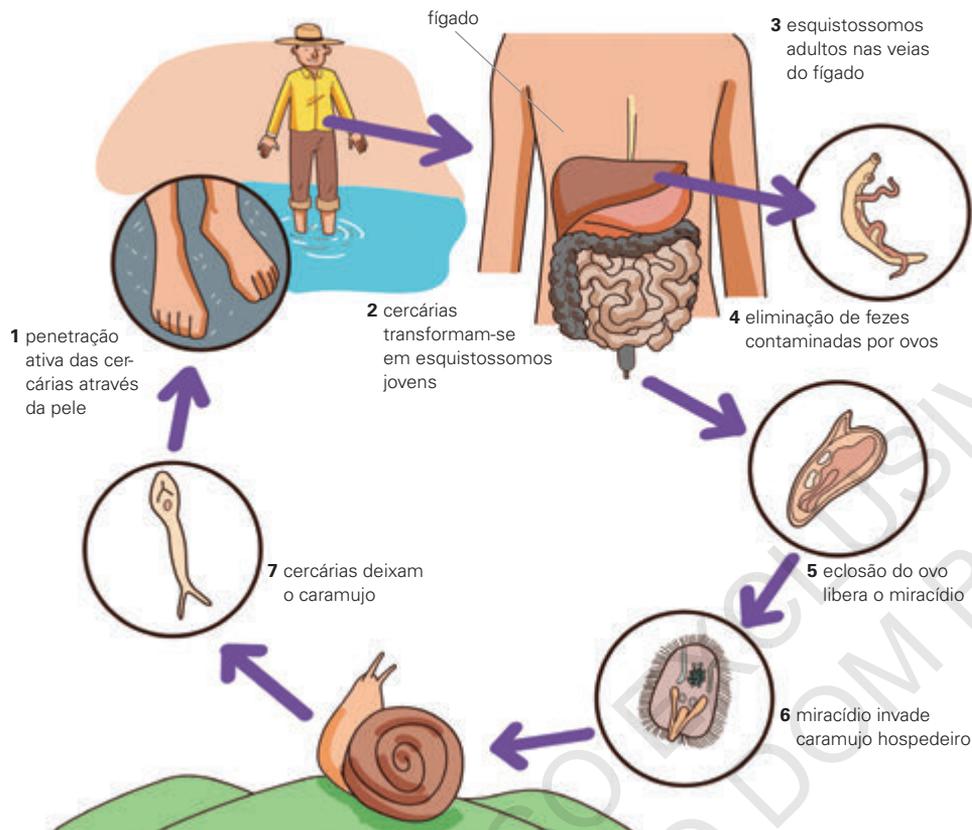
Imagem de eletromicrografia da larva miracídio. Aumento desconhecido.



Imagem de eletromicrografia de larva cercária. Aumento desconhecido.

Na corrente sanguínea, as cercárias alcançam os vasos do fígado, onde se alimentam e se desenvolvem. Ao se tornarem sexualmente maduras, migram na direção dos vasos da mucosa intestinal. Neles acontece a postura dos ovos (reprodução sexuada). A parede desses vasos se rompe, e os ovos caem no intestino, os quais são posteriormente eliminados com as fezes do indivíduo contaminado.

Na **fase aguda** da doença, os sintomas são vermelhidão e coceira no local da penetração das cercárias. Cerca de um mês depois da infestação, surgem febre, mal-estar, indisposição, fraqueza, calafrios e diarreia. A manifestação da **fase crônica** é caracterizada por diarreia sanguinolenta, dor abdominal, falta de ar, aumento acentuado do baço e, principalmente, do fígado. Além disso, há acúmulo de líquido na cavidade abdominal, o que explica o nome popular da doença: barriga-d'água.



Ciclo reprodutivo do trematódeo *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 225. v. 2.

Medidas de prevenção da doença são tratamento dentário dos doentes, saneamento básico e controle biológico dos caramujos.

Nematódeos

Os vermes do filo Nematoda eram anteriormente conhecidos como Nemathelminthes. O nome do grupo origina-se do grego (*nematos* = fio + *helminthes* = vermes), uma referência ao formato cilíndrico alongado do corpo dos representantes típicos. Seu tamanho varia de 1 mm até 1 m, mas grande parte das espécies é menor que 1 cm. Assim como os platelmintos, os nematódeos são vermes não segmentados. Há representantes de vida livre e parasitas. Atualmente são descritas cerca de 25 000 espécies, mas estima-se que exista aproximadamente meio milhão de espécies desconhecidas em todo o planeta.

Os nematódeos incluem espécies terrestres e aquáticas marinhas e de água doce. Exercem função importante na decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes de solos úmidos, lagos e oceanos.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

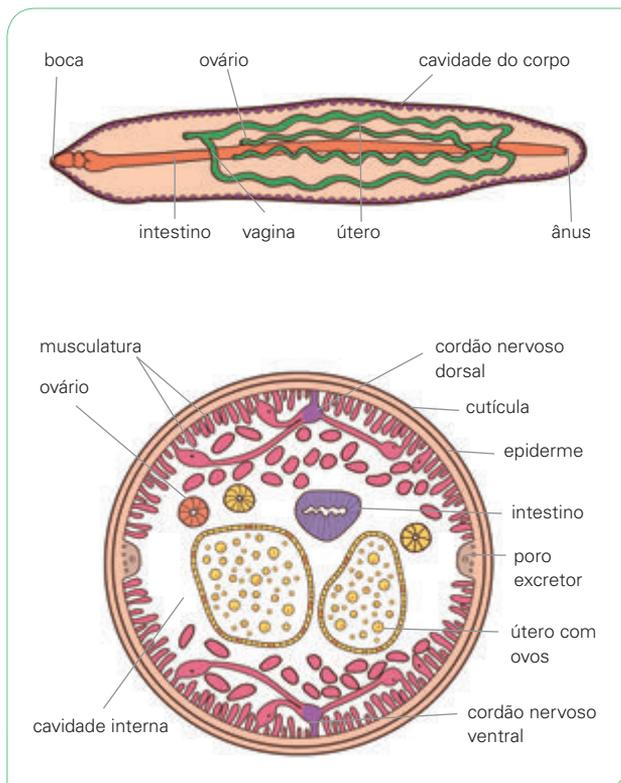
Nematódeos são organismos de corpo cilíndrico alongado, triblásticos, com simetria bilateral. São protostômios e apresentam, em comparação a platelmintos, um sistema digestório **completo** como novidade evolutiva, o qual é formado por boca e ânus (**enterozóários completos**). Têm cavidade corporal interna, mas que não é revestida por mesoderme – por isso é chamada de **pseudoceloma**. Essa cavidade abriga os órgãos internos e é preenchida por fluidos, funcionando como um **esqueleto hidrostático**. Os nematódeos têm sistema nervoso com cefalização (gânglios e cordões nervosos dorsal e ventral) e sistema excretor em forma de túbulos em “H”.

Geralmente a epiderme dos nematódeos é coberta por uma cutícula resistente e flexível secretada por ela mesma. Essa cutícula limita o crescimento, e o animal sofre o processo de muda ou ecdise (substituição da cutícula por uma nova) durante seu crescimento. A musculatura desses seres tem apenas fibras longitudinais, por isso sua contração causa movimentos do corpo similares a um chicote.

RATTIYA THONGDUMHYU/
SHUTTERSTOCK



Dois indivíduos de *Ascaris lumbricoides*. Fêmea (à esquerda) e macho (à direita).



Fêmea de *Ascaris lumbricoides*. Estruturas internas em cortes longitudinal (à esquerda) e transversal (à direita). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

FISIOLOGIA

O sistema digestório dos nematódeos é constituído por boca, faringe muscular, intestino e ânus. O alimento entra pela boca, passa para a faringe e chega ao intestino. Esses animais têm variados hábitos alimentares, desde detritívoros até parasitas, tanto de animais quanto de plantas.

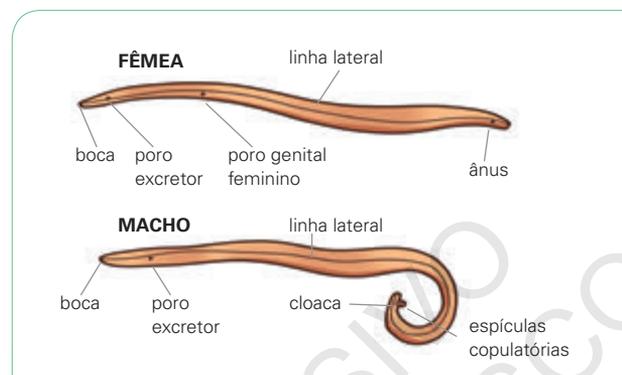
Os nematódeos não dispõem de sistemas respiratório e circulatório. Dessa forma, os nutrientes são em parte distribuídos pelos fluidos do pseudoceloma (difusão simples). As trocas gasosas acontecem na superfície corporal, por difusão. Nematódeos de vida livre são aeróbios e obtêm o oxigênio no meio em que vivem. Os parasitas, geralmente anaeróbios, realizam fermentação.

Os resíduos metabólicos são excretados por meio do líquido que ocupa o pseudoceloma, por dois tubos longitudinais ligados por um menor, transversal. Dos **tubos em "H"**, partem ramos longitudinais que se abrem em orifícios próximos à boca, denominados poros excretores.

O sistema nervoso dos nematódeos é **ganglionar e ventral**. De um anel nervoso que circunda a faringe partem dois cordões nervosos (um ventral e um dorsal), ao longo dos quais se concentram gânglios nervosos (região de concentração de células nervosas).

Nematódeos são seres dioicos (têm sexos separados) e exibem dimorfismo sexual. O macho da lombriga tem a extremidade posterior recurvada e **espículas copulatórias** (peniais) na região posterior, próximas ao ânus. Estas são utilizadas no momento da cópula. A fêmea, geralmente maior que o macho, tem formato

retilíneo, com um poro genital ventral no meio do corpo. As formas de vida livre têm desenvolvimento direto.



Macho e fêmea do *Ascaris lumbricoides*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 199. v. 2.

A fecundação nos nematódeos é interna. O zigoto desenvolve-se em ovo com casca resistente. Muitas espécies eliminam ovos fecundados para o ambiente, no qual as primeiras divisões celulares ocorrem. Os ovos, então, tornam-se embrionados. O desenvolvimento indireto caracteriza-se pela passagem por diferentes estágios larvais.

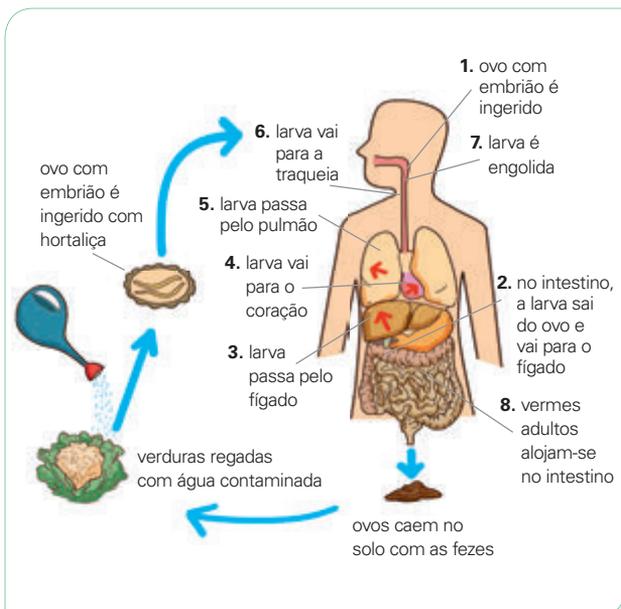
PARASIToses

Ascariíase

Verminose mais frequente no Brasil, é causada pelo nematódeo *Ascaris lumbricoides*, popularmente conhecido como lombriga. Esse verme mede de 10 cm a 30 cm de comprimento. É um parasita **monoxeno** (sem hospedeiro intermediário), dioico e com dimorfismo sexual. A infestação acontece pela ingestão de água e alimentos contaminadas por ovos embrionados.

Uma vez ingeridos, os ovos passam pelo tubo digestório e têm suas paredes destruídas por secreções enzimáticas. A larva é, assim, liberada. Esta penetra a mucosa intestinal, alcança a corrente sanguínea e chega aos pulmões. Neles rompem pequenos capilares sanguíneos e causam lesão alveolar, o que pode acarretar irritação local e tosse, que faz as larvas serem levadas à faringe. Elas são, dessa forma, engolidas com as secreções brônquicas e a saliva. Chegam assim ao estômago novamente e depois alcançam o intestino delgado. Nele, as larvas se instalam e se tornam indivíduos sexualmente maduros, os quais iniciam a postura dos ovos. Uma fêmea chega a eliminar mais de 200 mil ovos por dia. Quando os parasitas chegam ao intestino, os sintomas mais típicos se manifestam: desânimo, dor abdominal, náuseas e falta de apetite. Os parasitas retiram nutrientes do hospedeiro, o que pode provocar ou agravar a desnutrição.

O tratamento dos doentes evita a eliminação de ovos no ambiente. Além disso, saneamento básico e higienização dos alimentos são medidas preventivas.



Ciclo reprodutivo dos nematódeos causadores de ascariíase. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

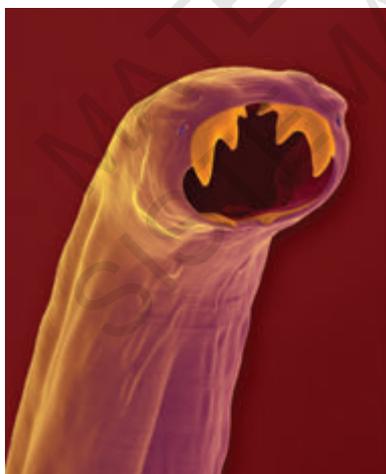
Fonte: LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. *Biologia hoje*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014. p. 140.

Ancilostomose

Também conhecida por amarelão ou opilação, essa verminose ocorre com maior frequência em regiões quentes e úmidas. No Brasil, afeta muitas pessoas de áreas cujas condições de saneamento básico são precárias. O verme provoca grande enfraquecimento orgânico, o que deixa o doente bastante indisposto.

O amarelão é causado pelos nematódeos *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus*. Geralmente com menos de 1 cm de comprimento, são vermes monóxenos e dioicos, com dimorfismo sexual. A boca desses seres tem dentes (*Ancylostoma duodenale*) ou lâminas orais (*Necator americanus*). Por eles se fixarem na mucosa intestinal do hospedeiro, lesionam os capilares sanguíneos e se alimentam de sangue.

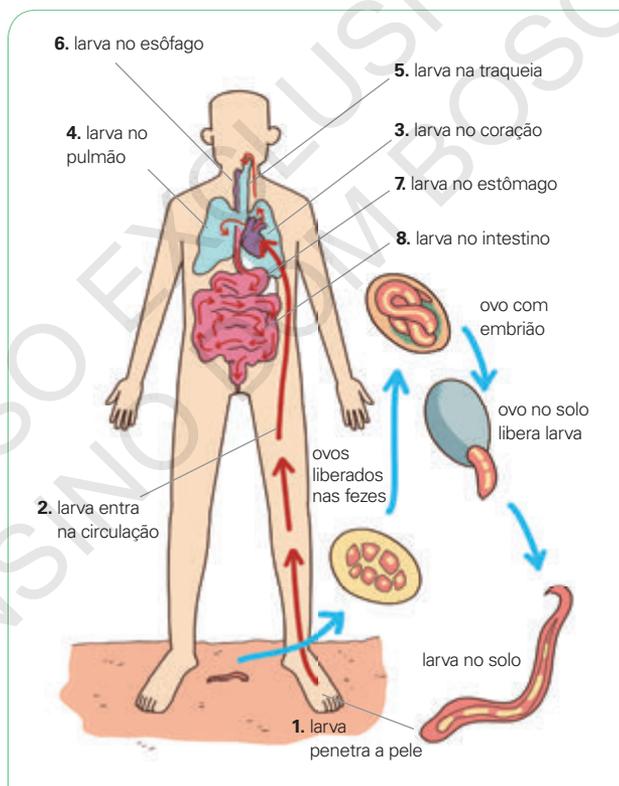
DENNIS KUNKEL MICROSCOPY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/ FOTOARENA



Eletromicrografia de varredura com detalhes da região bucal do *Ancylostoma braziliensis*. Os dentes são usados para fixação na mucosa intestinal do hospedeiro. Aumento desconhecido. Cores fantasia.

Os adultos acasalam no intestino do hospedeiro, e as fêmeas fazem a postura de grande número de ovos,

que chegam ao ambiente com as fezes. Uma larva pequena (**filarioide**) eclode e movimenta-se no solo úmido à procura de hospedeiro – que pode ser uma pessoa descalça. Com o auxílio de enzimas digestivas, penetra ativamente a pele dos pés. A larva atinge capilares sanguíneos e é levada pelo sistema circulatório aos pulmões. Neles rompe os alvéolos, sobe pelas vias aéreas e atinge a faringe. Pode, então, ser expelida por um acesso de tosse ou deglutida. Uma vez engolida, chega ao duodeno já na forma adulta. Aproximadamente dois meses decorrem da penetração da larva até o início de postura de ovos pelo verme maduro estabelecido no intestino.



Ciclo reprodutivo dos nematódeos causadores da ancilostomose no ser humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. *Biologia hoje*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2014. p. 141.

Os sintomas variam de anemia (provocada por ulcerações da mucosa intestinal) até pneumonia (em consequência de lesões pulmonares). Medidas profiláticas incluem saneamento básico, uso de calçados para evitar o contato com a larva e tratamento dos doentes.

Filariose

Também conhecida como elefantíase, é uma doença de origem africana muito comum em áreas tropicais. No Brasil, sua maior frequência é registrada nas regiões Norte e Nordeste. Nesses lugares, as fêmeas do mosquito hematófago do gênero *Culex* (vetor da doença), encontram ambiente favorável para se desenvolver.

O agente etiológico da doença é o nematódeo *Wuchereria bancrofti*, também conhecido por filária. Trata-se de um verme parasita dioico, heteroxeno (dois hospedeiros), cujos hospedeiros intermediário e definitivo são, respectivamente, o mosquito *Culex* e a espécie humana. O parasita aloja-se nos vasos linfáticos, obstruindo-os e causando edema no local. Esse estado se torna irreversível e pode deformar o órgão afetado (geralmente a perna, mas também podem ser o escroto e as mamas).

No momento em que o mosquito *Culex* contaminado pica a pessoa sadia, microfírias entram na corrente sanguínea e chegam aos vasos linfáticos. O ciclo de vida delas se completa, e novos ovos liberados pelas fêmeas originam outras microfírias, que chegam à corrente sanguínea do indivíduo. Elas então podem ser ingeridas pelo mosquito *Culex*. Quando a pessoa parasitada é picada, as microfírias migram para o aparelho bucal do mosquito. Desse modo, elas podem ser transmitidas para outros seres humanos.

O uso de mosquiteiros e repelentes e o cuidado para evitar o acúmulo de água parada em pneus, latas, potes e outros objetos são as principais medidas de prevenção à doença. O combate ao inseto transmissor é difícil e constitui profilaxia pouco eficaz.



Indivíduo com elefantíase causada pelo verme *Wuchereria bancrofti*, transmitido pelo mosquito do gênero *Culex*. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Larva migrans cutânea (bicho-geográfico)

O agente etiológico dessa doença é o *Ancylostoma braziliensis*, causador da ancilostomose animal. Durante o estágio larval, ele penetra ativamente a pele humana. Os principais sintomas são prurido local e linhas avermelhadas na pele, em virtude da irritação causada pelo deslocamento das larvas. O ciclo de vida não se completa no hospedeiro acidental.

As principais medidas profiláticas são: tratamento de cães e gatos infectados; remoção das fezes desses animais do ambiente; proibição da presença desses em praias; cuidado com a areia em locais em que as crianças brincam.

Oxiurose (enterobiose)

É causada pelo *Enterobius vermicularis*, transmitido pela ingestão dos ovos por humanos ou por autoinfestação em razão da coceira anal causada pelo verme. Os seres adultos desenvolvem-se no intestino.

À noite, as fêmeas saem do reto e depositam os ovos na mucosa anal e na pele perianal. Em seguida, voltam para dentro do corpo do indivíduo. O processo causa intenso prurido (coceira) anal.

A prevenção inclui: higiene pessoal, principalmente das mãos; cuidado com os alimentos ingeridos; saneamento básico; tratamento dos doentes.

É aconselhado às pessoas infectadas que, ao acordarem, lavem a região anal e troquem diariamente roupa íntima e lençóis.

ROTEIRO DE AULA

METAZOA

Poríferos

Características gerais

Não apresentam tecidos verdadeiros

Tipos morfológicos

asconoide

siconoide

leuconoide

Células especializadas

coanócitos

pinacócitos

porócitos

amebócitos

Fisiologia

Trocas gasosas, circulação e excreção

difusão simples

Digestão

intracelular

Classificação

Calcarea

espículas calcárias

Hexactinellida

espículas silicosas

Demospongiae

espículas silicosas, fibras de espongina, ou ambas

ROTEIRO DE AULA

CNIDÁRIOS

Características gerais

Diblásticos

Simetria

radial

Alimentação e defesa

cnidoblastos

Tipos morfológicos

Pólipos

Medusas

Fisiologia

Digestão

extra e intracelular

Trocas gasosas e excreção

difusão simples

Sistema nervoso

difuso

Tipos celulares

Cnidoblastos

células com veneno

Epiteliomuscular, epidérmicas, digestivas

sensoriais

glandulares

Classificação

Hidrozoa

Predominam pólipos

Metagênese

Cubozoa

Predominam medusas

Schiphozoa

Predominam medusas

Metagênese

Anthozoa

Forma polipoide

Staurozoa

Forma polipoide

ROTEIRO DE AULA

METAZOA

PLATELMINTOS

Características gerais

Forma do corpo:
achatados

Celoma:
acelomados

triblásticos

Blastóporo origina:
boca

Simetria:
bilateral

Vida livre ou
parasitas

Hábitat:
ambientes terrestres úmidos e aquáticos

Fisiologia

Excreção:

protonefrídeos

Sistema nervoso:

cefalização

Tubo digestório

incompleto

Trocas gasosas e circulação

difusão simples

Classificação

"Turbellaria"

Trematoda

Cestoda

formas livres e parasitas

parasita

parasita

planárias

esquistossomose

teníase

Reprodução

Maioria monoica

Formas de vida livre e parasitas

desenvolvimento

direto

fecundação

interna

ROTEIRO DE AULA

NEMATÓDEOS

Características gerais

Forma do corpo:

cilíndricos

Celoma:

pseudocelomados

triblásticos

Blastóporo origina:

ânus

Simetria:

bilateral

Vida livre e parasitas

Presença de cutícula

Fisiologia

Excreção:

tubos em "H"

Sistema nervoso:

cefalização

Tubo digestório

completo

Trocas gasosas e circulação

difusão e respiração cutânea

Reprodução

Maioria dioica
Dimorfismo sexual

fecundação:

interna

Larva das formas parasitas

Desenvolvimento

direto

indireto

PARASITOSE

Ascariíase

lombriga

Causador:

Ascaris lumbricoides

Monoxeno

Infestação:

ingestão dos ovos

Ancilostomose

Amarelão

Causador:

Ancylostoma duodenale
Necator americanus

Heteroxeno

Infestação:

larvas penetração ativa

Filariose

elefantíase

Causador:

Wuchereria bancrofti

Heteroxeno

Infestação:

vetor mosquito *Culex*

Oxiurose

Causador:

Enterobius vermicularis

Infestação:

ingestão de ovos e autoinfestação

Bicho-geográfico

Causador:

Ancylostoma braziliensis

penetração ativa larva migrans

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. IFCE

C8-H28

Sobre os cnidários, é correto afirmar que

- a) sua digestão é exclusivamente intracelular.
- b) os tipos morfológicos denominados pólipos são considerados livre-natantes.
- c) os principais representantes são as medusas e as esponjas.
- d) possuem uma célula especial denominada coanócito.
- e) são animais que apresentam dois folhetos embrionários.

Os cnidários são diblásticos ou diploblásticos, ou seja, possuem dois folhetos embrionários (ectoderme e endoderme). Os pólipos são formas sésseis (fixas); as medusas são os tipos morfológicos livre-natantes. Os coanócitos são células presentes nas esponjas (poríferos). Os cnidários possuem sistema digestório incompleto (apenas a boca está presente). O alimento é parcialmente digerido na cavidade gastrovascular (digestão extracelular), sendo absorvido pelas células que revestem essa cavidade (células da gastroderme). O processo se completa com a digestão intracelular.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científicotecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

2. UDESC – Analise as proposições em relação a um grupo animal cujo personagem de desenho animado, Bob Esponja, é representante típico.

- I. Os seus representantes são exclusivamente aquáticos.
- II. Crescem aderidos a substratos e praticamente não se movimentam.
- III. Possuem células especializadas chamadas de coanócitos que estão relacionadas com a alimentação destes animais.
- IV. Apresentam reprodução assexuada e também sexuada.
- V. A estrutura corporal básica é do tipo asconóide, siconóide ou leuconóide.

Assinale a alternativa correta:

- a) Somente uma afirmativa é verdadeira.
- b) Somente duas afirmativas são verdadeiras.
- c) Somente três afirmativas são verdadeiras.
- d) Somente quatro afirmativas são verdadeiras.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

As esponjas são organismos exclusivamente aquáticos e sésseis (fixos a um substrato). Os coanócitos são células flageladas responsáveis pela captação de alimentos e oxigênio. A reprodução pode ser tanto assexuada, por brotamento e gêmulas, ou sexuada, com gametas que originam uma larva livre-natante denominada de anfibrástula. São três os tipos básicos de organização morfológica desses animais: asconóide, siconóide ou leuconóide.

3. UECE (adaptado) – Que características permitem a inclusão de um organismo no filo Porífera, mas não em qualquer outro filo animal?

Ausência de tecidos verdadeiros, ou seja, suas células não estão organizadas formando tecidos; e ausência de uma cavidade ou tubo digestório.

Os demais filios animais são chamados de Eumetazoa, por compreenderem animais com tecidos verdadeiros, diblásticos (filo Cnidaria) ou

triblásticos (demais filios), e com tubo ou cavidade digestória, chamados de enterozoários (incompletos ou completos).

4. IFCE – Analise as assertivas a seguir.

- I. O agente causador é um animal platelminto sem sistema digestório.
- II. Educação sanitária e saneamento ambiental são medidas profiláticas contra ela.
- III. É adquirida quando o ser humano ingere ovos do agente causador.

É correto afirmar que se referem à verminose

- a) teníase.
- b) cisticercose.
- c) ancilostomose.
- d) esquistossomose.
- e) filariose.

A cisticercose é uma verminose causada pela *Taenia solium*, a qual não possui sistema digestório e absorve nutrientes do hospedeiro. O ser humano ingere os ovos do animal pela água e por alimentos contaminados. Medidas profiláticas incluem educação sanitária e saneamento básico.

5. CPS-SP – As verminoses são doenças causadas por vermes parasitas que se instalam no organismo do hospedeiro.

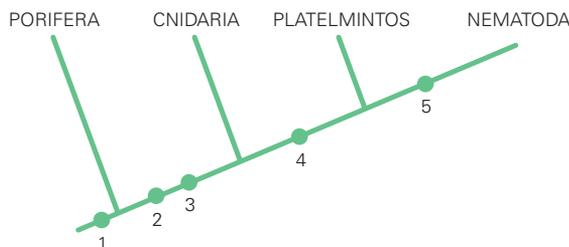
Uma dessas verminoses que afeta milhões de pessoas em todo o mundo caracteriza-se pelo fato de os vermes, no estágio de larvas, penetrarem através da pele, geralmente quando caminhamos descalços em solos contaminados. Dentro do ser humano, os vermes ficam adultos e se fixam à mucosa do intestino delgado. Com suas placas dentárias cortantes, rasgam as paredes intestinais e sugam sangue, provocando hemorragias, anemia, fraqueza, tonturas, desânimo e dores musculares no hospedeiro.

A doença parasitária descrita é conhecida como

- a) doença de Chagas.
- b) esquistossomose.
- c) leptospirose.
- d) amarelão.
- e) teníase.

O amarelão ou ancilostomíase é uma doença causada por vermes nematódeos (*Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*) e ocorre por meio da penetração de suas larvas na pele. As larvas atingem os pulmões, pela corrente sanguínea, chegam à traqueia e à faringe e são engolidas. Fixam-se no intestino delgado e se reproduzem sexuadamente, e os ovos são liberados com as fezes. Medidas profiláticas incluem o uso de calçados, e o saneamento básico.

6. PUC-RS (adaptado) – Para responder as questões, analise o cladograma abaixo.



- a) Com base no cladograma, o ponto 4 corresponde a presença de qual característica?

O ponto 4 pode corresponder ao surgimento da mesoderme. Assim, com exceção dos poríferos (tecidos ausentes) e dos cnidários (diblásticos), os demais filios descendem de uma linhagem de animais triblásticos.

O ponto 4 também pode representar a origem da simetria bilateral e o surgimento de um sistema nervoso com cefalização.

b) Com base no cladograma, o ponto 5 corresponde a presença de qual característica?

O ponto 5 corresponde ao surgimento de um tubo digestório completo,

ou seja, de animais com boca e ânus. Assim, os nematódeos e de-

mais grupos animais que evoluíram após os nematódeos descendem

de uma linhagem ancestral de animais com tubo digestório completo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Ulbra-SP – As esponjas são os representantes do Filo Porifera (Reino Animalia). Este Filo é considerado um ramo primitivo na evolução dos metazoários, apresentando uma organização corporal simples. Os poríferos são usados pelos pintores de paredes para obtenção de certos efeitos especiais. Antigamente, eram usados, também, como esponjas de banho. Quanto às esponjas, é correto afirmar que:

- I. Possuem tecidos verdadeiros e são encontradas somente em ambientes aquáticos.
- II. Possuem tecidos verdadeiros e podem apresentar espículas, calcárias ou silicosas, formando o esqueleto para sustentação desses animais.
- III. Não possuem tecidos verdadeiros e alimentam-se de partículas em suspensão através do sistema aquífero.
- IV. As células que capturam as partículas na água são os coanócitos; os porócitos permitem a entrada de água do meio externo, e, após a circulação, a água sai pelo ósculo.

Estão corretas:

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

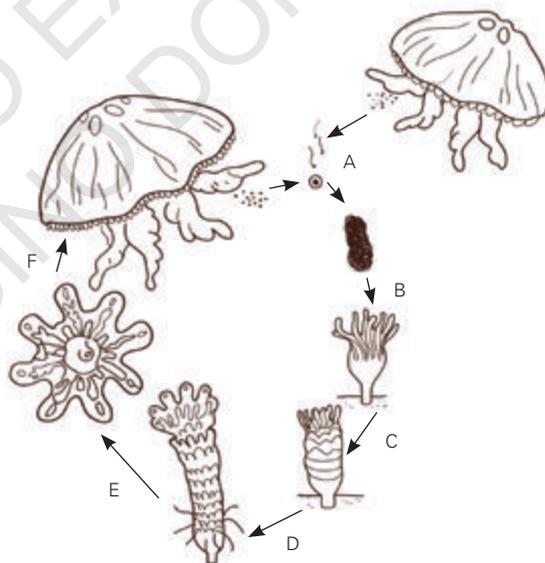
8. UEL-PR (adaptado) – Leia o texto a seguir.

Turritopsis dohrnii é uma espécie de hidrozoário conhecida atualmente como “água-viva imortal”. Seu curioso ciclo de vida foi descoberto em 1988 por Christian Sommer, um biólogo marinho alemão. Sommer manteve espécimes de *Turritopsis dohrnii* no laboratório e, após vários dias, notou que os animais estavam se comportando de uma maneira muito peculiar... eles se “recusavam” a morrer. Aparentemente, eles estavam revertendo o envelhecimento e rejuvenescendo progressivamente, até alcançarem seu estágio inicial de desenvolvimento, ponto em que novamente iniciavam seu ciclo de vida. Em 1996, os cientistas descreveram como a espécie pode se transformar novamente em um pólipo a partir da fase de medusa. Um dos cientistas comparou a água-viva a uma borboleta que pudesse novamente se tornar uma lagarta. Hoje sabemos que o rejuvenescimento de *Turritopsis dohrnii* é desencadeado por estresse ambiental ou agressão física. Essas desco-

bertas apareceram para desbancar a lei mais fundamental da natureza – “você nasce e então você morre”.

Fonte: RICH, N. “Can a Jellyfish Unlock the Secret of Immortality?”.

In: *The New York Times*. nov. 2012. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2012/12/02/magazine/can-a-jellyfish-unlock-the-secret-of-immortality.html?pagewanted=all&_r=0>. Acesso em: 18 jun. 2014. (Adaptado)



(Adaptado de: <biodidac.bio.uottwa.ca/thumbnails/filedet.htm?File_name/scyp001b/File_type/gif>. Acesso em: 18 jun. 2014.)

O esquema acima ilustra o ciclo de vida de uma água-viva.

a) Utilizando as letras do esquema, determine as etapas que podem se reverter em situações de estresse ambiental durante a vida de um indivíduo de *Turritopsis dohrnii* e justifique usando as informações do texto.

- b) Embora os tipos morfológicos encontrados nos cnidários, pólipos e medusa, tenham claras e marcantes diferenças morfológicas, internamente seus corpos possuem a mesma organização. Aponte as principais características encontradas em ambos os tipos morfológicos.

9. UECE – Os seres vivos incluídos no Filo Porífera não apresentam tecidos ou órgãos definidos, mas possuem células que realizam diversas funções relacionadas à sua sobrevivência no ambiente aquático. Com relação aos coanócitos, células que compõem o corpo dos poríferos, é correto afirmar que

- a) são responsáveis pela distribuição de substâncias para todas as demais células do corpo do animal, por meio de plasmodesmos.
 b) transformam-se em espermatozoides, sendo, portanto, essenciais para a reprodução sexuada nesses animais.
 c) são células totipotentes que originam todos os outros tipos de células que compõem os tecidos desses animais.
 d) são células flageladas que promovem o fluxo contínuo de água, promovendo a nutrição desses animais, pela circulação da água no átrio da esponja.

10. UEMA – A Grande Barreira de Corais da Austrália é a maior faixa de corais do mundo com 2 300 quilômetros de comprimento e largura variando de 20 a 240 quilômetros, podendo ser vista do espaço. É a maior estrutura do mundo feita unicamente por milhões de organismos vivos. É situada entre as praias do nordeste da Austrália e Papua-Nova Guiné. A Barreira de Corais da Austrália comporta uma grande biodiversidade e é considerada um dos patrimônios mundiais da humanidade.

Disponível em: <http://kabanamaster.com/os-10-lugares-mais-lindos-do-mundo/>. Acesso em: 20 set. 2013. (adaptado)

- a) Para a formação desse magnífico ecossistema, é necessária a importante participação de que invertebrados polípteros?

- b) Explique como ocorre o processo de construção dessas barreiras.

11. UEM-PR – Pesquisas têm mostrado que aproximadamente 80% dos recifes de corais do Brasil estão ameaçados de extinção devido à extração, ao aquecimento global (que causa o aumento da temperatura média dos oceanos) e às poluições doméstica e industrial. Sobre o assunto, assinale o que for correto.

- 01) O aumento da temperatura da água dos oceanos causa o branqueamento dos corais, resultado da expulsão das zooxantelas.
 02) Os pólipos dos corais formadores dos recifes, embora sejam heterótrofos, dependem também do alimento produzido pelas zooxantelas.
 04) A acidificação das águas oceânicas é resultado do aumento dos níveis de CO_2 que reage com a água formando o ácido carbônico.
 08) O carbonato de cálcio (CaCO_3), constituinte do esqueleto de corais, é um exemplo de substância orgânica por conter carbono.
 16) A produção de CO_2 na queima de combustíveis e nas queimadas provoca o aumento desse gás na atmosfera, diminuindo o efeito estufa, com consequente redução da temperatura média do planeta.

12. Fepar-PR

Pesquisadores da Oregon State University descobriram um grupo de genes no caramujo *Biomphalaria glabrata*, que fornece uma resistência natural ao *Schistosoma mansoni*. Essa descoberta abre portas para o desenvolvimento de novas drogas ou maneiras de interromper o ciclo da esquistossomose. Na investigação, os pesquisadores mapearam um polimorfismo de resistência ao parasita em uma população caribenha dessa espécie de caramujo. Um alelo dominante presente no genoma do caramujo dessa região reduz em 8 vezes a probabilidade de infecção pelo parasita. Cogita-se utilizar os resultados dessa pesquisa para a criação de novos medicamentos. Atualmente, os remédios utilizados são a *oxamniquina* e *opraziquantel*; alternativamente, os pesquisadores podem tentar inserir na natureza os caramujos resistentes ao *Schistosoma mansoni* para bloquear o ciclo da doença.

Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2017-06>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

Tendo como referência as informações do texto e conhecimentos sobre o assunto, julgue as afirmativas.

- () No ciclo de *Schistosoma mansoni*, o caramujo *Biomphalaria glabrata* atua como hospedeiro intermediário, pois em seu interior os miracídios dão origem a esquistossômulos que se metamorfoseiam assexuadamente em cercárias.

- () Ao penetrar no organismo humano, as cercárias assumem o formato de esporocistos e podem se alojar na bexiga, pulmões, pâncreas e fígado, chegando ao estado adulto nos ductos hepáticos e no sistema porta-hepático.
- () Os *Schistosoma mansoni* adultos são vermes dioicos, com dimorfismo sexual evidente; durante o período de cópula, as fêmeas, mais longas e delgadas, se alojam no canal ginecóforo do macho, passando a produzir muitos ovos embrionados.
- () Durante o ciclo desse verme, as cercárias podem encistar-se na forma de metacercárias e permanecer nesse estado por longos períodos, até encontrar o hospedeiro intermediário adequado.
- () A introdução de caramujos resistentes não pode ser uma opção para rarear o número de indivíduos heterozigotos e homozigotos recessivos, que são susceptíveis à infecção pela cercaria de *Schistosoma*.

13. Faculdade Santa Marcelina-SP – *Ascaris lumbricoides* é a espécie que causa a ascariíase, ou doença da lombriga, uma parasitose que apresenta alta prevalência na população brasileira. Pessoas que apresentam infecções maciças do verme desenvolvem problemas hepáticos, pulmonares e intestinais. Esse nematódeo possui nítido dimorfismo sexual e é classificado como parasita monóxeno ou monogenético.

- a)** Qual é o principal modo de transmissão da ascariíase? Por que ocorrem problemas hepáticos e pulmonares em uma pessoa com essa verminose?

- b)** Cite uma característica visível a olho nu que confirma o dimorfismo sexual das lombrigas. Por que a lombriga é classificada como um parasita monóxeno ou monogenético?

14. Unicamp-SP – A esquistossomose mansônica é uma doença que afeta 7 milhões de brasileiros atualmente. A vacina contra este helminto está em fase pré-clínica de testes e foi desenvolvida por pesquisadores brasileiros.

- a)** Quais são as formas infectantes para o hospedeiro vertebrado e para o hospedeiro invertebrado? Indique esses hospedeiros.

- b)** Vacinas são estratégias profiláticas importantes no combate a infecções, porém, até o momento, não existem vacinas contra essa parasitose. Cite duas medidas profiláticas efetivas para o controle dessa infecção no homem.

- 15. UPF-RS (adaptado)** – Alguns vermes são parasitas e infestam milhões de pessoas em todo o mundo, causando vários agravos à saúde. Associe cada verme da primeira coluna do quadro à(s) sua(s) característica(s) na segunda coluna, e, na terceira coluna, ao(s) órgão(s) do corpo humano parasitado(s) por esses vermes.

Vermes	Características	Órgãos parasitados pelo verme na fase adulta
1. <i>Taenia solium</i>	() alojamento da fêmea em sulco no corpo do macho	() vasos sanguíneos do fígado
2. <i>Schistosoma mansoni</i>	() simetria bilateral e corpo achatado	() vasos linfáticos
3. <i>Enterobius vermicularis</i>	() transmissão das larvas por mosquitos hematófagos	() intestino grosso
4. <i>Wuchereria bancrofti</i>	() simetria bilateral e corpo cilíndrico	() intestino delgado

Entre as alternativas abaixo, assinale aquela que apresenta, de cima para baixo, as sequências corretas da segunda e da terceira coluna.

	Segunda coluna	Terceira coluna
a)	2 – 1 – 3 – 4	3 – 2 – 1 – 4
b)	4 – 2 – 3 – 1	2 – 1 – 4 – 3
c)	2 – 4 – 1 – 3	4 – 2 – 3 – 1
d)	3 – 1 – 4 – 2	3 – 4 – 1 – 2
e)	2 – 1 – 4 – 3	2 – 4 – 3 – 1

16. Fepar-PR (adaptado)

O mebendazol é um anti-helmíntico de amplo espectro, dotado de ação contra certos nematódeos, cestóides e trematódeos. Seu mecanismo de ação antiparasitário inibe de forma seletiva e irreversível a absorção da glicose pelo parasita: reduz o nível de ATP e a respiração, causando imobilização e morte lenta do parasita. Também pode inibir o metabolismo anaeróbico, fundamental para muitos helmintos. Além da ação vermífica, pode ser ovicida e larvicida. O medicamento apresenta bons resultados no tratamento de infestações isoladas ou mistas, causadas por *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Enterobius vermicularis*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*, *Taenia solium* e *Taenia saginata*.

Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/farmacia/artigos/81/mebendazol>>.

Acesso em: ago. 2015. (Adaptado)

Considere as informações referidas no texto e avalie as afirmativas.

- () Um único hospedeiro humano de *Ascaris lumbricoides* pode abrigar até 600 indivíduos. Todos esses vermes são descendentes do primeiro casal que iniciou a colonização do intestino, pois as fêmeas podem colocar milhares de ovos por dia.
- () Ao ingerir larvas de *Taenia solium* ou *Taenia saginata* presentes em água, verduras e carnes contaminadas, o homem torna-se hospedeiro intermediário e pode desenvolver neurocisticercose.
- () *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus* têm em comum com *Ascaris lumbricoides* o fato de possuírem um único hospedeiro onde realizam um ciclo cardiopulmonar.
- () *Enterobius vermicularis*, *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus* parasitam exclusivamente o intestino delgado do hospedeiro. Esses vermes penetram no organismo humano pela sola dos pés ainda na fase larval.
- () O homem também pode ser o hospedeiro definitivo da *Taenia solium* e da *Taenia saginata*, quando ingerir carne suína e bovina malcozida contaminada com os cisticercos.

- 17. Fuvest-SP** – O nematelminto *Ascaris lumbricoides* (lombriga) é um parasita que provoca graves danos à saúde humana.

a) Quantos hospedeiros o *Ascaris lumbricoides* tem durante seu ciclo de vida?

b) Em que fase de seu ciclo de vida o *Ascaris lumbricoides* entra no corpo humano?

c) Em que parte do corpo humano ocorre a reprodução do *Ascaris lumbricoides*?

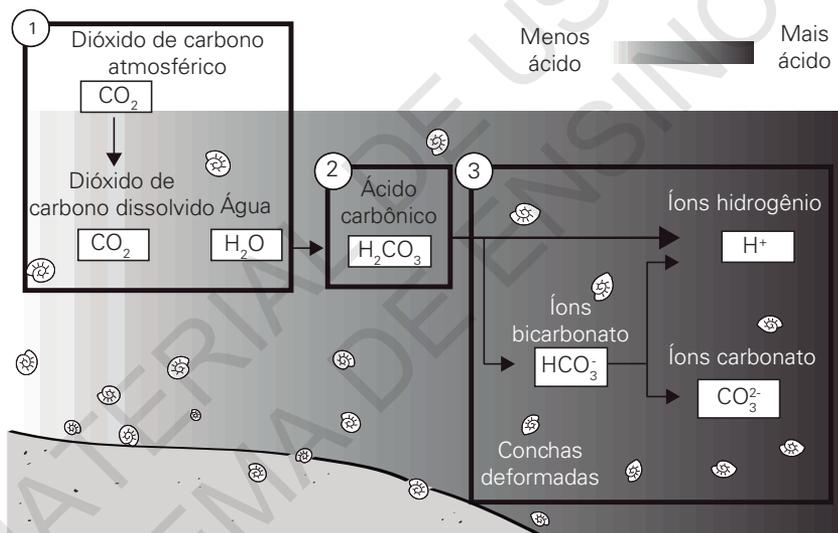
d) Que medidas podem evitar a contaminação do ambiente por *Ascaris lumbricoides*?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H28

Parte do gás carbônico da atmosfera é absorvida pela água do mar. O esquema representa reações que ocorrem naturalmente, em equilíbrio, no sistema ambiental marinho. O excesso de dióxido de carbono na atmosfera pode afetar os recifes de corais.



O resultado desse processo nos corais é o(a)

- a) seu branqueamento, levando à sua morte e extinção.
- b) excesso de fixação de cálcio, provocando calcificação indesejável.
- c) menor incorporação de carbono, afetando seu metabolismo energético.
- d) estímulo da atividade enzimática, evitando a descalcificação dos esqueletos.
- e) dano à estrutura dos esqueletos calcários, diminuindo o tamanho das populações.

19. Enem

C8-H28

O rótulo do produto descreve características de uma doença que pode ser prevenida com o(a)

- a) uso de calçados.
- b) aplicação de inseticida.
- c) utilização de mosquiteiros.
- d) eliminação de água parada.
- e) substituição de casas de barro por de alvenaria.

ENEM



Almanaque do Biotônico, 1935. Disponível em: www.mnhweb.com.br. Acesso em: 22 abr. 2011 (adaptado).

20. Enem

C8-H28

Dupla humilhação destas lombrigas, humilhação de confessá-las a Dr. Alexandre, sério, perante irmãos que se divertem com tua fauna intestinal em perversas indagações: “Você vai ao circo assim mesmo? Vai levando suas lombrigas? Elas também pagam entrada, se não podem ver o espetáculo? E se, ouvindo lá de dentro, as gabarolas do palhaço, vão querer sair para fora, hem? Como é que você se arranja?” O que é pior: mínimo verme, quinze centímetros modestos, não mais — vermezinho idiota — enquanto Zé, rival na escola, na queda de braço, em tudo, se gabando mostra no vidro o novelo comprovador de seu justo gabo orgulhoso: ele expeliu, entre ohs! e ahs! de agudo pasmo familiar, formidável tênia porcina: a solitária de três metros.

ANDRADE, C. D. *Boitempo*. Rio de Janeiro: Aguiar, 1988.

O texto de Carlos Drummond de Andrade aborda duas parasitoses intestinais que podem afetar a saúde humana. Com relação às tênias, mais especificamente, a *Taenia solium*, considera-se que elas podem parasitar o homem na ocasião em que ele come carne de

- a) peixe mal-assada.
- b) frango mal-assada.
- c) porco mal-assada.
- d) boi mal-assada.
- e) carneiro mal-assada.

ANELÍDEOS E MOLUSCOS

10

Os anelídeos, conhecidos popularmente como “vermes do solo” ou “vermes segmentados”, incluem representantes de hábitos terrestres, marinhos e de água doce. A minhoca, o anelídeo mais conhecido, possui grande importância ecológica por atuar na fertilização e aeração do solo, que resultam da sua locomoção e do uso de matéria orgânica em decomposição como alimento. A presença de minhocas indica uma boa qualidade do solo, e estudos recentes apontam que a distribuição de nitrogênio realizada pelas minhocas também melhora a produção agrícola.

As sanguessugas de água doce, em especial a espécie *Hirudo medicinalis*, são empregadas há séculos em tratamentos médicos, para remover o sangue em certas partes do corpo, método conhecido como sangria. Atualmente pesquisas procuram entender seu efeito em pacientes que possuem condições médicas específicas, como a osteoartrite, doença que causa inflamações e dores nas articulações. Uma das hipóteses apresentadas para explicar a diminuição dos sintomas é o coquetel de proteínas que esses anelídeos injetam nos hospedeiros por meio da saliva. Esse coquetel inclui anti-inflamatórios e a proteína hirundina, responsável por impedir a coagulação do sangue.

NOVIDADES EVOLUTIVAS

Há cerca de 15 mil espécies conhecidas no filo Annelida. São animais vermiformes, geralmente cilíndricos, de corpo dividido em anéis (segmentos ou metâmeros) que se repetem e por isso são denominados animais **metamerizados** (segmentados).

A metameria estende-se aos músculos da parede do corpo, a vários órgãos e sistemas internos e é uma novidade evolutiva dos anelídeos em relação aos demais filos animais já estudados, sendo encontrada também em artrópodes e cordados.

O surgimento da metameria possibilitou maior complexidade estrutural e funcional, como a movimentação independente de diferentes segmentos do corpo. Nos anelídeos, permitiu também o aumento da eficiência do comportamento de escavação, e esse aumento da complexidade de movimentos evoluiu de maneira associada ao sistema nervoso.

Entre os anelídeos, além das minhocas e das sanguessugas, existe um grande número de espécies marinhas e de água doce. Entre os representantes marinhos, destacam-se os **poliquetas**, que possuem tamanhos e cores bastante variáveis, desde formas diminutas até espécies com 3 m de comprimento, como a *Eunice gigantea*.



Sanguessuga *Hirudo medicinalis*, em vista ventral.

PHOTOWIND/SHUTTERSTOCK

- Novidades evolutivas
- Características gerais
- Fisiologia
- Reprodução

HABILIDADES

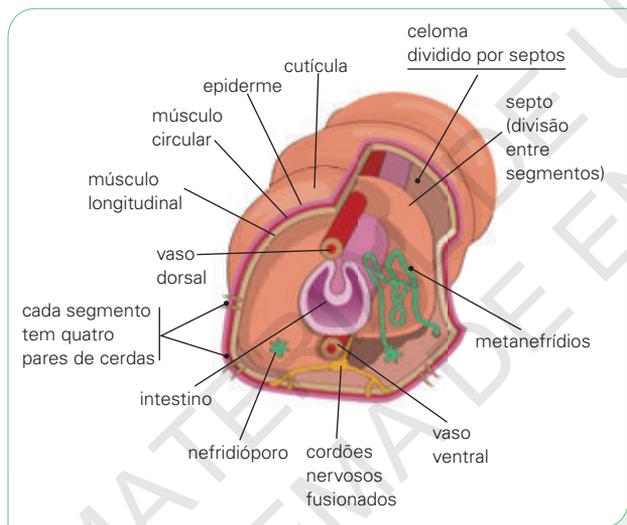
- Identificar as características gerais e as novidades evolutivas dos grupos do filo Annelida.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Annelida.
- Compreender os mecanismos fisiológicos dos anelídeos.
- Comparar as classes de anelídeos quanto a fisiologia, morfologia e características gerais.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Mollusca.
- Comparar as características adaptativas das classes de moluscos quanto a fisiologia, morfologia e características gerais.



Poliqueta marinho que vive em tubo secretado pelo próprio animal (*Spirobranchus* sp.). A estrutura em "forma de árvore" são os tentáculos.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Anelídeos são animais protostômios, triblásticos, enterozoários completos, bilateralmente simétricos e **celomados**. O celoma dos anelídeos forma-se a partir de uma fenda na mesoderme, que fica ao lado do intestino. Esse tipo de celoma é chamado de **esquizocélico**. O celoma é uma cavidade corporal, totalmente revestida por mesoderme, na qual os órgãos internos ficam alojados. Nesses animais de corpo mole, o grande celoma preenchido por fluido funciona como **esqueleto hidrostático**, servindo de suporte para a ação muscular e compensação pela ausência de um esqueleto rígido. O celoma também participa da distribuição de substâncias pelo corpo.



Corte transversal de um metâmero (segmento) do corpo de uma minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anelídeos têm o corpo revestido por uma **cutícula** úmida, fina e transparente, secretada pela epiderme. Na maioria das minhocas, cada compartimento celomático se comunica com o meio externo através de um **poro dorsal**, pelo qual pode sair fluido celomático, ajudando a manter o tegumento úmido.

A maioria dos anelídeos, com exceção das sanguessugas, possui **cerdas** — expansões laterais curtas e em forma de agulha constituídas de quitina — que são utilizadas na locomoção (formas marinhas nadadoras utilizam parapódios), ou para auxiliar na ancoragem do animal ao substrato durante a locomoção.



Anelídeo marinho do gênero *Hermodice* (verme-de-fogo). As cerdas estão adaptadas em parapódios (estruturas brancas ao redor do corpo) que auxiliam na locomoção.

Uma minhoca adulta apresenta, em média, 150 metâmeros e não há cabeça diferenciada. A boca é recoberta por uma estrutura carnosa chamada **prostômio**, que se abre na extremidade anterior do corpo, e o ânus é uma fenda na região posterior (pigídio).

Minhocas e sanguessugas possuem uma estrutura chamada **clitelo**, que consiste em um grupo de segmentos com espessamento da epiderme, geralmente formando uma faixa de coloração mais clara em torno da porção anterior do corpo, com muitas glândulas. O clitelo produz o muco, importante durante o acasalamento, e o **casulo** (estrutura que armazena os ovos após a fecundação), de grande importância durante a reprodução.



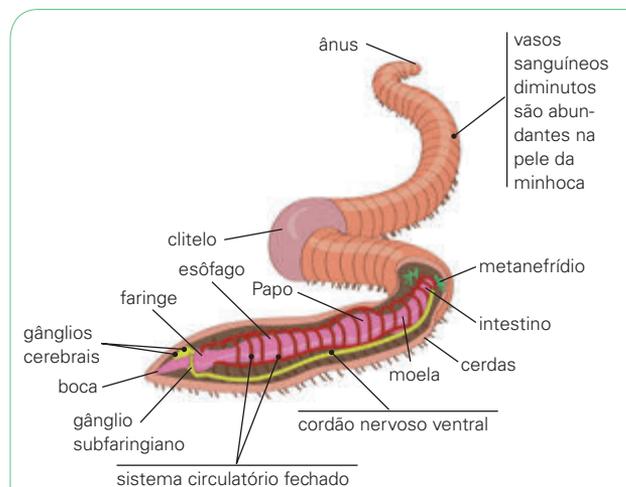
Minhoca comum, *Lumbricus terrestris* (classe Oligochaeta).

A locomoção ocorre pela alternância das contrações da musculatura longitudinal e circular. Nas minhocas, os músculos trabalham de forma antagônica, de modo que, quando as fibras longitudinais se contraem, a musculatura circular relaxa, e vice-versa. Desse modo, a minhoca realiza os movimentos característicos de raspar e de escavar.

FISIOLOGIA

Anelídeos possuem sistema digestório completo, formado por boca, faringe, esôfago, intestino e ânus. Podem ser detritívoros, carnívoros ou parasitas. Algumas formas ectoparasitas alimentam-se de sangue e fluidos de outros animais. Seu tubo digestório tem algumas regiões especializadas. A **faringe** é uma estru-

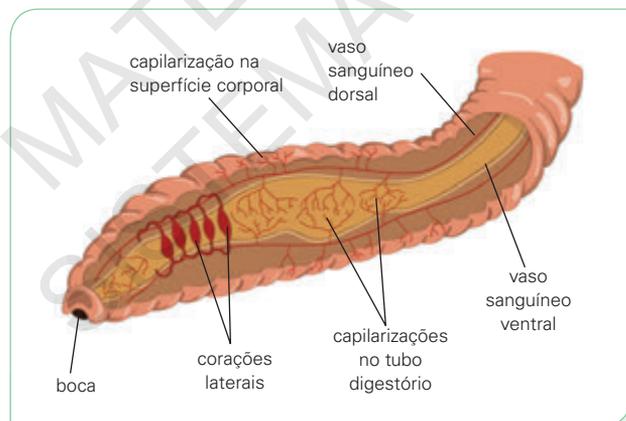
tura sugadora, que impulsiona para dentro o alimento ingerido pela boca. Temporariamente armazenado no **papo**, o alimento passa para a **moela** — órgão muscular responsável pela trituração do alimento ingerido. A absorção dos nutrientes realiza-se nos **cecos intestinais** e na **tiflosole** — expansões capazes de aumentar enormemente a área intestinal disponível para a absorção de nutrientes.



Anatomia interna da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2015. p. 698.

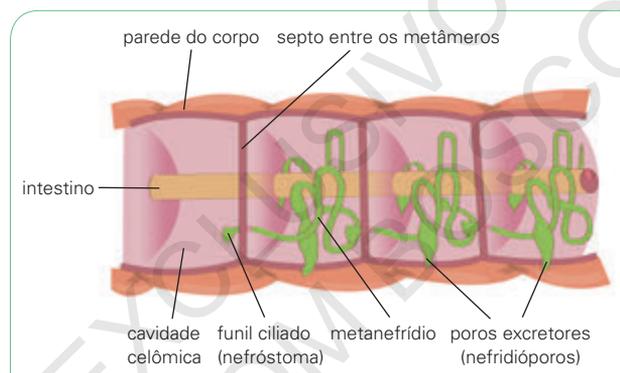
São os primeiros animais ao longo da evolução a apresentar **sistema circulatório fechado**. Nas minhocas o sangue impulsionado pelos vários corações (arcos aórticos) circula sempre no interior de vasos sanguíneos; ele contém pigmento transportador de oxigênio, a **hemoglobina**. Na passagem dos vasos pela epiderme ocorrem trocas gasosas com o meio pela **respiração cutânea**. Entre os poliquetas, é comum a presença de **brânquias** — áreas expandidas e ricamente vascularizadas na superfície externa do corpo — que pode estar presente em parapódios e tentáculos; quando presentes, as brânquias realizam as trocas gasosas com a água.



Representação do sistema circulatório dos anelídeos. As setas indicam a direção do fluxo de sangue. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 259. v. 3.

A excreção é feita por **nefrídios**, também chamados de **metanefrídios** — estruturas que lembram um longo funil ciliado cuja abertura (**nefróstoma**) se conecta à cavidade celomática. Em cada segmento do corpo da minhoca há **um par de nefrídios**, responsáveis pela retirada dos resíduos metabólicos do celoma e do sistema circulatório. Os resíduos são eliminados através de poros na superfície corporal denominados **nefridióporos**. Os poros excretores e as aberturas reprodutivas são diminutos orifícios na superfície corporal.



Representação do sistema excretor da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 259. v. 3.

Anelídeos possuem sistema nervoso ganglionar desenvolvido, formado por um par de gânglios maiores, os **gânglios cerebrais**, localizados na região anterior do corpo, em posição dorsal à faringe muscular. Os gânglios cerebrais formam um anel nervoso em torno da faringe que se une ventralmente (gânglio subfaringiano) e de onde partem um par de cordões nervosos longitudinais e um par de gânglios nervosos por segmento do corpo.

CLASSIFICAÇÃO

Tradicionalmente, os anelídeos são classificados em três classes: Oligochaeta (minhocas), Achaeta ou Hirudinea (sanguessugas) e Polychaeta (poliquetas). A principal característica morfológica utilizada nessa classificação são a presença e o número de cerdas no corpo dos animais.

CLASSE OLIGOCHAETA

O nome do grupo se refere ao pequeno número de cerdas presente no corpo; são **poucas cerdas por segmento** (geralmente quatro pares). A cabeça ou região anterior do corpo geralmente não é diferenciada. Externamente, destaca-se o clitelo.

Entre os oligoquetas mais conhecidos estão a *Lumbricus terrestris* (minhoca-comum); *Pheretima hawayana* (minhoca-doida); *Eisenia andrei* (minhoca-vermelha-da-califórnia); o *Rhinodrilus alatus* (minhocuçu, espécie que pode atingir mais de 2 m de comprimento); e *Tubifex* (gênero de espécies de água doce).



FABIO COLOMBINI

O minhocoçu (*Rhinodrilus alatus*) é também conhecido como a "minhoca gigante". Em razão de seu grande porte, muitas vezes é confundido com serpentes ou anfíbios como a cobra-cega (*Amphisbaena* sp.).

Ao escavar túneis e galerias no solo e se alimentar de restos de matéria orgânica, as minhocas eliminam excretas ricas em nutrientes, entre eles o nitrogênio, formando o húmus, que auxilia na retenção de umidade pelo solo e fornece nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Além disso, as galerias escavadas pelas minhocas facilitam a aeração do solo, contribuindo para o desenvolvimento das raízes das plantas. Assim, as minhocas desempenham papel fundamental na decomposição e ciclagem de nutrientes.

CLASSE POLYCHAETA

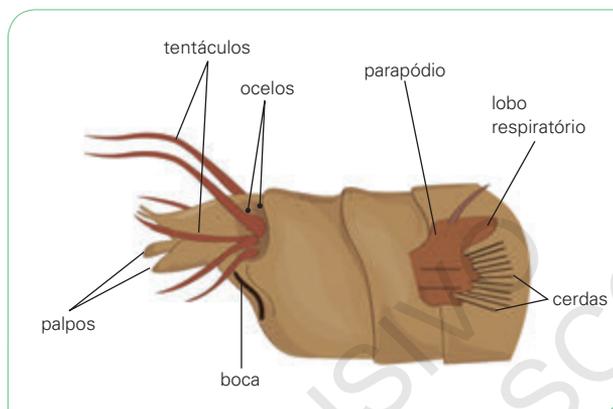
Poliquetas possuem **várias cerdas** em cada segmento do corpo, que estão muitas vezes inseridas em parapódios (do grego: *para*, semelhante; e *podos*, pé). A maioria dos poliquetas é de espécies marinhas, havendo espécies sedentárias e errantes (que se deslocam). Alguns vivem em pequenos túneis nas areias das praias, escavados pelo próprio animal; há espécies predadoras que rastejam no fundo do mar, capturando pequenos animais como alimento.

Poliqueta marinho predador (*Nereis* sp.).

PHOTOWIND/SHUTTERSTOCK

Entre os poliquetas mais conhecidos estão as espécies dos gêneros *Nereis*, *Eunice* e *Sabella* (poliquetas de tubo). Os poliquetas geralmente têm a cabeça diferenciada, contendo tentáculos, boca e estruturas

sensoriais. Em cada segmento do corpo há um par de parapódios com várias cerdas.



Morfologia externa da região anterior de um poliqueta. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLASSE ACHAETA OU HIRUDINEA

A maioria das espécies é de ambiente de água doce. São desprovidos de cerdas e de parapódios. Externamente possuem uma ventosa na região posterior, utilizada na locomoção, e uma ventosa na região anterior, ao redor da boca, utilizada para sugar o sangue (espécies ectoparasitas). Têm clitelo e apresentam um número fixo de segmentos no corpo (geralmente 30 ou 34). Boa parte das sanguessugas é ectoparasita e vertebrada, mas também há espécies predadoras e detritívoras.

O representante mais conhecido é a espécie *Hirudo medicinalis*, sanguessuga muito utilizada antigamente para fins terapêuticos em técnicas denominadas sangrias. A faringe da sanguessuga atua como uma potente bomba sugadora de sangue.



MARTIN PELANEK/SHUTTERSTOCK

Sanguessuga se alimentando de sangue.

REPRODUÇÃO

Anelídeos realizam somente reprodução sexuada. Minhocas e sanguessugas são espécies monoicas ou hermafroditas; poliquetas são, em sua maioria, dioicos.

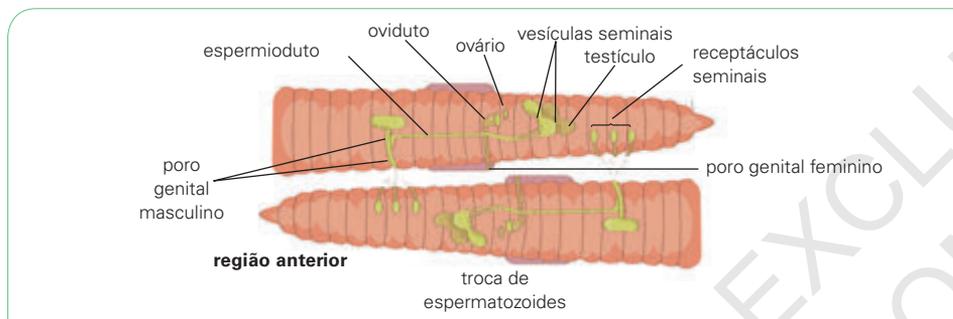
Embora monoicas, minhocas e sanguessugas têm fecundação cruzada. Durante a cópula, os animais se pareiam, e o poro genital masculino de um indivíduo conecta-se ao receptáculo seminal do outro indivíduo para a transferência dos espermatozoides. O muco secretado pelo clitelo mantém os indivíduos unidos durante a cópula.



MAJNA SHUTTERSTOCK

Acasalamento entre minhocas (*Lumbricus terrestris*).

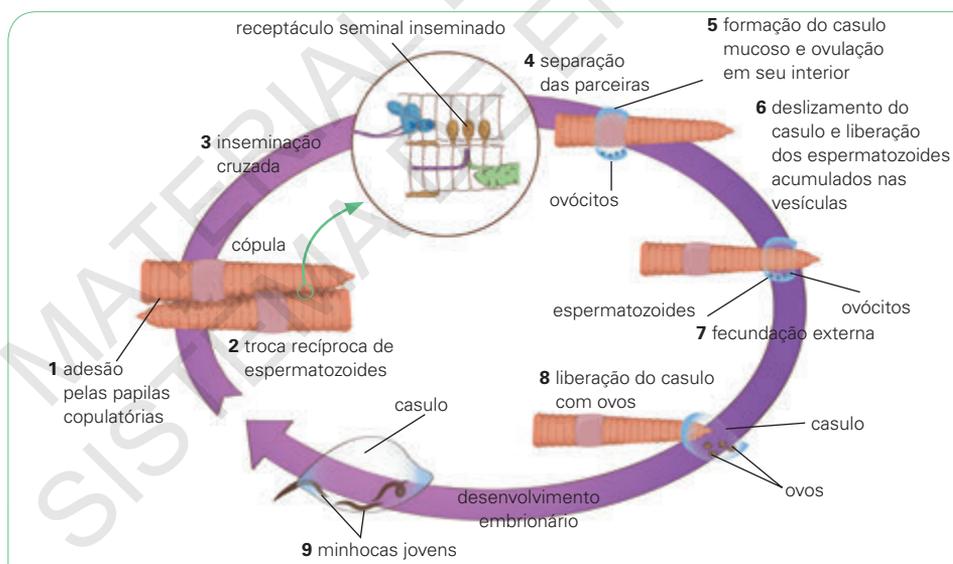
Posteriormente, ao redor do clitelo forma-se o casulo — bolsa gelatinosa onde os ovócitos são depositados através do poro genital feminino.



Representação do sistema reprodutor das minhocas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo:Moderna, 2010. p. 207. v. 2.

O casulo formado é deslocado para a região anterior do corpo por meio de contrações da musculatura e, ao passar pelas aberturas dos receptáculos seminais, recebe os espermatozoides, ocorrendo assim a fecundação externa. O desenvolvimento, no interior dos ovos, é direto, e os ovos formados permanecem no casulo, que é despreendido do corpo do progenitor. Na eclosão, são liberados indivíduos com características do adulto em miniatura.



Representação da reprodução sexuada em minhocas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sonia.; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 262. v. 3.

Nos poliquetas, que são dioicos, a fecundação é cruzada e externa, havendo a passagem por um estágio larval; portanto, seu desenvolvimento é indireto. A larva é chamada trocófora.

Moluscos

Moluscos são animais de corpo mole, entre os quais estão caracóis, lesmas, mexilhões, ostras, polvos e lulas. Representam o segundo maior filo animal em diversidade, depois dos artrópodes.

Nessa enorme diversidade de moluscos, são encontradas espécies muito interessantes e importantes sob as perspectivas econômica, ecológica e científica. Um exemplo são as lulas do gênero *Loligo*, utilizadas como modelo biológico para se compreender o funcionamento dos neurônios. Esses animais foram escolhidos por apresentar fibras nervosas (axônios) gigantes, característica bastante favorável para esse tipo de estudo. As pesquisas possibilitaram a compreensão dos fundamentos da propagação dos impulsos nervosos (potencial de ação), tanto entre os neurônios, quanto ao longo de um mesmo neurônio. Os estudos foram tão importantes para a neurociência, que renderam aos pesquisadores britânicos Alan Lloyd Hodgkin (1914-1998) e Sir Andrew Fielding Huxley (1917-2012) o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia de 1963.

Os cefalópodes (polvos e lulas) também são excelentes modelos biológicos para estudos sobre aprendizado, inteligência e comportamento animal. São considerados uns dos mais inteligentes seres entre os invertebrados. Além disso, diversos estudos demonstraram que os cefalópodes têm grande capacidade de aprendizado por meio da observação.

CARRIE VONDERHAAR/OCEAN FUTURES SOCIETY



A lula-de-humboldt (*Dosidicus gigas*) é um enorme molusco do leste do Oceano Pacífico. Pode medir até 1,5 m e pesar 45 kg.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

O filo Mollusca (do latim *molluscus* = mole) inclui mais de 100 mil espécies vivas e pelo menos 35 mil outras já extintas. A história geológica do grupo está bem documentada pelo fato de seus representantes geralmente apresentarem uma concha calcária, o que aumenta significativamente as chances de preservação.

Esse grupo é bastante heterogêneo. Geralmente de vida livre, a maioria dos membros do filo é marinha, mas também há espécies adaptadas a ambientes de água doce e terrestre. Compreende tanto formas sedentárias como organismos de locomoção rápida, como polvos e lulas.



EUGENE R



CIGDEM SEAN COOPER



HANSIE OOSTHUIZEN

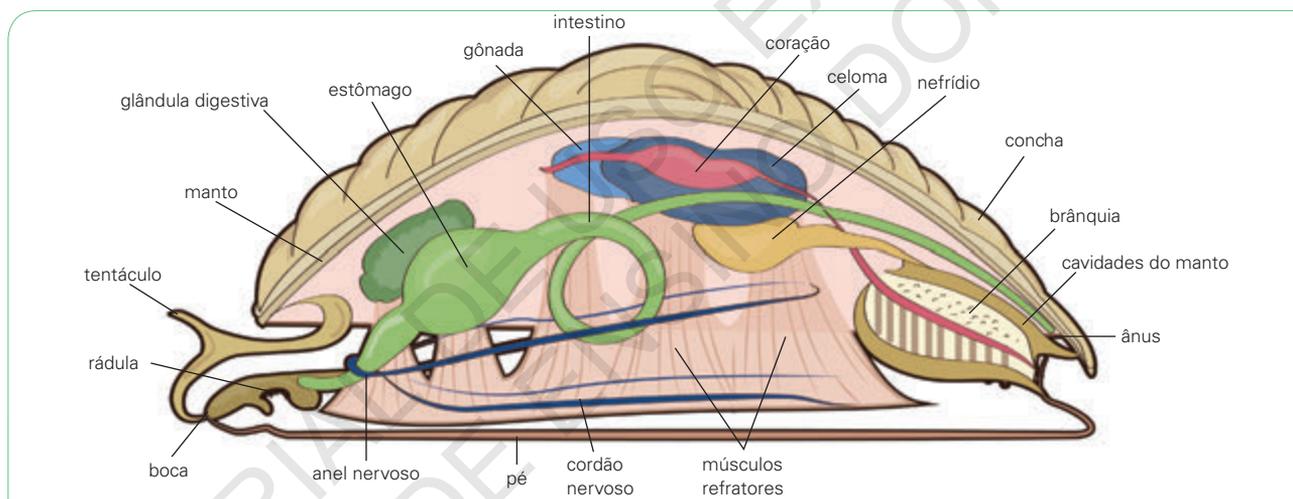
Exemplos de moluscos terrestres e aquáticos da classe Gastropoda. À esquerda, caramujo-gigante africano (*Achatina fulica*), espécie exótica introduzida no Brasil. Ao centro, nubibrânquios conhecidos como lesmas-do-mar (*Phyllidia* sp.). À direita, mexilhões (*Mytilus* sp.) da classe Bivalvia.

Mariscos, lulas e *escargots* são exemplos de moluscos de grande importância econômica, por serem apreciados na gastronomia. Há também algumas espécies de ostras que produzem pérolas que são cultivadas para a produção em escala comercial. Entre as espécies indesejáveis, existem alguns caramujos e lesmas considerados pragas agrícolas, por se alimentarem de plantas cultivadas, além de espécies transmissoras de patógenos ou hospedeiras de verminoses.

Morfologia

Embora os moluscos exibam grande variação de padrões morfológicos externos, compartilham uma série de características provenientes de sua ancestralidade comum. São triblásticos não segmentados, celomados (esquizocelia), protostômios, enterozoários completos, têm simetria bilateral e um corpo constituído de três partes principais.

Em geral, o corpo dos moluscos divide-se em **cabeça**, **pé** e **massa visceral**. Na cabeça ficam a boca e os órgãos sensoriais. Gastrópodes e cefalópodes têm essas duas estruturas bem desenvolvidas. Nos bivalves, a cabeça é bastante reduzida ou quase ausente. A estrutura muscular mais desenvolvida dos moluscos é o pé, com o qual se deslocam, cavam, nadam e capturam presas. O conjunto de órgãos internos do animal constitui a massa visceral, revestida e protegida pelo **manto** ou **pálio**. Este é um tecido epidérmico rico em glândulas secretoras que produzem a concha. Entre a massa visceral e o manto, está a cavidade palial ou cavidade do manto.



Plano corporal básico dos moluscos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 10 ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 536.

A cavidade do manto tem importância fundamental na morfologia dos moluscos, pois nela estão as brânquias e as aberturas digestivas, excretoras e reprodutoras. Na maioria dos moluscos, a cavidade do manto permanece preenchida por água, que circula em razão dos movimentos musculares e dos batimentos dos cílios que recobrem a superfície interna. A água entra e sai continuamente por dobras do manto chamadas **sifões**. Ela entra pelo sifão inalante e sai pelo exalante. A circulação da água garante a respiração, a excreção e, em alguns casos, a alimentação do animal (como nos bivalves).

Em grande parte dos moluscos, o manto secreta uma concha calcária que protege o corpo e atua na proteção e na defesa do animal. Algumas espécies não têm concha (como polvos e lesmas), outras apresentam conchas bastante reduzidas e internas (a exemplo de lulas).



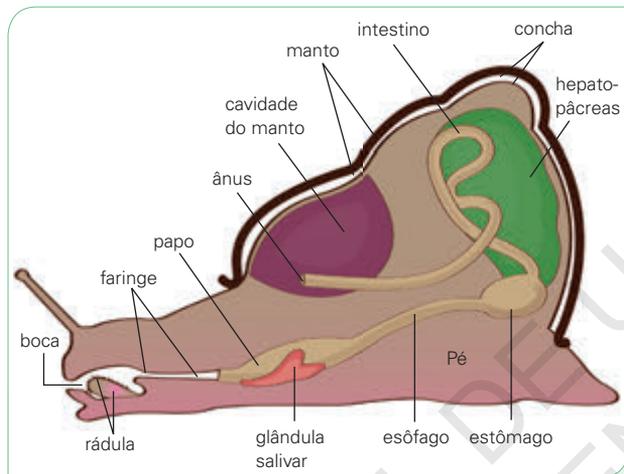
Polvo do gênero *Hapalochlaena*, grupo conhecido por ser venenoso. A seta aponta para o sifão exalante, que faz a propulsão durante a locomoção.

FISIOLOGIA

SISTEMA DIGESTÓRIO

Moluscos têm sistema digestório completo, com boca e ânus. Na boca há uma estrutura chamada **rádula**, semelhante a uma língua musculosa, com pequenos dentes de quitina. Ela se conecta a músculos que realizam movimentos de vaivém, raspando e macerando alimentos presos ao substrato (principalmente algas). Alguns moluscos mais antigos (solenogastres) e os bivalves (ostras e mariscos) não apresentam essa estrutura, já que são, em sua maioria, animais filtradores.

O estômago é um alargamento do tubo digestivo, conectado a glândulas digestivas (ou hepatopâncreas), as quais secretam enzimas que realizam a digestão na cavidade estomacal. As partículas digeridas são absorvidas por células do trato digestivo, passando para o sangue (ou hemolinfa).



Representação esquemática de um gastrópode, com destaque para as estruturas do sistema digestório. O ânus se abre na cavidade do manto. Elementos fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. p. 249. v. 3.

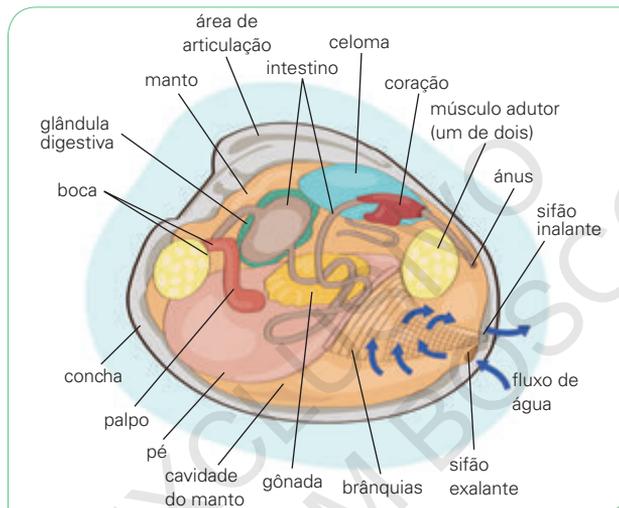
SISTEMA CIRCULATÓRIO

A maioria dos moluscos apresenta sistema circulatório aberto ou lacunar, cujo fluido é denominado **hemolinfa**. Impulsionada pelo coração, esta segue por vasos até alcançar lacunas entre os tecidos denominados **hemocelos**. A hemolinfa então leva nutrientes e oxigênio e recolhe gás carbônico e outros resíduos metabólicos. Os cefalópodes são os únicos moluscos que apresentam um sistema circulatório **fechado**, no qual o sangue circula o tempo todo no interior de vasos.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

O manto vascularizado possibilita trocas gasosas entre a hemolinfa e o ambiente externo, tanto atmosférico quanto aquático. Nos moluscos terrestres, como o caracol-de-jardim (*Helix* sp.), a cavidade do manto cheia de ar funciona como um pulmão. Lâminas de tecido ricamente vascularizadas no manto formam as

brânquias dos moluscos aquáticos. Além disso, nos terrestres ou nos aquáticos, esses animais apresentam um pigmento respiratório chamado **hemocianina**. A superfície corporal dos moluscos também auxilia nas trocas gasosas, característica da respiração cutânea.



Representação esquemática da circulação de água no interior de um mexilhão. As partículas alimentares em suspensão entram pelo sifão inalante, ficam retidas no muco das brânquias e passam dos cílios e palpos para a boca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 698.

SISTEMA EXCRETOR

A excreção dos moluscos é realizada por um par de **nefrídios** ou **metanefrídios**, cujas aberturas ciliadas retiram as excreções da cavidade pericárdica, eliminando-as do corpo por meio de poros excretores, que se abrem na cavidade do manto. Em alguns moluscos, como nos cefalópodes, os metanefrídios encontram-se bastante agrupados, formando um rim primitivo.

SUSTENTAÇÃO E LOCOMOÇÃO

A locomoção dos moluscos geralmente é lenta, realizada pelos pés, os quais são adaptados para fixação e servem para rastejar, nadar e cavar. Polvos e lulas têm um sifão propulsor que expulsa a água quando se deslocam.

SISTEMA NERVOSO E SENSORIAL

O sistema nervoso dos moluscos é **ganglionar ventral**, com a presença de diversos pares de gânglios nervosos dos quais partem cordões nervosos para todas as partes do corpo. Os cefalópodes têm gânglio cerebral e olhos bastante desenvolvidos, os quais apresentam várias similaridades com os olhos dos vertebrados. Alguns moluscos têm apenas ocelos, cuja função é detectar a luz, sem formar imagens, tal como acontece com os platelmintos.

REPRODUÇÃO

Moluscos realizam reprodução sexuada. Nesse grupo há muitas formas de reprodução. Existem

espécies monoicas ou hermafroditas, mas a maioria é dioica. A fecundação, no entanto, é sempre cruzada. Também há espécies que realizam fecundação interna e aquelas de fecundação externa. O desenvolvimento pode ser direto ou indireto. O tipo de larva mais comumente encontrada entre os moluscos é a **trocófora**.

O caracol-de-jardim, por exemplo, é monoico. Durante a cópula, dois indivíduos se aproximam e encostam os poros genitais através dos quais se fecundam reciprocamente. Os ovos se desenvolvem e, ao eclodir, liberam indivíduos sem a passagem por um estágio larval, caracterizando um desenvolvimento direto.

CLASSIFICAÇÃO

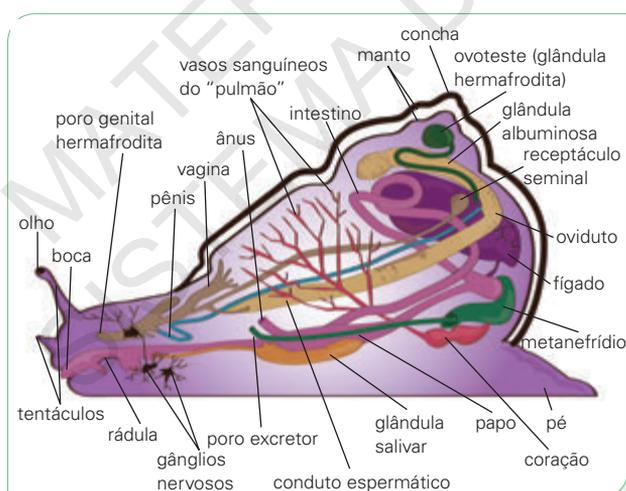
Os moluscos atualmente são divididos em oito classes. Neste módulo serão estudadas as cinco mais diversas, que incluem os representantes mais conhecidos:

- **Gastropoda** – caramujos, caracóis e lesmas terrestres e marinhas;
- **Bivalvia** – ostras, mexilhões e mariscos;
- **Cephalopoda** – polvos, lulas, náutilos e sépias;

CLASSE GASTROPODA

Maior grupo de moluscos, compreende cerca de 3/4 das espécies conhecidas (cerca de 70 000). A maioria é marinha, mas também há espécies terrestres e de água doce. Essa classe é representada por caramujos, lesmas terrestres e marinhas, caracóis e lebres-do-mar.

Em algumas espécies, a concha é interna e reduzida ou não existe (como nas lesmas terrestres). Caracóis e caramujos apresentam concha externa em uma única peça retorcida; por isso são chamados univalves. A cabeça dos gastrópodes é desenvolvida, com olhos e rádula.



Representação esquemática da morfologia interna de um caracol-de-jardim. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio. 2. ed.* São Paulo: Saraiva, 2013. p. 246. v. 3.

Nos gastrópodes está a família dos caramujos planorbídeos, do gênero *Biomphalaria*. Esses animais têm importância na saúde pública, porque são hospedeiros intermediários do *Schistosoma mansoni* (causador da esquistossomose). Outra espécie de preocupação para a saúde pública é o caramujo-gigante africano (*Achatina fulica*), introduzido no Brasil na década de 1980. O objetivo era usar os animais na gastronomia – o que posteriormente se mostrou inadequado. Essa espécie foi liberada pelos criadores e abandonada no ambiente. Atualmente encontra-se espalhada por 23 estados brasileiros, transmitindo várias patologias e causando grandes impactos ecológicos nas espécies nativas em razão da falta de predadores e patógenos naturais. É possível contaminar-se com a simples manipulação desses moluscos vivos, pois sua secreção pode conter dois tipos de microrganismos nocivos:

- *Angiostrongylus costaricensis* – Causador da angiostrongiliase abdominal, doença que pode resultar em morte por perfuração intestinal, peritonite e hemorragia abdominal. Os sintomas são dor abdominal, febre prolongada, anorexia e vômito.
- *Angiostrongylus cantonensis* – Causador da angiostrongiliase meningoencefálica humana. Os sintomas são dor de cabeça forte e constante, rigidez na nuca e distúrbios do sistema nervoso.

CLASSE BIVALVIA

São todos aquáticos (marinhos ou de água doce). Ostras, mariscos, mexilhões, vieiras e teredos estão entre os representantes mais conhecidos. Anteriormente o grupo era conhecido como pelecípoda, termo que significa “pé em forma de machado”. Uma concha com duas valvas articuladas justifica o nome atual do grupo: bivalves.

Apresentam cabeça bastante reduzida ou ausente. O pé é usado para escavação e locomoção. Nos bivalves, as brânquias têm função respiratória e um importante papel na alimentação, pois filtram as partículas alimentares em suspensão na água. A rádula está ausente nessa classe.



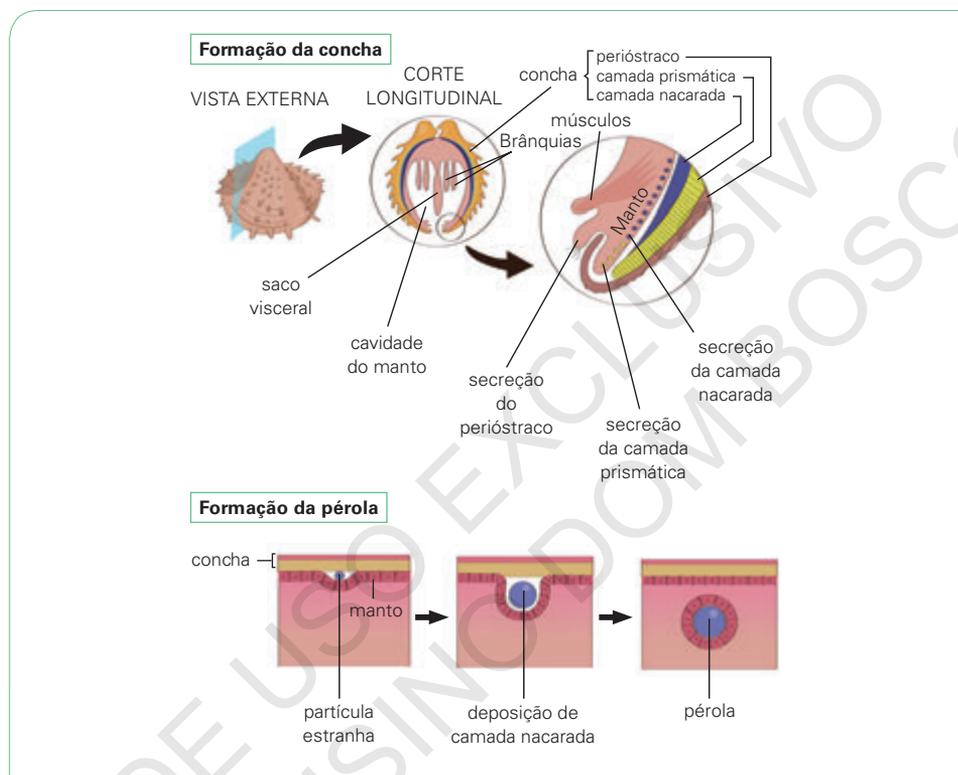
As ostras do gênero *Meleagrina* estão entre as principais espécies utilizadas para a produção de pérolas.

Formação das pérolas

Esse processo acontece quando uma partícula estranha (como um grão de areia ou um parasita) se aloja

entre o manto e a concha de uma ostra. Como uma resposta defensiva natural dos bivalves, o corpo estranho é envolvido por sucessivas **camadas de nácar**, substância secretada que o isola do corpo da ostra. Esse material então se mineraliza e forma a pérola.

O que se faz comumente é induzir artificialmente a formação de pérolas pelas ostras. No Japão há grandes fazendas de cultivo de ostras para a produção de pérolas, sem nenhuma finalidade alimentar.



Acima, representação esquemática da concha de um molusco bivalve mostrando os locais do manto responsáveis pela produção da concha. Abaixo, etapas da formação das pérolas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. *Bio. 2. ed.* São Paulo: Saraiva, 2013. p. 248. v. 3.

CLASSE CEPHALOPODA

Esse grupo inclui polvos, lulas, sépias, sibas e náutilos – todos animais marinhos. Têm sistema nervoso e olhos bem desenvolvidos, com elevado grau de cefalização. Neles, o pé originou o sifão (funil) e os tentáculos, localizados na região cefálica. Os cefalópodes expõem a água da cavidade do manto pelo funil, de maneira que ele participa da circulação da água e da locomoção, por meio de jato de propulsão.



Náutilo (*Nautilus* sp.), cefalópode com concha externa.

Os tentáculos, geralmente com ventosas, são usados na captura de alimento e na locomoção. Os polvos têm oito tentáculos. As lulas, por sua vez, apresentam

dez. Há espécies de cefalópodes com concha externa (náutilos), com concha interna bastante reduzida (lula) e espécies sem concha (polvo).



2114978565

Lula (*Loligo* sp.), cefalópode de concha interna bastante reduzida.

LEITURA COMPLEMENTAR

Espécies invasoras

O mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*) é uma espécie exótica originária da Ásia que chegou ao Brasil com a água do lastro de navios. Capaz de se fixar em qualquer substrato, exibe grande capacidade adaptativa. A espécie se reproduz com facilidade e pode viver até três anos. Tornou-se uma praga nas bacias do Uruguai, Paraguai, Paraná e Jacuí-Patos.

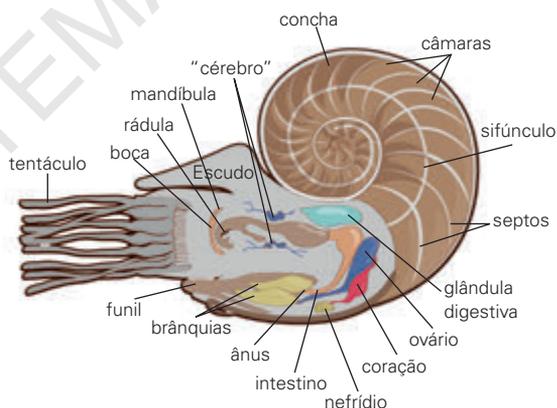
Diversos estudos demonstraram que espécies introduzidas, acidentalmente ou não, estão entre os principais fatores responsáveis pela perda de biodiversidade no planeta.



HELISSA GRUNDEWANN

Mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), espécie exótica amplamente distribuída em virtude da facilidade de adaptação a novos ambientes.

Em situações de ameaça, os cefalópodes lançam um jato de tinta escura na água, que forma uma “nuvem” escura que atordoa o predador e possibilita a fuga do animal. Um tipo de nanquim natural é extraído da glândula de tinta desses moluscos. Os cefalópodes podem mudar sua coloração e adquirir tons de rosa, amarelo e azul, formando até mesmo listras ou manchas irregulares. Os cromatóforos, células especiais da epiderme com grânulos de pigmentos, são responsáveis por essas mudanças de coloração, usadas em rituais de corte ou para autodefesa.



Morfologia interna de um náutilo. O corpo ocupa a última volta da concha. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. p. 569.

ROTEIRO DE AULA

ANNELIDA

Novidades evolutivas

Excreção

metanefrídeos

Esqueleto

hidrostático

Sistema nervoso

ganglionar

Reprodução

Sexuada

monoicos ou díicos

Fecundação:
interna e externa

Características gerais

Ambientes terrestres úmidos

Blastóporo origina:
boca

triblásticos

Simetria

bilateral

Corpo protegido por:

cutícula

cerdas

Enterozoários completos

Classificação

Oligochaeta

POUCAS CERDAS

presença de clitelo

minhocasHirudínea (Achaeta)

cerdas ausentes

presença de clitelo

sanguessugas

Fisiologia

Excreção

metanefrídiosRespiração

cutânea e/ou branquial

Sistema circulatório

fechado

Sistema nervoso

ganglionar

Tubo digestivo

completoPolychaeta

muitas cerdas, parapódios

clitelo ausente

poliquetas

ROTEIRO DE AULA

MOLLUSCA

Características gerais

ambientes aquáticos e terrestres

celomados

entozoários

completos

simetria:

bilateral

concha calcária

corpo:

cabeça, pé e massa visceral

Classificação

Gastropoda

caramujos, caracóis e lesmas

concha torcida que abriga o corpo

cabeça e pé desenvolvidos

Cephalopoda

polvos, lulas, sépias, náutilos

Bivalvia

mariscos, mexilhões

rádula

ausente

conchas com duas valvas

cabeça reduzida

Polyplacophora

marinhas

ROTEIRO DE AULA

rádula

Fisiologia

excreção

metanefrídios

sistema circulatório

aberto (maioria)

tubo digestório

completo

respiração

branquial, pulmonar e cutânea

sistema nervoso

gânglios nervosos

Reprodução

sexuada

espécies monoicas e dioicas

fecundação

cruzada

interna e externa

desenvolvimento

direto e indireto

larva trocófora

concha:

reduzida, interna ou ausente

sistemas nervoso e sensorial

sistema circulatório:

fechado

quítons

concha com sete ou oito placas dorsais

sem segmentação

Scaphopoda

marinhas

concha:

tubular (cone)

bentônicos

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unisa-SP (adaptado) – Analise os seguintes animais invertebrados.



A minhoca e o caracol são animais celomados e a planária é um animal acelomado. Quais as principais funções do celoma?

O celoma é uma cavidade corporal preenchida por fluido que aloja os órgãos internos do animal, pode contribuir para a distribuição de substâncias e desempenhar o papel de esqueleto hidrostático.

2. Imed-RS (adaptado)

C4-H13

A alternativa que contempla a principal novidade evolutiva dos anelídeos em relação aos platelmintos, nematelmintos e cnidários é:

- a) Metameria. d) Rádula.
 b) Brânquias. e) Celoma.
 c) Gânglios nervosos.

A novidade evolutiva dos representantes do filo dos anelídeos em relação aos demais grupos (platelmintos, nematelmintos e cnidários) é o corpo segmentado, ou metamerizado.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

3. Univale-MG – Em relação aos anelídeos, assinale a alternativa incorreta:

- a) Possuem tubo digestivo completo.
 b) Apresentam, exclusivamente, respiração cutânea.
c) Realizam o processo de excreção através de nefrídios.
d) Possuem sistema nervoso ganglionar e ventral.
e) Apresentam o corpo totalmente segmentado.

Anelídeos, como a minhoca e a sanguessuga, apresentam respiração cutânea e poliquetas apresentam respiração branquial.

4. Unicamp-SP – O filo Mollusca é o segundo maior do reino animal em número de espécies. É correto afirmar que os moluscos da classe Gastropoda

- a) são exclusivamente marinhos.
b) possuem conchas, mas não rádula.
c) são exclusivamente terrestres.
 d) possuem pé desenvolvido e rádula.

Os moluscos da classe Gastropoda, como os caracóis, têm pé desenvolvido e rádula. A grande maioria possui concha externa desenvolvida e retorcida que abriga o corpo do animal. No entanto, também há gastrópodes cuja concha é reduzida ou mesmo ausente, como as lesmas. Entre os gastrópodes, a maioria é de espécies marinhas, mas também existem espécies de água doce e terrestres.

5. UFMG (adaptado) – Observe esta espécie de caranguejo, que se alimenta de moluscos:



Cite uma característica adaptativa que permite aos moluscos evitar uma predação intensa.

Uma estratégia de proteção característica do grupo dos moluscos é a presença de concha calcária, encontrada principalmente em gastrópodes e bivalves. Quando ameaçados, os cefalópodes (moluscos cuja concha é interna ou reduzida) costumam liberar tinta ou mudar de coloração.

6. Unicid-SP – Lesma, caracol, lula e polvo pertencem ao Filo Mollusca.

a) Quais os dois tipos de sistema circulatório encontrados nos animais citados?

A maioria dos moluscos tem sistema circulatório do tipo aberto. Nele o sangue ou hemolinfa flui parcialmente no interior de vasos e em cavidades entre os tecidos, denominadas de hemocelos. Gastrópodes (lesma e caracol) e bivalves apresentam sistema circulatório aberto.

O único grupo de moluscos com sistema circulatório fechado são os cefalópodes (lulas, polvos, náutilos), no qual o sangue flui apenas no interior de vasos.

- b) As lesmas e os caracóis deixam um rastro viscoso por onde se locomovem. A lula e o polvo expelem um jato de tinta em determinadas situações. Explique as vantagens adaptativas destas duas ações.

O rastro viscoso (muco) produzido por moluscos gastrópodes auxilia a locomoção, que ocorre pelo deslizamento do pé sobre esse muco, facilitado por ação ciliar. O muco produzido também pode ser usado para a adesão (fixação) do pé do molusco ao substrato. Lulas e polvos produzem uma tinta escura liberada com um jato de água pelo funil (na região cefálica). Isso forma uma "nuvem" escura na água ao seu redor

que confunde e atordoa os predadores, possibilitando a fuga do animal.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFJF-MG

Estudo que contou com a participação de um pesquisador brasileiro revela que a presença das minhocas no solo aumenta a produtividade agrícola. O resultado mostra que a presença das minhocas aumentou a produtividade de grãos e a biomassa aérea de plantas, afirma George Brown, pesquisador em ecologia do solo da Embrapa Florestas (PR). "O resultado era esperado", afirma Brown. "Há centenas de anos as minhocas são consideradas aliadas do agricultor, ajudando no crescimento das plantas. Contudo, o que não sabíamos ainda era a dimensão do efeito positivo, nem como ele funcionava".

Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2057172/minhocas-aumentam-produtividade-agricola>>. Acesso em: 4 out. 2016. (Adaptado)

Leia as afirmativas a seguir:

- I. As minhocas vivem em galerias escavadas no solo e a sua atividade de escavação melhora a textura e a estrutura do solo tornando-o mais poroso e aerado.
- II. As minhocas se alimentam da matéria orgânica disponível no substrato, acelerando a sua decomposição e reincorporação ao solo.
- III. As minhocas são predadores que se alimentam de invertebrados do solo prejudiciais para as plantas, ajudando, assim, no controle de pragas de plantações.
- IV. Os excrementos das minhocas são ricos em nitrogênio, um dos nutrientes mais importantes para o crescimento das plantas.
- V. As fezes das minhocas, quando incorporadas ao substrato, formam o húmus, um excelente adubo natural.

Assinale a alternativa com as afirmativas corretas:

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

8. **Sistema Dom Bosco** – O filo Annelida compreende os grupos das minhocas, sanguessugas e poliquetas. Em relação à reprodução, minhocas e sanguessugas são bastante similares. Seus representantes são espé-

cies _____ que realizam fecundação _____ e _____, e apresentam desenvolvimento _____.

Assinale a alternativa que preenche, correta e respectivamente, as lacunas acima.

- a) monoicas; interna e cruzada; indireto
- b) dioicas; externa e cruzada; direto
- c) monoicas; interna e cruzada; direto
- d) dioicas; interna e cruzada; indireto
- e) monoicas; externa e cruzada; indireto

9. **CPS-SP** – Os vegetais precisam respirar. Para tanto, eles absorvem gás oxigênio do ambiente. Essa absorção ocorre principalmente através de suas folhas e de suas raízes. Assim, o solo precisa ter certa quantidade de ar para que as raízes possam absorver o gás oxigênio. Considerando esse aspecto, podemos afirmar que as minhocas prestam um importante serviço ecológico, pois contribuem para o arejamento do solo.

As minhocas estão sempre cavando túneis e revolvendo a terra à procura de restos orgânicos, dos quais se alimentam, deixando a terra fofa e arejada. Além disso, esses túneis facilitam a drenagem das águas das chuvas.

Em solos muito duros, normalmente não há minhocas, principalmente porque ali elas não conseguem cavar as suas galerias. Não existindo esses animais, a terra terá menos húmus e menos gás oxigênio e, portanto, oferecerá menos recursos para a vida vegetal.

Sobre esses animais, é correto afirmar que

- a) são invertebrados, de vida parasitária, como as lombrigas e as sanguessugas.
- b) possuem corpo cilíndrico, não segmentado e respiram por meio de brânquias.
- c) favorecem a agricultura, pois produzem o gás oxigênio necessário à respiração das raízes dos vegetais.
- d) sintetizam a matéria orgânica de que necessitam para sobreviver a partir dos minerais que absorvem do solo.
- e) rastejam e cavam túneis graças à contração e distensão coordenadas dos músculos de cada segmento do corpo.

10. UEM-PR (adaptado) – Sobre algumas adaptações dos animais, analise as afirmativas abaixo.

- I. Anelídeos aquáticos, representados pelas minhocas; e cnidários, representados pelos crustáceos apresentam expansões externas de superfície, denominadas brânquias, usadas para trocas gasosas.
- II. As minhocas apresentam uma prega longitudinal interna, posterior aos cecos, na parte superior do intestino, denominada tiflossole, que tem a função de aumentar a área intestinal para facilitar a absorção dos nutrientes.
- III. O clitelo presente em certos poliquetas tem por função auxiliar na locomoção.

a) Quais afirmativas estão corretas?

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

11. UEL-PR – É comum, quando pessoas entram em lagoas do Pantanal, anelídeos sanguessugas se fixarem na pele para se alimentarem. Para isso, utilizam uma ventosa oral que possui pequenos dentes afiados que raspam a pele, provocando hemorragia.

Com relação às sanguessugas, considere as afirmativas a seguir.

- I. Contêm um par de nefrídio individualizado para cada segmento corporal.
- II. São celomados com inúmeros segmentos iguais separados internamente por septos transversais membranosos.
- III. Da mesma forma que as minhocas, as sanguessugas apresentam cerdas para a locomoção.
- IV. Assim como nas minhocas, os órgãos são irrigados por uma rede contínua de capilares que se estende sob a epiderme.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e III são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e IV são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

12. Unisinos-RS

S. ROHLACH



No último verão, o aparecimento do dragão-azul (*Glaucus* sp.) no litoral gaúcho impressionou, e até assustou, alguns veranistas. Embora o animal não produza toxinas, ele se alimenta de pequenos cnidários flutuantes (*Velella velella* e *Porpita porpita*) sem ser afetado por suas estruturas urticantes, que ficam armazenadas em seu corpo. Entretanto, o dragão-azul não oferece sérios riscos de acidentes com humanos. Este animal é um molusco pequeno, com dimensões de 3 a 4 cm de comprimento, pertencente ao grupo das lesmas-do-mar (nudibrânquios).

Sobre os moluscos, considere as proposições a seguir.

- I. Os moluscos possuem sistema excretor formado por metanefrídeos.
- II. O sistema respiratório dos moluscos pode ser pulmonar, cutâneo ou branquial.
- III. Os moluscos podem se reproduzir de forma sexuada ou assexuada.

Sobre as proposições acima, é correto afirmar que

- a) apenas I está correta.
- b) apenas II está correta.
- c) apenas I e II estão corretas.
- d) apenas I e III estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.

13. UERJ – Os moluscos são animais de corpo mole que, em sua maioria, possuem sistema circulatório aberto e concha calcária, movimentam-se lentamente e se restringem a ambientes aquáticos. Entretanto, modificações nesse padrão são encontradas em cefalópodes, como as lulas, e em alguns gastrópodes, como o caramujo, conforme se observa na tabela.

Moluscos	Hábitat	Preferência alimentar	Modificações
Cefalópodes	marinhos	peixes	- concha interna reduzida ou ausente - sistema circulatório fechado
Gastrópodes	terrestres	vegetais	- desenvolvimento sem passagem pela etapa de larva - maior produção de muco

Indique uma contribuição de cada uma das modificações apresentadas na última coluna da tabela, para que os respectivos grupos de moluscos sobrevivam em seus ambientes.

14. UERJ – Esponjas e mexilhões podem ser considerados bioindicadores, uma vez que a análise de seus tecidos revela a concentração de poluentes na água.

Isso ocorre porque, no meio aquático, esses animais são caracterizados, em sua maioria, como

- a) filtradores.
- b) raspadores.
- c) predadores.
- d) decompositores.

15. UFRGS-RS – Com base nas características dos moluscos, assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo.

- () Os moluscos apresentam simetria radial.
- () O corpo é constituído por cabeça, pé e massa visceral.
- () Os bivalves possuem sifões para a entrada e a saída de água.
- () A composição da concha externa é calcária ou celulósica.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) F - F - V - F. c) F - V - V - F. e) V - V - F - F.
- b) V - F - F - V. d) V - V - F - V.

16. UFJF-MG (adaptado) – A figura abaixo é uma representação das principais características corporais encontradas no filo Mollusca. Os números I, II e III representam algumas classes de moluscos.



a) Denomine uma classe da figura acima que inclui moluscos com rádula e outra sem rádula:

b) Como os moluscos sem rádula se alimentam?

c) Cite um exemplo que demonstra a importância ecológica dos bivalves.

17. UEPG-PR (adaptado) – Com relação às características gerais e aspectos anatômicos e fisiológicos dos anelídeos, analise as afirmativas abaixo.

- 01) Entre os anelídeos, os oligoquetas possuem uma cabeça diferenciada, onde há vários apêndices sensoriais. Nesse aspecto se distinguem dos poliquetas, que não têm cabeça diferenciada.
- 02) A excreção da minhoca e de outros anelídeos é executada pelos metanefrídios. Cada metanefrídio é um tubo fino e enovelado, com um funil ciliado em uma extremidade, o nefróstoma, o qual se abre na cavidade celomática. A outra extremidade do metanefrídio, o nefridióporo, se abre na superfície do corpo do animal.
- 04) O sistema nervoso de um anelídeo é constituído por um único cérebro central de onde emergem vários cordões nervosos ventrais. Esses cordões nervosos ventrais se ligam às dezenas de gânglios nervosos de cada metâmero.
- 08) Os movimentos de escavação e locomoção dos anelídeos resultam da ação do líquido celomático como esqueleto hidrostático.

a) Quais itens estão corretos?

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFRN (adaptado)

C8-H29

A atividade das minhocas favorece a agricultura, pois reduz a compactação e facilita a aeração do solo. Entretanto, em função das características climáticas do semiárido nordestino, o uso de minhocas na lavoura não é recomendado devido à baixa sobrevivência desses animais na região. Isso ocorre porque há

- a) aumento da absorção de gás carbônico, aumentando o metabolismo.
- b) redução da difusão de oxigênio, aumentando a de gás carbônico.
- c) redução da concentração do sangue, diminuindo a difusão de oxigênio.
- d) aumento da desidratação, prejudicando a respiração.
- e) diminuição do gasto energético, aumentando a demanda de oxigênio.

19. PUC-SP

C4-H13

Analise a tira de quadrinhos abaixo.



NIQUELE NAUSEA

Embora hermafroditas, os caramujos normalmente têm fecundação cruzada, mecanismo que leva a descendência a apresentar

- a) aumento de variabilidade genética em relação à autofecundação e maior chance de adaptação das espécies ao ambiente.
- b) diminuição da variabilidade genética em relação à autofecundação e maior chance de adaptação das espécies ao ambiente.

- c) variabilidade genética semelhante à da autofecundação e as mesmas chances de adaptação das espécies ao ambiente.
- d) diminuição de variabilidade genética em relação à autofecundação e menor chance de adaptação das espécies ao ambiente.
- e) variabilidade genética semelhante à da autofecundação e menor chance de adaptação das espécies ao ambiente.

20. UFJF-MG

C8-H28

Espécies invasoras, introduzidas acidentalmente ou propositalmente como no caso do *escargot*, causam muitos danos, provocando prejuízos econômicos e ambientais. Em 1991, o mexilhão-dourado (*Limnoperna fortunei*), um bivalve de água doce, originário da Ásia, chegou à América do Sul, provavelmente vindo de Hong Kong ou da Coreia por água de lastro de navios. Espalhou-se rapidamente e tornou-se uma espécie invasora, inclusive no Brasil, onde chegou em 1998, e já infestou rios, lagos e reservatórios da Região Sul e do Pantanal. É correto afirmar que essa espécie invasora é capaz de

- a) alocar recursos suficientes para sua sobrevivência, sem afetar o bem-estar de todas as espécies naquele habitat.
- b) proliferar de forma controlada, sem ameaçar o equilíbrio dos ecossistemas, o qual ela vai ocupando e transformando em seu benefício.
- c) instalar-se no novo habitat, sem qualquer perturbação dos ciclos físicos, químicos, biológicos e climáticos.
- d) invadir determinadas áreas do globo, tendendo a enriquecer os ecossistemas, sem perda de biodiversidade.
- e) levar à extinção as espécies nativas, pois, ocupando o mesmo nicho ecológico, compete por alimento.

MATERIAL DE ESTUDO PARA O ENEM
SISTEMA DE ENSINO

11

ARTRÓPODES E EQUINODERMOS

- Características gerais
- Novidades evolutivas
- Classificação
- Fisiologia geral
- Comparação entre os subfilos

HABILIDADES

- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Arthropoda.
- Associar características adaptativas dos artrópodes à distribuição em diferentes ambientes.
- Comparar características diagnósticas dos subfilos de Arthropoda.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas do filo Echinodermata.
- Conhecer a classificação do filo Echinodermata.
- Associar características adaptativas dos equinodermos com seu modo de vida e com seus limites de distribuição em diferentes ambientes.

Em uma pesquisa realizada em 2016, pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP) avaliaram o impacto ambiental na biodiversidade do solo em áreas de florestas transformadas em pastagens e em áreas de pastagens transformadas em canaviais. Foram colhidas amostras de solo das cidades de Jataí (GO), Ipauçu (SP) e Valparaíso (SP). O resultado é terrível: 90% da macrofauna original – composta em sua maioria de artrópodes – desapareceu completamente.

Junto a outros invertebrados e fungos, os artrópodes desempenham papel essencial na ciclagem de nutrientes do solo, especialmente por sua atuação na decomposição da matéria orgânica. Formigas e cupins, por exemplo, são os principais agentes estabilizadores na defesa contra a erosão por meio da construção de ninhos.

“Quando a mata nativa é convertida em pasto, todos os predadores de topo do solo, como as aranhas e os escorpiões, desaparecem. Na ausência de predadores, as populações de cupins e minhocas explodem. A quantidade de cupins no solo aumenta nove vezes. Já a de minhocas cresce 14 vezes”, explica o pesquisador André Luiz Custodio Franco. Quando o pasto é convertido em canavial, por outro lado, as populações de minhocas e cupins são eliminadas em virtude das correções químicas feitas no preparo do solo, que se torna tóxico para esses invertebrados.

Com a correção química e posterior adubação química, o resultado é a extinção da biodiversidade do solo, que se torna instável. “Cupins e formigas são os ‘engenheiros’ do solo, pois mantêm sua estabilidade”, observa Franco. Esses artrópodes – junto com minhocas – são os principais responsáveis pela encapsulação do carbono, diminuindo sua liberação para a atmosfera.

Assim como todos os seres vivos, os artrópodes têm papel essencial no equilíbrio do planeta. A perda da fauna edáfica (fauna do solo) coloca em risco a estabilidade do solo, interfere no ciclo do carbono e contribui para o efeito estufa.

Características gerais

O filo Arthropoda (do grego: *arthros*, articulação; e *podos*, pés) compreende a maior diversidade de espécies do reino Animal, reunindo mais de 75% de todas as espécies conhecidas de animais. Aproximadamente 1 100 000 espécies de artrópodes viventes foram descritas, e estima-se que esse número corresponda a apenas cerca de 10% das espécies existentes.

Os artrópodes têm corpo segmentado, uma cutícula quitinosa (exoesqueleto), que pode conter cálcio, e apêndices articulados bastante variados tanto em forma quanto em função. Reúne os insetos, os aracnídeos, os crustáceos, os diplópodes e os quilópodes. São animais protostômios, triblásticos, bilateralmente simétricos com celoma extremamente reduzido. Em sua maioria apresenta alto grau de cefalização do sistema nervoso central e dos órgãos sensoriais, o que possibilitou o surgimento de padrões complexos de comportamento, como a organização social em alguns grupos de insetos.

Podem ser encontrados em praticamente todos os tipos de ambientes. Há formas adaptadas à vida em ambientes terrestres, aéreos, em água doce e salgada. Há também espécies parasitas de plantas e animais que causam ou transmitem doenças.

Alguns artrópodes são bastante conhecidos por sua importância econômica. Crustáceos, como caranguejos, camarões, lagostas e siris, são apreciados como alimentos; entre os insetos, as abelhas produzem mel, e as larvas da mariposa da espécie *Bombyx mori* (bicho-da-seda) fabricam casulos de seda durante o desenvolvimento, os quais são utilizados na indústria têxtil. Por outro lado, existem diversos insetos considerados “pragas” para a agricultura porque podem causar grandes prejuízos econômicos.

EXOESQUELETO E CRESCIMENTO

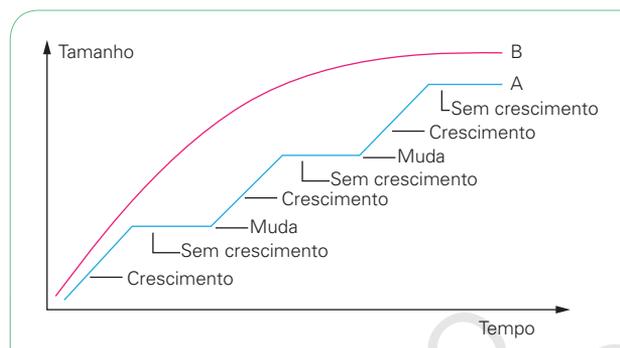
A existência de um esqueleto externo duro, o exoesqueleto, é uma das características responsáveis pelo sucesso adaptativo dos artrópodes, proporcionando proteção contra choques mecânicos, sustentação e impedindo a desidratação. O exoesqueleto é composto de uma cutícula grossa de proteínas e cera, responsável pela impermeabilidade do animal. Nos crustáceos, a rigidez do exoesqueleto é decorrente de camadas de quitina e carbonato de cálcio. Pode formar uma verdadeira armadura, sendo fino e flexível nas juntas e articulações, o que permite a movimentação dos apêndices.

Uma vez que o exoesqueleto dos artrópodes é rígido e limita o crescimento do animal, a **muda** ou **ecdise** é um processo necessário de crescimento que envolve a eliminação periódica do exoesqueleto quitinoso e a formação de um novo exoesqueleto. Trata-se de um processo controlado pelo hormônio **ecdisona**, que atua diretamente nas células epidérmicas.



Exúvia ou exoesqueleto quitinoso de uma cigarra após a muda.

Enquanto ainda novo, o exoesqueleto é mole e distensível, e o animal cresce por certo período bombeando ar ou água para o interior no exoesqueleto. Quando ele endurece, o ar ou a água em seu interior são substituídos pelo crescimento de tecidos. A muda é um risco, uma vez que durante o processo o animal fica vulnerável a predadores, ferimentos e à perda de água. Dessa maneira, muitos artrópodes permanecem em abrigos até que o novo exoesqueleto esteja endurecido.



Comparação entre o crescimento dos artrópodes (A) e o crescimento da maioria dos demais grupos de animais (B).

Durante o período entre duas mudas sucessivas, conhecido por **intermuda**, o crescimento do animal é muito lento, e ocorre um grande gasto energético. A duração das intermudas torna-se maior à medida que o animal envelhece. Alguns artrópodes, como as lagostas e a maioria dos caranguejos, continuam realizando mudas durante toda a vida. Outros, como os insetos e as aranhas, cessam as mudas quando atingem a maturidade sexual.

Novidades evolutivas dos artrópodes

Apesar da enorme diversidade de espécies e formas corporais, os artrópodes compartilham as seguintes novidades evolutivas:

- o corpo é revestido por um **exoesqueleto** rígido contendo **quitina** (um polissacarídeo), o qual é trocado periodicamente (processo de ecdise ou muda), permitindo o crescimento do animal;
- são **segmentados**, mas a metameria é mais evidente na fase embrionária; no adulto há a fusão de segmentos formando **tagmas**, metâmeros unidos em grupos especializados, como cabeça, tórax e abdome (somente nos insetos);
- apresentam **pernas e outros apêndices articulados**, formados por vários segmentos ou artículos, conectados entre si por articulações móveis e flexíveis, e que apresentam funções variadas como locomoção, natação, alimentação e reprodução.

Classificação

A maioria dos estudos filogenéticos reconhece o filo Arthropoda como monofilético, compreendendo cinco subfilos:

1. **Hexapoda**: caracterizado pela presença de três pares de pernas no tórax. Divide-se nas classes Entognatha (pequeno grupo de hexápodes sem asas e com as peças bucais localizadas em uma depressão cefálica) e na classe Insecta, que inclui a grande maioria das espécies, tanto em número de espécies quanto em indivíduos. Apenas a classe Insecta será tratada aqui como representante do subfilo Hexapoda.

2. **Myriapoda:** caracterizado pelo corpo dividido nos tagmas cabeça e tronco, com um ou dois pares de apêndices articulados por segmento do tronco. Seus representantes têm grande número de pernas articuladas no corpo. Estão divididos em quatro classes, das quais serão abordadas a classe Chilopoda (centopeias e lacraias) e a classe Diplopoda (piolhos-de-cobra) como representantes do subfilo.
3. **Crustacea:** caracterizado pela presença de dois pares de antenas na cabeça e corpos geralmente cobertos por uma cutícula composta de quitina, proteína e material calcário, formando uma estrutura bastante endurecida (carapaça) na maioria do grupo. Corpo geralmente dividido nos tagmas, cefalotórax e abdome. Dividido em várias classes, o grupo inclui lagostas, caranguejos, siris, camarões, cracas, entre outros. O subfilo Crustacea será tratado como um todo.
4. **Chelicerata:** caracterizados pela presença de quelíceras (apêndice em forma de garra ou pinça) e por quatro pares de pernas no cefalotórax. São representados pelos límulos (classe Merostomata), e pelas aranhas, escorpiões, opiliões, carrapatos e ácaros (classe Arachnida). Apenas a classe Arachnida será tratada como representante do subfilo Chelicerata.
5. **Trilobitomorpha:** apenas representantes fósseis (trilobita); foram muito abundantes nos mares do Paleozoico; foram extintos entre o Permiano e o Triássico.

CLASSE INSECTA (HEXAPODA)

Baratas, gafanhotos, besouros, borboletas, moscas, formigas, piolhos e muitos outros animais semelhantes estão reunidos no grupo dos insetos (do latim *insecta*, seccionado), compreendendo mais de 900 mil espécies viventes conhecidas. São encontrados em praticamente todos os habitats do planeta. A maioria ocupa o ambiente terrestre; alguns estão adaptados à vida na água doce e poucos, à vida marinha. São os únicos invertebrados capazes de voar, o que contribuiu para o sucesso da vida terrestre, fornecendo inúmeras vantagens adaptativas como a procura por alimento, a busca por melhores condições ambientais, o encontro de parceiros para acasalamento e a fuga de predadores.



JERIDU/ISTOCKPHOTO



ERHANDAYI/ISTOCKPHOTO

Representantes dos insetos: à esquerda, uma formiga; à direita, um besouro, popularmente chamado de joaninha, com as asas abertas.

Os insetos possuem uma importância ecológica e econômica notável. Cerca de dois terços das plantas floríferas dependem deles para a polinização. Diversos insetos causam grandes prejuízos à agricultura — danificando e até mesmo destruindo plantações. Lagartas de borboletas e gafanhotos, por exemplo, são devoradores de plantações. Há ainda aqueles que destroem materiais como madeiras (cupins), roupas e livros (traças). Os insetos também possuem grande relevância para a saúde humana, uma vez que atuam como vetores de diversas doenças, ou diretamente como parasitas de humanos e de animais domésticos.



AVSTRALIANSINI/ISTOCKPHOTO

Traça (*Lepisma* sp.), grupo dos tisanuros.

A malária, por exemplo, é causada pelo protozoário *Plasmodium* sp. e é transmitida pela picada do mosquito fêmea do gênero *Anopheles*, conhecido como mosquito-prego. A leishmaniose cutânea (*Leishmania braziliensis*) e a leishmaniose visceral (*Leishmania donovani* ou *L. chagasi*) são transmitidas pela picada da fêmea do mosquito *Lutzomyia*, conhecido como flebótomo ou mosquito-palha. Veja a seguir exemplos de artrópodes de importância parasitológica.

PRILLFOTO/DREAMSTIME.COM



CHINAPONG/SHUTTERSTOCK



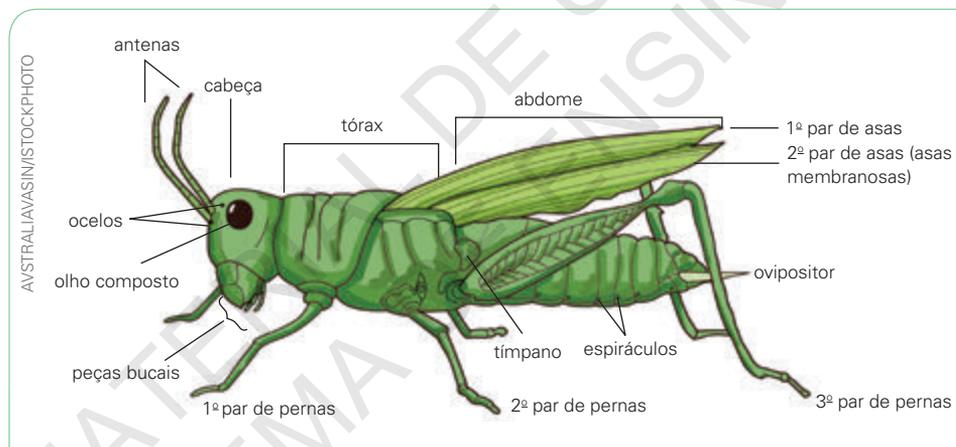
PAVEL KRASENSKY/SHUTTERSTOCK

ARLINDO71/ISTOCKPHOTO

Artrópodes de importância parasitológica. (A) Ácaro da poeira, *Dermatophagoides* sp., causador de alergias respiratórias. (B) *Cimex* sp., percevejo-da-cama, ectoparasita humano. (C) *Aedes aegypti*, mosquito transmissor da dengue, febre amarela e do Zika vírus. (D) *Pediculus humanus*, piolho humano.

Estrutura e morfologia dos insetos

Os insetos diferenciam-se dos demais artrópodes por apresentar **três pares de pernas** no tórax e geralmente dois pares de asas. Possuem um único par de antenas na cabeça e têm o corpo dividido em três tagmas: cabeça, tórax e abdome.



Representação da morfologia externa de um gafanhoto. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O par de antenas (funções olfativa e tátil) e o par de olhos compostos são as principais estruturas sensoriais na cabeça.

O tórax dos insetos apresenta três segmentos, cada qual com um par de pernas. Em geral as pernas estão adaptadas para andar ou correr, mas também há pernas modificadas para pular, nadar, cavar ou agarrar presas. As asas são frequentemente localizadas no segundo e no terceiro segmentos torácicos dos insetos pterigotos (alados).

No abdome estão localizados o intestino, o coração, o sistema excretor, a abertura do tubo digestório e o sistema reprodutor e suas estruturas (órgão copulador nos machos e ovipositor nas fêmeas). Vespas e abelhas possuem um aguilhão. Na parte lateral do abdome dos insetos encontram-se os **espiráculos** ou estigmas — aberturas do **sistema respiratório traqueal**.

Reprodução dos insetos

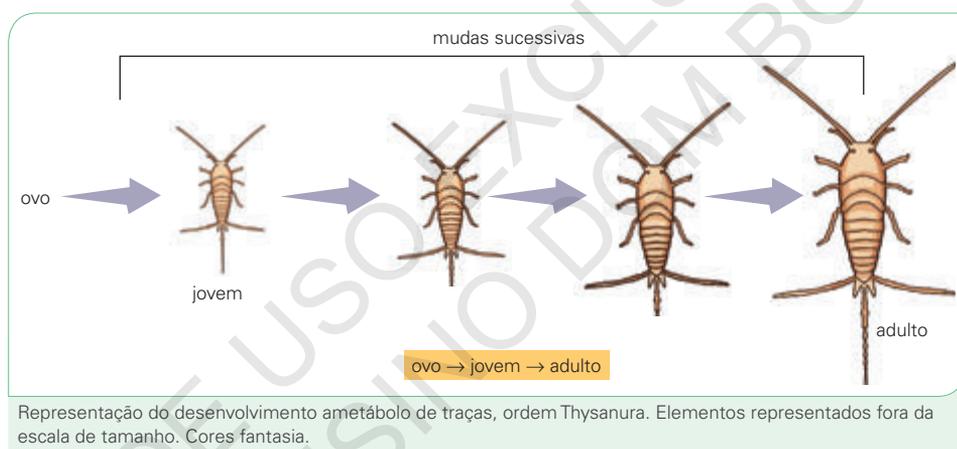
Os insetos são dioicos e geralmente realizam fecundação interna. Em cada acasalamento, grande quantidade de espermatozoides é transferida e fertiliza muitos ovócitos. Diversos insetos acasalam uma única vez durante a vida; na maioria das formas, o número de acasalamentos é baixo.

Quase todos são ovíparos e depositam ovos em locais que muitas vezes serão o hábitat do indivíduo adulto. Em abelhas, vespas, formigas e pulgões ocorre **partenogênese** — desenvolvimento de ovócitos sem fecundação. Em certos tipos de moscas, ocorre **pedogênese** ou **partenogênese larval** — produção de ovos ou formas jovens por indivíduos imaturos.

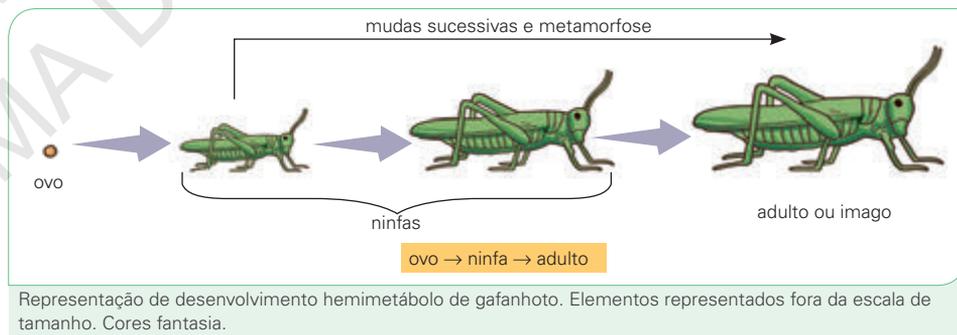
Tipos de desenvolvimento

Os insetos apresentam os seguintes padrões de desenvolvimento:

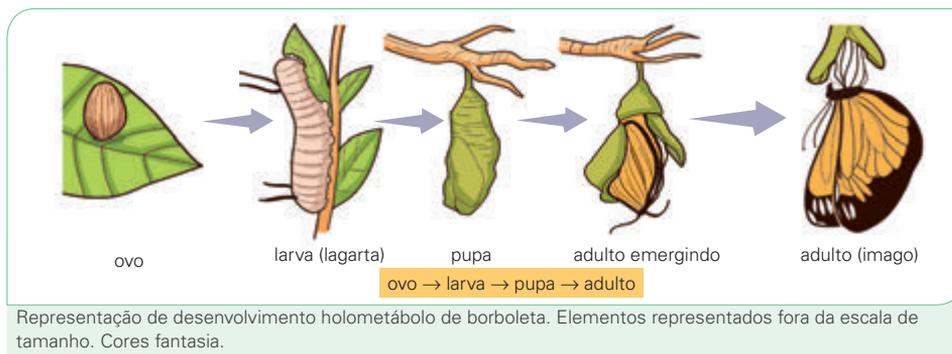
- **ametábolos** (do latim: *a*, sem; e *metabola*, mudança): têm desenvolvimento direto, ou seja, sem metamorfose. Do ovo eclode um jovem semelhante ao adulto que, mediante mudas, atinge a fase adulta, caracterizada pela presença de gônadas maduras. É o caso das traças-do-livro;



- **hemimetábolos** (do latim: *hemi*, metade): têm desenvolvimento indireto e realizam metamorfose parcial ou incompleta. Do ovo eclode uma pequena ninfa, semelhante, de modo geral, ao adulto. Durante as mudas, a ninfa sofre algumas alterações estruturais, desenvolvendo asas e mudando de coloração, até atingir a forma adulta ou imago. Hemimetábolos incluem baratas, gafanhotos, cupins, cigarras, entre outros;



- **holometábolos** (do latim: *holo*, completo): têm desenvolvimento indireto e metamorfose total ou completa. Do ovo eclode uma pequena larva vermiforme, segmentada, sem asas nem olhos. No final do período larval, o animal cessa sua atividade e não se alimenta, refugiando-se em locais protegidos, como em um casulo ou tecido vegetal — estágio de pupa ou crisálida. Na fase de pupa ocorrem transformações radicais, de forma que poucas estruturas larvais permanecem. Da pupa emerge o adulto ou imago. Holometábolos incluem moscas, borboletas, abelhas, besouros. Cerca de 88% dos insetos são holometábolos.



CLASSE CHILOPODA (MYRIAPODA)

Os quilópodes são predadores carnívoros bastante ágeis, popularmente conhecidos por centopeias ou lacraias. Têm o corpo achatado e dividido em cabeça e tronco multissegmentado, com um par de pernas por segmento do tronco, podendo apresentar de 15 a 180 segmentos. Possuem olhos simples, **um par de mandíbulas** e um par de antenas longas. Os apêndices do primeiro segmento são modificados em inoculadores de veneno próximos à boca e apresentam glândulas peçonhentas, as forcípulas.

A respiração é traqueal, e a excreção ocorre por meio dos túbulos de Malpighi. Apresentam desenvolvimento direto; pequenas centopeias emergem dos ovos contendo cerca de sete pares de pernas. A cada ecdise, novos pares são adicionados.



O piolho-de-cobra habita áreas úmidas.



Quilópode, gênero *Scolopendra*.

CLASSE DIPLOPODA (MYRIAPODA)

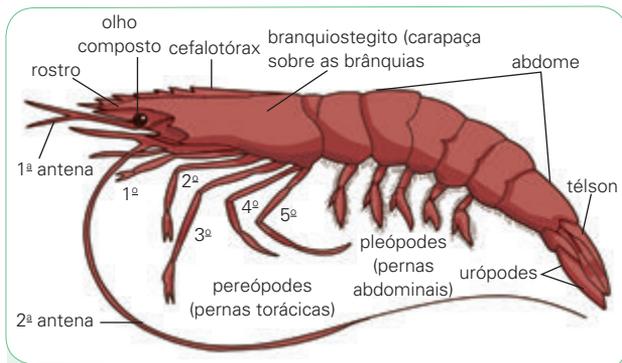
Popularmente conhecidos como milípedes, embuás ou piolhos-de-cobra, os diplópodes têm o corpo dividido em cabeça e tronco, com 9 a 100 segmentos, cada um contendo **dois pares de pernas por segmento** visível externamente. Na cabeça há um par de antenas curtas, um par de mandíbulas e dois pares de olhos simples. São animais herbívoros ou detritívoros. São vagarosos e enrolam-se quando ameaçados. Algumas formas eliminam substâncias repelentes que afastam predadores. A respiração é traqueal, e a excreção ocorre por meio de túbulos de Malpighi.

SUBFILO CRUSTACEA

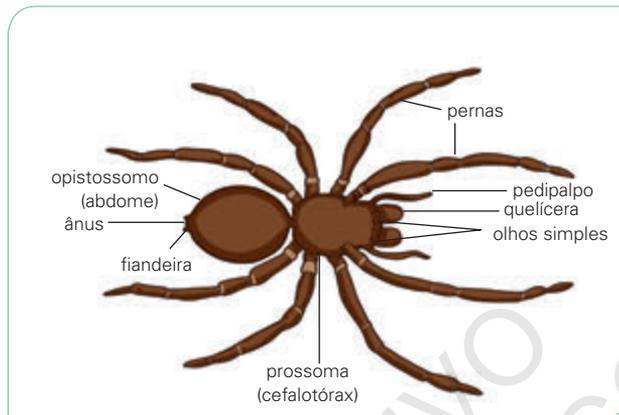
Os crustáceos reúnem caranguejos, siris, camarões, lagostas e cracas. A maior parte das cerca de 67 mil espécies conhecidas é marinha, mas existem espécies que vivem em água doce e há algumas terrestres, como o tatuzinho-de-jardim (vive em solo úmido). Geralmente de vida livre na superfície dos ambientes aquáticos, os microcrustáceos ocupam posição importante nas cadeias alimentares. Embora em menor número de espécies comparada a dos insetos, os crustáceos exibem maior variação no plano corporal.

Estrutura e morfologia

Os crustáceos podem ser distinguidos dos demais artrópodes pela presença de **dois pares de antenas** na cabeça. O corpo tem segmentação evidente, porém menos complexa. Em geral se distinguem cabeça, tórax e abdome, e muitos representantes têm cabeça e tórax fundidos, formando um **cefalotórax**. Possuem um par de olhos compostos, geralmente pedunculados. No tórax e no abdome, o número de segmentos pode ser variável. Os apêndices variam em número e função, podendo apresentar especialização para a captura e manipulação de alimento, locomoção e natação.



Representação simplificada da morfologia externa do camarão (*Crustacea*). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.



Representação da morfologia externa da aranha. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Reprodução dos crustáceos

Com exceção das cracas e dos tatuzinhos-de-jardim, os crustáceos são dioicos, e a fecundação é sempre cruzada e interna. Durante a reprodução, pode haver rituais de corte elaborados. Os ovos são frequentemente incubados entre os apêndices do corpo. O desenvolvimento é indireto na maioria das espécies, mas também há espécies com desenvolvimento direto (como no lagostim). A maioria apresenta a larva livre-natante náuplio, mas outras formas larvais também são encontradas de acordo com a espécie.

CLASSE ARACHNIDA (CHELICERATA)

Os aracnídeos compreendem aranhas, escorpiões, opiliões, carrapatos e ácaros (sarna e cravo). Atualmente são conhecidas mais de 80 000 espécies viventes.

Aracnídeos possuem corpo dividido em cefalotórax ou prossoma, e abdome ou opistossoma. Não têm antenas e apresentam **quatro pares de pernas** no cefalotórax (octópodes). No cefalotórax há também um par de quelíceras (apêndices em forma de garra ou pinça) e um par de palpos ou pedipalpos, que atuam como estruturas sensoriais.

Aranhas

Nas aranhas as quelíceras estão associadas a glândulas inoculadoras de veneno, as quais se localizam no cefalotórax. Os pedipalpos das aranhas correspondem a apêndices curtos que podem desempenhar diferentes funções, como sensorial, manipulação do alimento e, nos machos, podem estar modificadas em estrutura copulatória. No opistossoma das aranhas existem dois ou três pares de fiandeiras ligadas a **glândulas sericígenas** secretoras de um líquido que, em contato com o ar, se transforma em fio, com o qual elas tecem a teia de seda utilizada na captura de presas e como forma de dispersão para os indivíduos jovens. As aranhas possuem apenas olhos simples, cerca de 2 a 4 pares.

Escorpiões

Nos escorpiões, as quelíceras trituram os alimentos, e os pedipalpos, grandes e quelados, são usados para segurar as presas. Com cefalotórax bastante curto, seu abdome divide-se em mesossoma e metassoma ou cauda. O télson ou agulhão de veneno localiza-se no pós-abdome, ao final da cauda.

Ácaros

Entre os ácaros, alguns são parasitas de plantas e animais, como o ácaro causador da sarna no ser humano e nos animais domésticos. Nos ácaros o prossoma e o opistossoma estão unidos.

Opiliões

Formam um grande e diversificado grupo de aracnídeos que vivem em habitats úmidos e sombreados, como as florestas tropicais. A maioria tem pernas bastante longas em relação ao tamanho do corpo. O abdome e o cefalotórax são fundidos, e o abdome, segmentado.



Opilião, aracnídeo que possui pernas bastante alongadas.

Reprodução dos aracnídeos

Aracnídeos são animais dioicos com fecundação interna e desenvolvimento direto, sem estágio larval, com exceção dos ácaros, em que o desenvolvimento é indireto, com a formação de larva.

As aranhas desenvolveram comportamentos reprodutivos e de acasalamento variados, bem como diferentes estratégias para a proteção da sua prole, o que resultou em grande sucesso adaptativo no ambiente terrestre. O dimorfismo sexual é comum, com as fêmeas maiores que os machos. Após a postura, os ovos são depositados por fios de seda em um casulo ou ooteca.

Algumas espécies de escorpiões realizam um ritual de cortejo; são ovovivíparas ou vivíparas, e os ovos são incubados no aparelho reprodutor feminino.

Fisiologia geral dos artrópodes

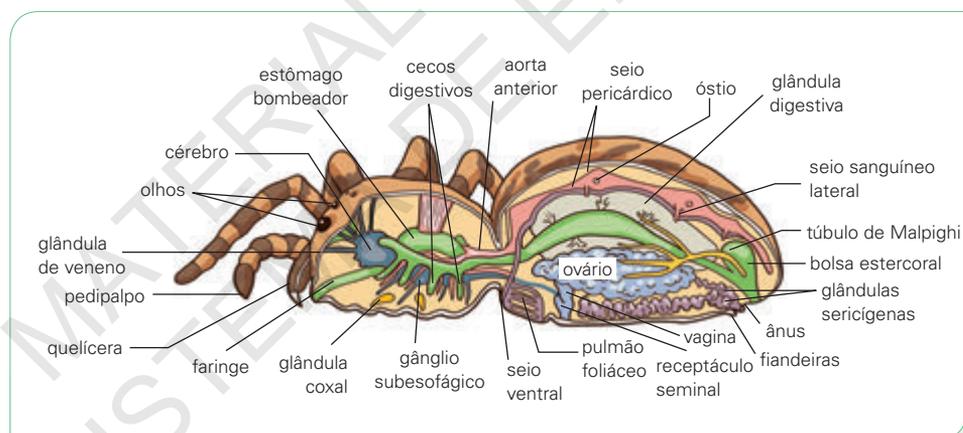
SISTEMA DIGESTÓRIO

Artrópodes têm tubo digestório completo, com boca e ânus. O blastóporo dá origem à boca, ou seja, são animais protostômios.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

A variedade de estruturas respiratórias reflete em parte a diversidade de habitats ocupados pelos artrópodes. As estruturas são especializadas para a realização de trocas gasosas com a água (brânquias) ou com o ar (pulmões foliáceos ou traqueias), além de a superfície corporal ser adaptada para a realização de trocas gasosas. Insetos, diplópodes e quilópodes respiram por traqueias (sistema traqueal) – tubos reforçados de quitina que se ramificam várias vezes, formando túbulos microscópicos que levam oxigênio a cada célula do corpo. As aberturas das traqueias no abdome dos insetos são chamadas de estigmas ou espiráculos.

As aranhas respiram por meio de pulmões foliáceos (sistema filotraqueal), traqueias ou ambos. Pulmões foliáceos formam-se de várias bolsas de ar paralelas que se estendem dentro de uma cavidade preenchida de sangue. O ar penetra através de uma fenda na parede do corpo. Suas traqueias são semelhantes às dos insetos. Escorpiões respiram por pulmões foliáceos (sistema filotraqueal). Nos crustáceos maiores, a respiração ocorre através de brânquias, situadas na base das pernas torácicas, abaixo do exoesqueleto. Nos crustáceos pequenos, as trocas gasosas ocorrem nas áreas onde a cutícula é fina ou por toda a superfície corpórea.



Representação da anatomia interna dos aracnídeos com base em uma aranha fêmea. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

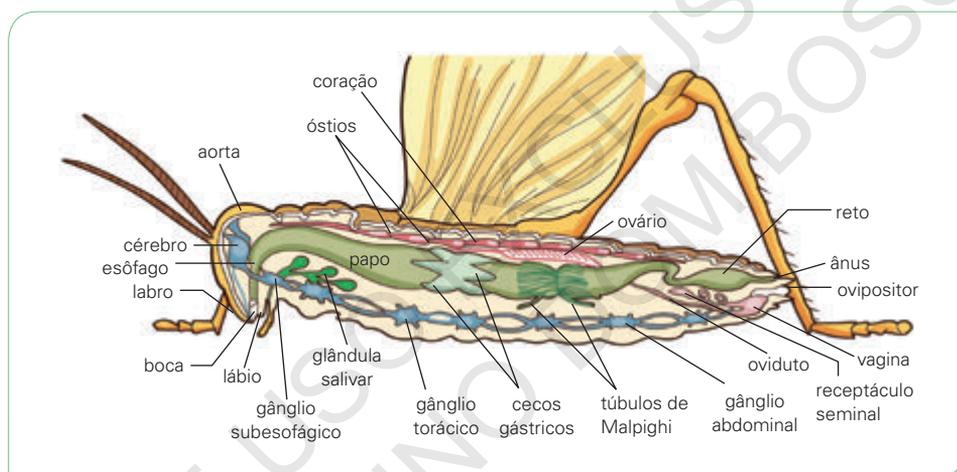
SISTEMA CIRCULATÓRIO

O sistema circulatório dos artrópodes é do tipo aberto. O sangue circula sob baixa pressão e com fluxo lento, passando por vasos e por cavidades, as hemoceles. O sangue é mais comumente chamado de hemolinfa nos animais com sistema circulatório aberto. A hemolinfa dos artrópodes pode apresentar a hemocianina ou a hemoglobina como pigmento respiratório.

SISTEMA EXCRETOR

Nos insetos, quilópodes e diplópodes, os túbulos de Malpighi retiram os excretas diretamente da hemolinfa, liberando-as no intestino, sendo posteriormente eliminados com as fezes. A excreção dos crustáceos acontece pelas glândulas verdes ou antenais, que estão localizadas na base das antenas e são retiradas pelos excretas nitrogenados, depois as eliminam por um poro excretor localizado na base das antenas. A excreção dos aracnídeos é realizada por túbulos de Malpighi e/ou pelas glândulas coxais, as quais retiram os excretas do sangue, levando-os até os poros excretores localizados na (coxa) perna.

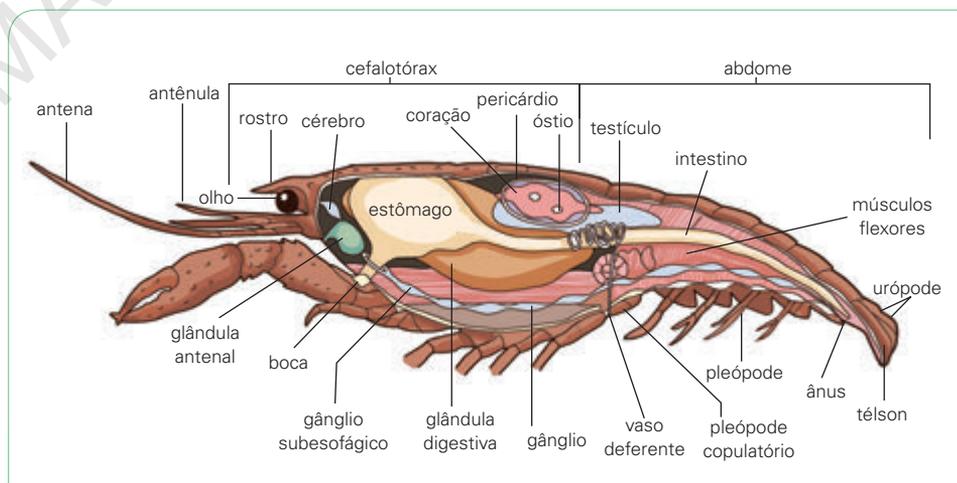
O principal resíduo metabólico difere entre os grupos: pode ser a amônia (crustáceos), o ácido úrico (insetos, diplópodes e quilópodes) ou a guanina (aracnídeos). A eliminação de ácido úrico ou de guanina é mais adequada à vida terrestre, na medida em que envolve produtos pouco tóxicos que exigem pouca diluição, representando assim uma boa estratégia de economia de água.



Representação da anatomia interna dos insetos com base em uma fêmea de gafanhoto. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso dos artrópodes é do tipo ganglionar ventral, apresentando elevado grau de concentração de estruturas nervosas na cabeça (cefalização). As estruturas sensoriais dos artrópodes são bastante diversificadas. Há sensores químicos capazes de reconhecer a presença de alimentos e inimigos naturais; receptores de paladar, como os localizados nas pernas das moscas; sensores posturais, receptores auditivos, receptores luminosos etc.



Representação da anatomia interna dos crustáceos com base em um lagostim macho. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Comparação entre os subfilos de artrópodes

	Classe Insecta (Subfilo Hexapoda)	Classe Arachnida (Subfilo Chelicerata)	Subfilo Crustacea	Classe Diplopoda (Subfilo Myriapoda)	Classe Chilopoda (Subfilo Myriapoda)
Principal hábitat	terrestre	terrestre	marinho ou água doce	terrestre	terrestre
Desenvolvimento	direto ou indireto	direto (exceto em ácaros)	direto ou indireto	direto	direto
Divisão do corpo	cabeça, tórax, abdome	prossoma (cefalotórax) e opistossoma (abdome)	cefalotórax e abdome	cabeça e tronco segmentado	cabeça e tronco segmentado
Pernas	3 pares no tórax	4 pares no prossoma (cefalotórax)	variável	2 pares por segmento	1 par por segmento
Antenas	1 par	ausentes	2 pares	1 par	1 par
Mandíbulas	presentes	ausentes	presentes	presentes	presentes
Respiração	traqueal	filotraqueal (pulmões foliáceos)	branquial	traqueal	traqueal
Excreção	túbulos de Malpighi	glândulas coxais e/ou túbulos de Malpighi	glândulas verdes ou antenais	túbulos de Malpighi	túbulos de Malpighi

Equinodermos

Estrelas-do-mar, bolachas-da-praia e ouriços-do-mar estão entre os animais marinhos mais conhecidos, afinal é muito comum encontrá-los (ou mesmo seus fragmentos) na areia da praia. Esses animais pertencem ao filo Echinodermata (do grego: *echinos*, espinhos; e *derme*, pele). Como o nome sugere, os representantes do grupo geralmente apresentam espinhos na epiderme.

Outro representante desse filo pouco conhecido e sem a beleza de estrelas-do-mar é o pepino-do-mar. Este animal apresenta peculiaridades que tornam seu corpo único, diferente de todos os outros seres. Na massa muscular do pepino-do-mar, há colágeno e microestruturas calcificadas que possibilitam ao corpo ficar totalmente rígido quando ameaçado por um predador, ou bem maleável, possibilitando a movimentação. Logo, sua musculatura é a mais flexível do reino animal.

O estudo da morfologia do pepino-do-mar inspirou a criação de um material que revolucionou os implantes médicos. Os antigos implantes cerebrais eram bem mais rígidos que o tecido do cérebro e acabavam sendo rejeitados pelo corpo. Com base nas características de enrijecimento e flexibilidade do corpo do pepino-do-mar, cientistas desenvolveram novos implantes que reproduzem tal mecanismo. O novo material torna-se maleável na presença da água liberada pelas células cerebrais, garantindo maior flexibilidade e menor rejeição pelo organismo.



Pepino-do-mar (*Bohadschia argus*) no fundo do oceano.

ETHAN DANIELS/SHUTTERSTOCK

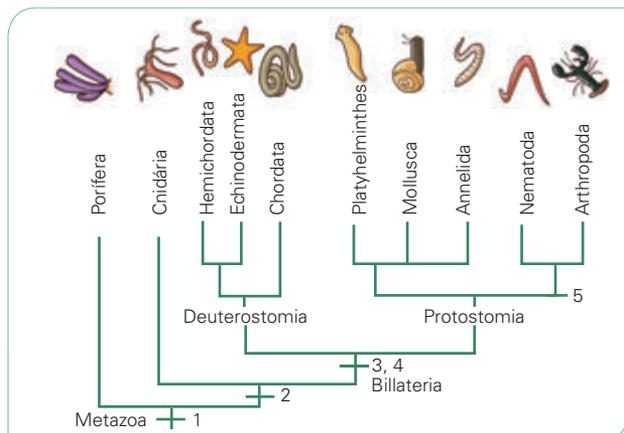
NOVIDADES EVOLUTIVAS

Os equinodermos são mais próximos evolutivamente do filo dos cordados que dos filios de invertebrados. Equinodermos e cordados fazem parte de um grande clado – o dos animais **deuterostômios** (do grego, *deuteros*, segundo) –, em que o primeiro orifício (blastóporo) formado durante o desenvolvimento embrionário é o ânus, enquanto a boca é o segundo. Equinodermos e cordados descendem, portanto, de ancestrais deuterostomados.

Outra novidade evolutiva surgida no ancestral comum de equinodermos e cordados é um celoma composto de **enterocelia**. O **celoma enterocélico** é revestido por mesoderme e formado por meio de evaginações ou bolsas da parede do intestino durante o desenvolvimento embrionário. Portanto, esse tipo de celoma é outra característica compartilhada por equinodermos e cordados.

RELAÇÕES EVOLUTIVAS

A filogenia abaixo mostra uma hipótese aceita atualmente sobre as relações filogenéticas dos filos animais.



Esquema de hipótese de relações de parentesco com base na filogenia animal atual.

Fonte: HICKMAN et al. *Princípios integrados de Zoologia*. 16. ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2016. (Adaptado).

Em termos de características, as novidades evolutivas compartilhadas pelos clados representados na filogenia acima são:

- blástula – compartilhada por todos os metazoários;
- gástrula – compartilhada por todos os animais que apresentam tecidos verdadeiros;
- simetria bilateral e presença de três folhetos embrionários – compartilhadas pelos animais do clado Bilateria;
- ecdise (muda) – troca periódica do revestimento externo do corpo (cutícula), processo que permite o crescimento do animal.

O clado Protostomia compreende os grupos animais cujo blastóporo origina a boca; o clado Deuterostomia reúne os grupos animais em que o blastóporo não origina a boca (o primeiro orifício formado do tubo digestório é o ânus).

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Encontrados exclusivamente em ambiente marinho, os equinodermos são animais de vida livre (não há formas parasitas), se locomovem lentamente junto ao leito do oceano, ou bentônicos (vivem junto ao substrato). Atualmente são conhecidas cerca de 7 mil espécies viventes.

São animais triblásticos e celomados (enterocélicos). O corpo dos equinodermos está disposto ao longo de um eixo oral-aboral. Além disso, não possuem cabeça diferenciada e têm **endoesqueleto** (esqueleto interno de origem mesodérmica) calcário, constituído de placas ou ossículos (móveis ou fixos) que desempenham importante função na sustentação do corpo. Geralmente estão presentes espinhos e protuberâncias na superfície do corpo, que auxiliam na proteção do animal.

Equinodermos adultos apresentam **simetria radial**, geralmente sendo possível dividir seu corpo em cinco partes semelhantes (pentarradial). Já as larvas possuem simetria bilateral, uma evidência da descendência dos equinodermos de ancestrais bilateralmente simétricos.

Nos equinodermos, o celoma está subdividido internamente, fazendo parte de um sistema de canais e estruturas na superfície do corpo que forma o **sistema ambulacrário**, também chamado de **sistema hidrovacular** ou vascular aquífero. O sistema hidrovacular desempenha um grande número de funções. Os equinodermos são um grupo bem antigo de animais, com extenso registro fóssil (cerca de 20 mil espécies fósseis conhecidas).



Leito oceânico coberto por ouriços-do-mar.

PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK

CLASSIFICAÇÃO

O filo dos equinodermos é dividido em cinco classes: Asteroidea (estrelas-do-mar); Echinoidea (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia); Holothuroidea (pepinos-do-mar ou holotúrias); Crinoidea (lírios-do-mar); e Ophiuroidea (serpentes-do-mar).

CLASSE ASTEROIDEA

Os principais representantes dos asteróides são as estrelas-do-mar. Possuem corpo achatado em formato de estrela, com cinco braços que saem do disco central; os braços pouco se diferenciam do disco central. Têm superfície oral (que contém a boca) voltada para o substrato e ânus na região aboral (oposto ao substrato). Locomovem-se sobre o leito oceânico e são carnívoros, alimentando-se de crustáceos, moluscos, anelídeos e outros equinodermos.



Estrela-do-mar, *Orthasteria koehlerii*.

TUNART/ISTOCKPHOTO

CLASSE ECHINOIDEA

Os equinóides são representados pelos ouriços-do-mar (corpo globoso) e pelas bolachas-da-praia (corpo achatado). Têm boca localizada na região oral, voltada ao substrato, e ânus na região aboral, oposta ao substrato. Além disso, esses animais não possuem braços. Apresentam cinco dentes calcários integrados à **lanterna de Aristóteles** (raspadores). São animais bentônicos que se movimentam arrastando-se pelo leito dos oceanos por meio de suas cinco fileiras de pés ambulacrais. Os ouriços-do-mar têm longos espinhos em torno do corpo, que estão associados a músculos, permitindo sua movimentação. Os espinhos têm função de defesa contra predação e podem auxiliar na locomoção desses animais. Alimentam-se principalmente de algas que vivem sobre rochas ou no substrato oceânico. Já as bolachas-da-praia têm espinhos menores que aqueles presentes em ouriços-do-mar.

CRYSTAL BOLIN PHOTOGRAPHY/ISTOCKPHOTO



Bolacha-da-praia na areia.

CLASSE HOLOTHUROIDEA

Os pepinos-do-mar são os representantes mais conhecidos dos holoturoídeos. De modo mais geral, os pepinos-do-mar não se parecem com os demais equinodermos por não possuírem espinhos, braços e pedicelárias, além de seu endoesqueleto ser bastante reduzido. Seu corpo é mole e alongado, com boca e ânus situados nas extremidades opostas a tal eixo. No entanto, uma análise mais cuidadosa revela que os pepinos-do-mar têm cinco fileiras de pés ambulacrais, de modo que alguns deles se desenvolveram como se fossem tentáculos, auxiliando na alimentação. Alimentam-se de detritos orgânicos no substrato oceânico.

SEADAM/DREAMSTIME.COM



Pepino-do-mar (*Isostichopus badiionotus*).

Classe Crinoidea

Os lírios-do-mar são os representantes mais conhecidos dessa classe. Possuem corpo em forma de cálice ou taça. Vivem aderidos (fixos) ao substrato por um **pedúnculo** em parte ou durante toda a vida. Os braços dos crinóides circundam a boca; têm boca e ânus em posição oposta ao substrato. A maioria dos crinóides vive fixa, mas também há espécies que “nadam”, rastejando sobre o substrato com os braços longos e flexíveis. Alimentam-se de plâncton ou de detritos orgânicos em suspensão na água, que são capturados pelos braços e levados até a boca.



BLUE-SEA.CZ/SHUTTERSTOCK

Lírio-do-mar, *Antedon* sp.

CLASSE OPHIUROIDEA

Os representantes do grupo são chamados de serpentes-do-mar ou estrelas-serpentes. Os ofiuroídeos têm um disco central distinto, braços longos, delgados e flexíveis claramente separados do disco central. Esses animais se locomovem mexendo seus braços em movimentos serpentiformes. A boca está voltada para o substrato, e o ânus é ausente. Seus pés ambulacrais também secretam substâncias adesivas. Algumas espécies alimentam-se de partículas em suspensão, mas também há espécies predadoras (que se alimentam de pequenos animais, como crustáceos e moluscos) ou necrófagas. Também não possuem pedicelárias.



PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK

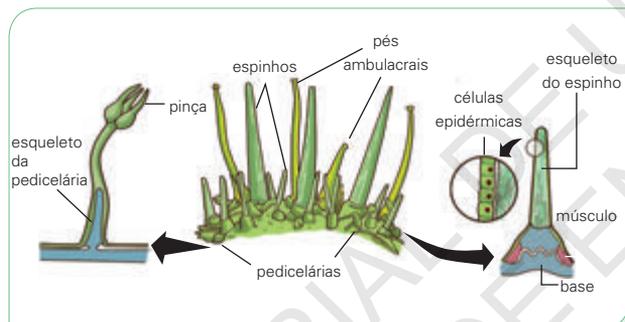
Serpente-do-mar ou serpente marinha, *Ophiopholis aculeate*.

ESTRUTURA E MORFOLOGIA

A estrela-do-mar, um dos representantes mais conhecidos do grupo, será utilizada como modelo para a descrição da morfologia e fisiologia dos equinodermos, embora haja grande variação entre as diferentes classes.

O corpo de uma estrela-do-mar consiste de um disco central de onde, geralmente, partem cinco braços. Na superfície aboral há vários espinhos calcários, componentes do esqueleto. Entre os espinhos, projetam-se da parede do celoma para fora do corpo as **pápulas** (brânquias dérmicas ou papilas), pequenas e moles, que desempenham funções de troca de gases e excreção. Ao redor dos espinhos e entre as pápulas há pequenos apêndices em forma de pinça, chamados **pedicelárias**, que mantêm a superfície corporal livre de detritos e auxiliam na captura de alimento. Em alguns ouriços-do-mar as pedicelárias estão associadas a glândulas de veneno.

Revestindo todo o corpo há uma epiderme ciliada, fina, abaixo da qual está o **endoesqueleto calcário**. O endoesqueleto é composto de muitos ossículos calcários, pequenos, unidos por tecido conjuntivo e ligados a fibras musculares.



Representação da morfologia externa de um equinodermo (ouriço-do-mar). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

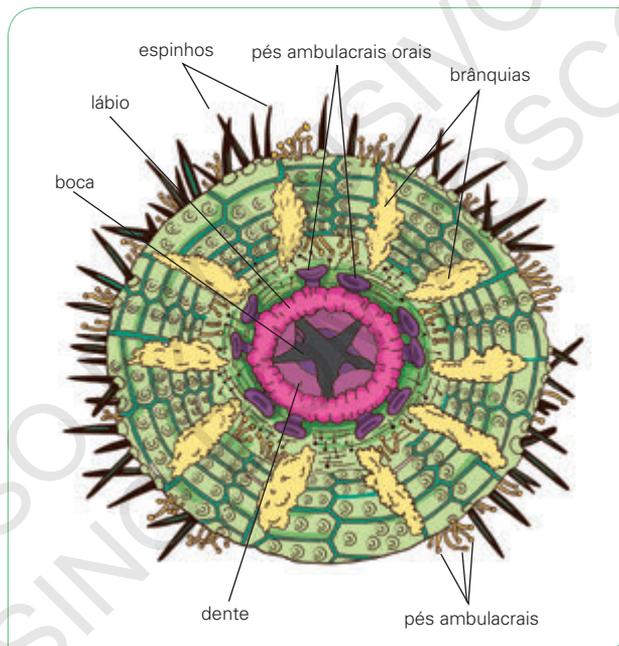
Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 292. v. 2.

FISIOLOGIA

Com exceção dos ofiuroides (serpentes-do-mar), os equinodermos apresentam **sistema digestório completo**, que compreende boca, estômago saculiforme ligado aos cecos hepáticos (ou glândulas digestivas), intestino curto e ânus. Geralmente se alimentam de moluscos, crustáceos, poliquetas e outros equinodermos. Quando uma estrela-do-mar se alimenta de um bivalve, muitas vezes fica sobre a presa e agarra nas valvas opostas com os pés ambulacrários para separá-las. Em seguida, o estômago evertido pela boca é colocado na concha. O estômago secreta muco e os cecos hepáticos produzem enzimas digestivas. Posteriormente, o estômago e o alimento, que começou a

ser digerido externamente, são recolhidos para dentro do corpo.

Os ofiuroides, que são desprovidos de ânus (sistema digestório incompleto), eliminam as fezes pela boca. Nos **equinoides** (ouriços-do-mar e bolachas-da-praia), há uma estrutura junto à boca que contém cinco dentes fortes associados a músculos desenvolvidos: a **lanterna de Aristóteles**. Esta estrutura é usada na alimentação para a raspagem e a trituração de algas e pequenos animais presos ao substrato.



Representação da superfície oral de um ouriço-do-mar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 293. v. 2.

SISTEMA AMBULACRAL OU HIDROVASCULAR

Uma característica marcante e exclusiva dos equinodermos é a presença do sistema ambulacral ou sistema hidrovacular, uma parte especializada do celoma. O sistema hidrovacular é formado por um conjunto de canais por onde a água circula e que exerce as funções de distribuição de substâncias, troca de gases, captura de alimento, excreção e locomoção. Compõe-se de um canal circular ou anelar em torno da boca, o qual é conectado por meio de um canal curto (canal pétreo) à placa madreporica (ou **madreporito**) – placa perfurada na superfície aboral, localizada ao lado do ânus.

A água entra no sistema hidrovacular através da placa madreporica. Do canal circular partem cinco canais radiais, cada um dirigindo-se para um dos braços. De cada canal radial ramificam-se canais menores, em cujas extremidades encontram-se os **pés ambulacrais** – pequenas bolsas de parede muscular que contêm

uma ventosa na extremidade externa (que fica fora do corpo) e uma ampola (semelhante a um bulbo) na extremidade interna (dentro da cavidade do corpo). Os pés ambulacrais projetam-se para o exterior nos sulcos ambulacrais.



Detalhe dos pés ambulacrais no interior do sulco ambulacral de uma estrela-do-mar (*Oreaster* sp.).

Quando a ampola se contrai, o líquido é enviado para o pé ambulacral, que se estende. Ao tocar um objeto, os músculos do pé ambulacral são contraídos, retornando o líquido para a ampola. A pressão no pé ambulacral diminui, causando a aderência ao objeto, que é auxiliada pela produção de secreções adesivas pelo pé ambulacral. Os pés ambulacrais funcionam de forma coordenada durante a adesão ao substrato, na locomoção, na captura e no manuseio do alimento.

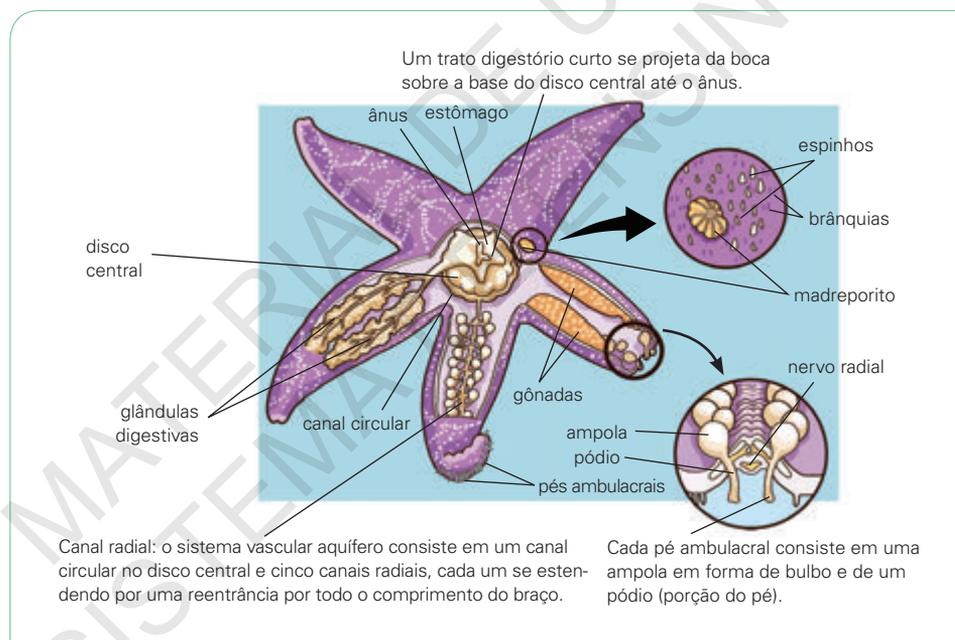


Ilustração da anatomia de uma estrela-do-mar (vista da superfície aboral) com destaque para o sistema ambulacral. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: REECE et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 681.

Nos ofiuroides e nos crinoides, os pés ambulacrais não têm ventosas, sendo utilizados principalmente para a captura de alimento, em vez de servirem para a locomoção.

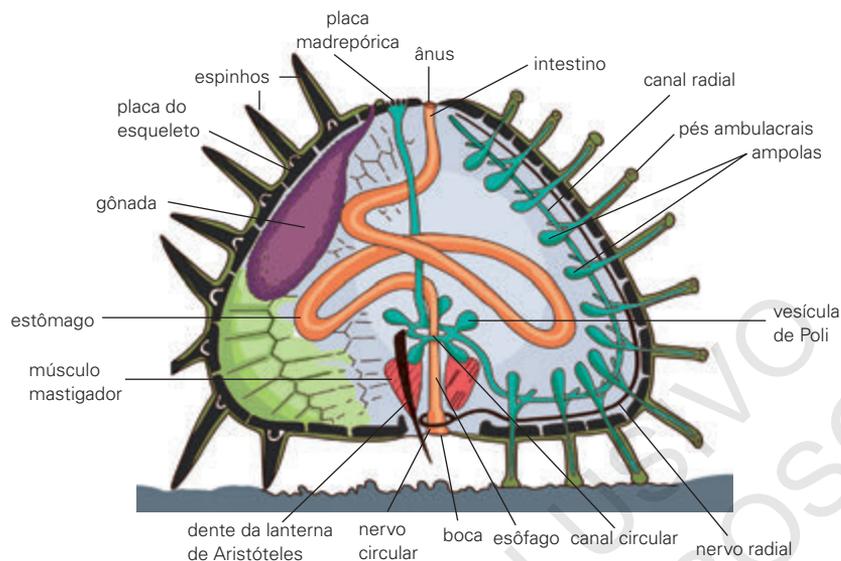


Ilustração da anatomia interna de um ouriço-do-mar. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Fonte: AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. *Biologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010. p. 291. v. 2.

Com sistema circulatório ausente ou rudimentar, a distribuição de substâncias pelo corpo ocorre através da cavidade celomática. A troca de gases e a eliminação de excretas são realizadas por difusão através das pápulas e dos pés ambulacrais. Nos pepinos-do-mar, as trocas gasosas e a excreção ocorrem por dois longos tubos extremamente ramificados, denominados árvore respiratória. Não há pigmentos transportadores de oxigênio.

SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso é simples, sem cefalização, consistindo de um anel nervoso ao redor da boca, de onde saem nervos radiais, um para cada braço. Embora não exista gânglios centrais, há certa coordenação na execução de atividades. Células sensoriais não especializadas geralmente estão presentes na epiderme, e na extremidade de cada braço existe um ocelo.

Reprodução

Equinodermos, em geral, são dioicos. Não possuem órgãos copulatórios elaborados e não exibem dimorfismo sexual, tendo somente uma gônada. A fecundação é externa, com a liberação dos gametas diretamente na água.

O desenvolvimento geralmente é indireto; cada classe possui uma larva característica, que é livre-natante e tem simetria bilateral. Durante a metamorfose, passam por uma complexa reorganização do padrão corporal, originando adultos de simetria radial (pentarradial). As larvas são os principais agentes de dispersão dos equinodermos, uma vez que os adultos são sedentários (pouca locomoção) ou sésseis.

As estrelas-do-mar têm grande capacidade de autotomia, podendo destacar braços danificados e regenerá-los, o que possibilita a reconstrução de braços e partes do disco central. Estudos experimentais mostraram que algumas estrelas-do-mar são capazes de formar um novo animal completo a partir de um único braço ligado a cerca de 20% do disco central. Algumas espécies realizam um tipo de reprodução assexuada em que se dividem espontaneamente em duas partes, e cada uma origina um novo indivíduo.

ROTEIRO DE AULA

ARTHROPODA

Novidades evolutivas

exoesqueleto de:

quitina

troca de exoesqueleto:

ecdise

grupo de segmentos especializados:

tagmas

apêndices:

articulados

Características gerais

protostômios e triblásticos

simetria

bilateral

celoma (esquizocélico)

Fisiologia/reprodução

sistema digestório completo

sistema respiratório

variado

sistema circulatório aberto

sistema excretor

variado

sistema nervoso ganglionar ventral

sexo

maioria dioica

fecundação: maioria cruzada e interna

desenvolvimento

direto ou indireto

ROTEIRO DE AULA

Classificação

Subfilo Myriapoda

centopeias e piolhos-de-cobra

corpo	cabeça e tronco segmentado
pernas	1 ou 2 pares (por segmento)
antenas	1 par
mandíbula	presente
respiração	traqueal
excreção	túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto

Classe Arachnida (Subfilo Chelicerata)

aranhas, escorpiões,
opiliões e ácaros

corpo	prossoma e opistossoma
pernas	4 pares (cefalotórax)
antenas	ausentes
mandíbula	ausente
respiração	filotraqueal
excreção	glândulas coxais e túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto (exceto ácaros)

Classe Insecta (Subfilo Hexapoda)

besouros, borboletas, gafanhotos

hábitat	maioria terrestre
corpo	cabeça, tórax, abdome
pernas	3 pares (torácicas)
antenas	1 par
mandíbula	presente
respiração	traqueal
excreção	túbulos de Malpighi
desenvolvimento	direto ou indireto

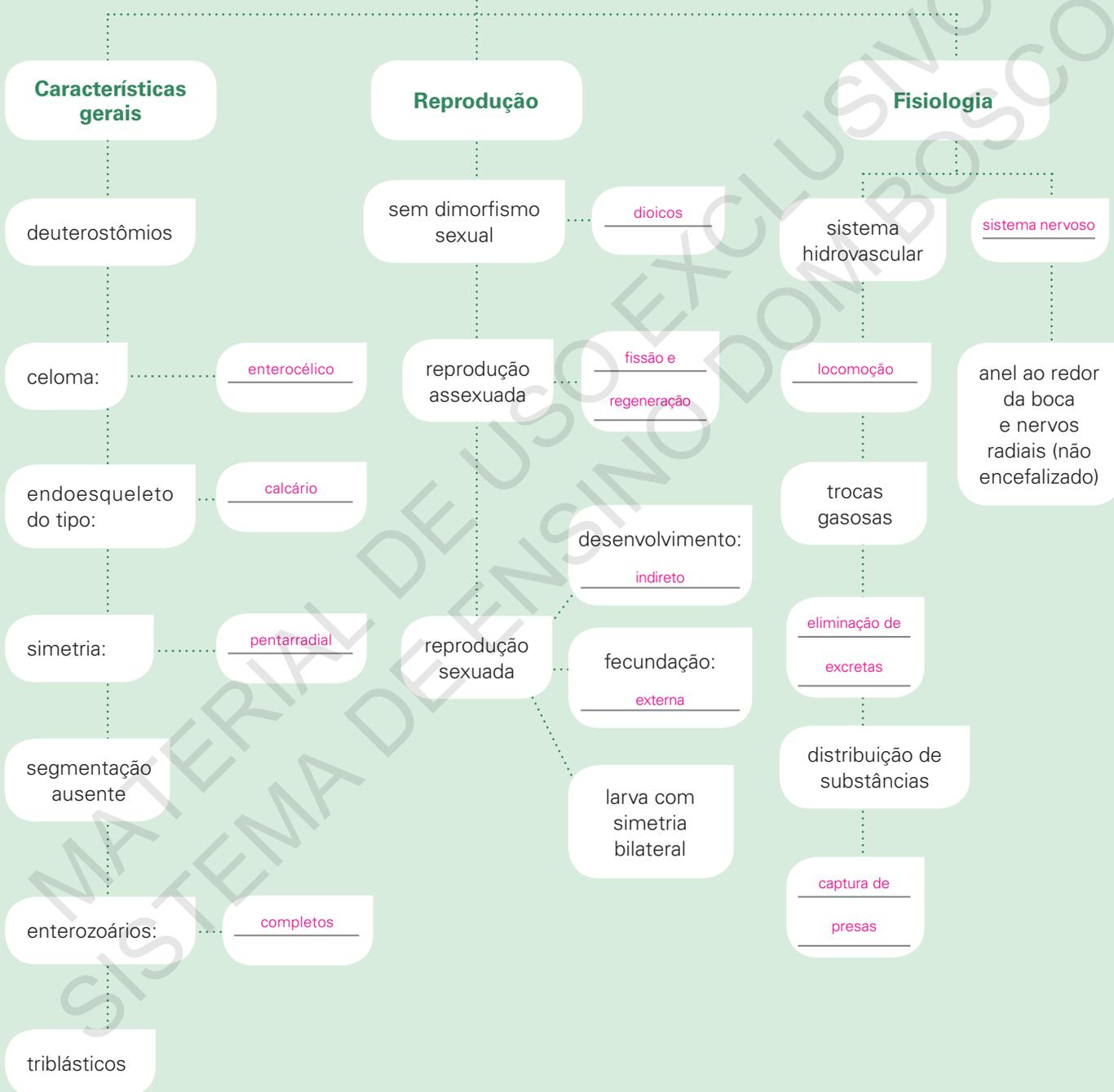
Subfilo Crustacea

lagostas, siris, caranguejo

hábitat	maioria aquática
corpo	cefalotórax, abdome
pernas	número variável
antenas	2 pares
mandíbula	presente
respiração	branquial
excreção	glândulas verdes
desenvolvimento	direto ou indireto

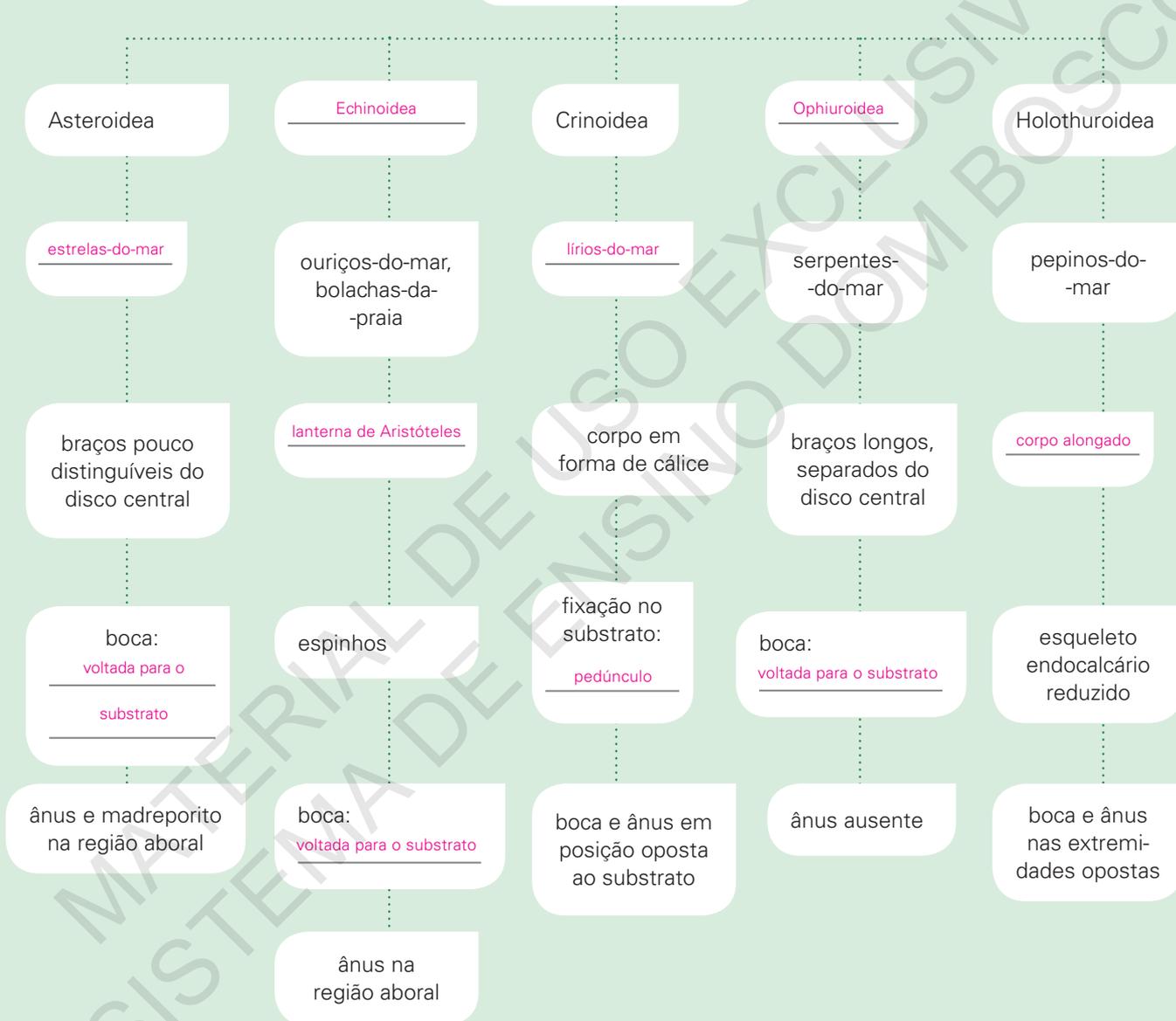
ROTEIRO DE AULA

ECHINODERMATA



ROTEIRO DE AULA

Classificação (classes)



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fuvest-SP – Gafanhotos alados (*Orthoptera*), formando nuvens, atacaram recentemente lavouras de mandioca, na região Norte do Brasil, trazendo prejuízos econômicos. Outra praga agrícola que vem causando danos para a economia é a lagarta-do-cartucho (*Lepidoptera*), que ataca plantações de milho e reduz a produção desse grão em até 50%.

a) Como esses insetos são classificados quanto ao tipo de desenvolvimento e ao processo de metamorfose?

Os insetos mencionados apresentam desenvolvimento indireto. Os

gafanhotos são hemimetábolos, ou seja, possuem metamorfose in-

completa. As lagartas, larva das borboletas e mariposas (grupo dos

lepidópteros), são holometábolos, portanto apresentam metamorfose

completa.

b) Quais são as fases de desenvolvimento representadas pelo gafanhoto alado e pela lagarta?

O gafanhoto alado representa a fase de adulto ou imago. A sequência

de fases do desenvolvimento dos insetos hemimetábolos é: ovo, ninfa,

adulto (imago).

A lagarta representa a fase de larva das borboletas e mariposas (lepi-

dópteros). A sequência de fases do desenvolvimento dos lepidópteros

é: ovo, larva (lagarta), pupa (crisálida), adulto (imago).

2. UERJ

C8-H28

Os primeiros artrópodes eram animais marinhos. Ao longo do processo evolutivo, alguns membros desse grupo sofreram transformações que possibilitaram a eles a conquista do meio terrestre.

Uma transformação que contribuiu para a permanência destes artrópodes nesse ambiente seco foi

a) circulação aberta.

b) respiração traqueal.

c) fecundação externa.

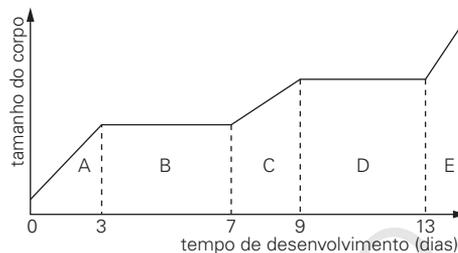
d) digestão extracorpórea.

A respiração traqueal permite a captação direta do oxigênio (O_2) presente no ar atmosférico pelos insetos (e também pelos miriápodes), e sua disponibilização para os tecidos e células dos animais através de uma rede de canais internos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

3. Uninove-SP – O gráfico representa o crescimento de um animal invertebrado e as letras A, B, C, D e E representam diferentes períodos do seu desenvolvimento.



a) Indique a que filo pertence este animal. De acordo com o gráfico, quantos períodos este animal ficou sem crescer?

O animal pertence ao filo Arthropoda; membros do grupo dos artrópodes

crescem apenas durante períodos em que trocam seu exoesqueleto. O

animal ficou sem crescer por dois períodos (B e D).

b) Qual estrutura, desenvolvida por este animal, impede seu crescimento contínuo? Cite o nome do processo que permite o crescimento deste tipo de animal.

O gafanhoto alado representa a fase de adulto ou imago. A sequência

de fases do desenvolvimento dos insetos hemimetábolos é: ovo, ninfa,

adulto (imago).

A lagarta representa a fase de larva das borboletas e mariposas (lepi-

dópteros). A sequência de fases do desenvolvimento dos lepidópteros

é: ovo, larva (lagarta), pupa (crisálida), adulto (imago).

4. Sistema Dom Bosco – O filo Echinodermata compreende atualmente cerca de 7000 espécies. Entre seus representantes mais conhecidos estão as estrelas-do-mar e os ouriços-do-mar. Sobre os equinodermos da classe Asterozoa, é correto afirmar que

a) não possuem ânus.

b) possuem braços claramente separados do disco central.

c) possuem um endoesqueleto calcário revestido pela epiderme.

d) apresentam o sistema hidrovacular pouco desenvolvido.

e) nem todos são marinhos.

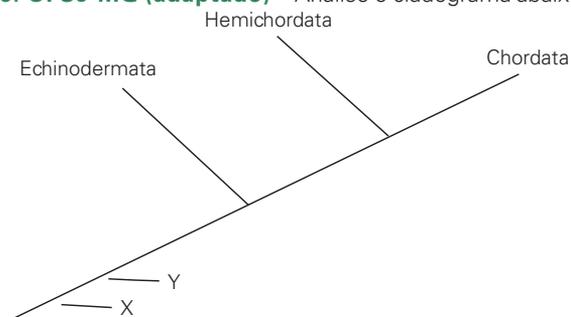
Todos os equinodermos são marinhos. A classe dos asterozoos (estrelas-do-mar) apresenta sistema digestório completo, braços que são dificilmente discerníveis do disco central e possuem o sistema hidrovacular bastante desenvolvido.

5. Fuvest-SP (adaptado) – Os equinodermos são animais deuterostômios marinhos que apresentam simetria radial na fase adulta e bilateral na fase de larva.

A palavra deuterostômio deriva do grego: *deuteros* = = segundo, secundário; *stoma* = boca. Que característica justifica denominar os equinodermos como deuterostômios? Cite outro filo animal com o qual essa característica é compartilhada.

Os equinodermos são denominados deuterostômios porque o primeiro orifício (blastóporo) formado durante a fase embrionária é o ânus, enquanto a boca é o segundo. Os animais do filo cordado também são deuterostômios.

6. UFSJ-MG (adaptado) – Analise o cladograma abaixo.



No cladograma apresentado, as letras X e Y poderiam ser substituídas corretamente por quais características?

As letras X e Y, no cladograma, referem-se a novidades evolutivas que surgiram no ancestral comum de Echinodermata, Hemichordata e Chordata, portanto, são características compartilhadas pelos três filios. Essas características são: deuterostomia (a boca é o segundo orifício formado ao longo do desenvolvimento embrionário); enterocelia (celoma revestido por mesoderme, formado por meio de evaginações ou bolsas da parede do intestino durante o desenvolvimento embrionário).

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UECE (adaptado) – Analise o que se afirma a seguir sobre os insetos:

- I. Possuem aparelhos bucais diferentes, sempre adaptados ao seu hábito alimentar específico.
- II. Suas asas são as estruturas morfológicas que os diferenciam de aracnídeos, ou seja, insetos são sempre animais voadores, enquanto aracnídeos são terrestres.
- III. Nos insetos, circulação e respiração não estão relacionadas, pois o sangue não atua no transporte dos gases respiratórios, como ocorre em outros animais.

Está correto o que se afirma em

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

8. Unicamp-SP – Fósseis do organismo *Spriggina* (em vista dorsal na figura a seguir), que viveu há 550 milhões de anos, foram descobertos nas montanhas de Ediacara, na Austrália. Tais fósseis estão entre os mais antigos vestígios de seres multicelulares já encontrados.

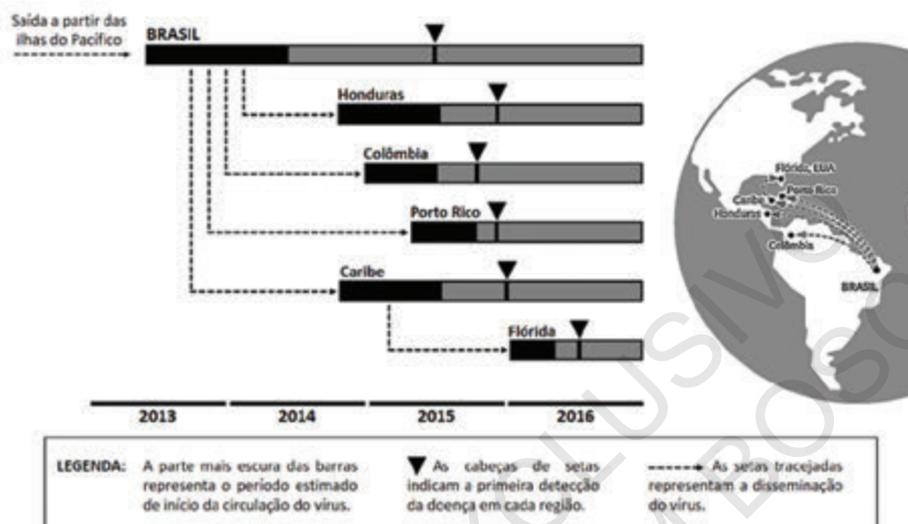
GUILLERMO GUERAO
SERRA/SHUTTERSTOCK



Esse animal primitivo, cuja classificação desafia os pesquisadores, possui algumas características ainda encontradas na maioria dos animais existentes hoje. Esse animal apresenta

- a) simetria bilateral, com eixo ântero-posterior bem definido, características não encontradas em cnidários, poríferos e equinodermos.
- b) simetria radial, com eixo dorsoventral bem definido, características não encontradas em cnidários, moluscos e equinodermos.
- c) simetria dorsoventral, com eixo ântero-posterior bem definido, características não encontradas em cordados, poríferos e cnidários.

- 12. UFSC** – A disseminação do vírus zika a partir do Nordeste brasileiro ocorreu de forma rápida e discreta, pois a detecção da doença em diversos países demorou meses, conforme mostra a figura abaixo.



GUIMARÃES, M.; TOLEDO, K. Fronteiras ultrapassadas. Pesquisa FAPESP, n. 256, p. 51, jun. 2017. (Adaptado).

Com base na figura e sobre os assuntos relacionados à transmissão dos vírus e de seus vetores, é correto afirmar que

- 01)** a disseminação do vírus zika nas Américas ocorreu através das migrações periódicas do mosquito *Aedes aegypti*.
- 02)** o Nordeste brasileiro é a região de origem da contaminação com o vírus zika em seres humanos no mundo.
- 04)** a liberação de *Aedes aegypti* machos transgênicos para o controle da população desse mosquito é uma ameaça à saúde pública, pois eles transmitem os vírus da dengue, chicungunha e zika.
- 08)** o desenvolvimento larval do *Aedes aegypti* é holometábolo, assim como o de todos os representantes da classe dos insetos.
- 16)** o aquecimento global pode favorecer a propagação do *Aedes aegypti* e de outros mosquitos transmissores de doenças.
- 32)** o *Aedes aegypti*, ao longo do seu processo evolutivo, apresentou um nicho ecológico em expansão, com novos comportamentos que favoreceram a propagação dos vírus da dengue, chicungunha e zika.
- 64)** por ocasião da primeira detecção da doença no Nordeste brasileiro, foram confirmadas em Porto Rico microcefalias originadas pelo vírus zika.

- 13. UEL-PR** – Leia o texto a seguir.

“O carrapato-estrela (*Amblyomma cajennense*), o mesmo que transmite a febre maculosa, também é vetor da bactéria *Borrelia burgdorferi*, que causa a Síndrome de Baggio-Yoshinari (SBY), uma doença infecciosa que foi registrada pela primeira vez na região de Londrina, popularmente chamada de Doença de Lyme.” Os possíveis casos de doença de Lyme, em 2017, deixaram a população de Londrina em alerta sobre a presença de carrapatos em animais domésticos.

Adaptado de: *Folha de Londrina*. Folha Saúde. 22 maio 2017. Disponível em: <<http://www.folhadelondrina.com.br/saude/londrina-temo-primeiro-caso-de-doenca-transmitida-pelo-carrapato-978135.html>>.

Acesso em: 14 jun. 2017.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre o tema, responda aos itens a seguir.

- a)** Os carrapatos pertencem a qual filo animal? Cite duas características desse filo.

b) Informe qual é o agente etiológico, o vetor e o hospedeiro da doença de Lyme, nesse texto.

14. UFRGS-RS (adaptado) – A coluna da esquerda, abaixo, apresenta características de diferentes grupos de invertebrados; a da direita, três grupos de invertebrados.

Associe adequadamente a coluna da direita à da esquerda.

- 1) Rádula como estrutura para () Crustáceos alimentação.
- 2) Locomoção realizada pelo () Moluscos sistema ambulacrário.
- 3) Corpo revestido por exoes- () Equinodermas queleto.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) 3 – 2 – 1.
- b) 3 – 1 – 2.
- c) 1 – 2 – 3.
- d) 2 – 1 – 3.

15. UEL-PR



A figura lembra o sistema hidrovascular ou ambulacrilar de um equinodermo. Esse sistema atua na locomoção, respiração, captura de alimento e como órgão sensorial, consistindo em um conjunto de canais no interior do corpo e de prolongamentos tubulares, os pés ambulacríais, que se projetam para fora através de poros.

Com relação às principais características das classes de equinodermas, assinale a alternativa correta.

- a) As estrelas-do-mar apresentam cinco braços ramificados e flexíveis, com a boca e o ânus localizados na região oposta ao substrato.

- b) As serpentes-do-mar possuem cinco braços finos e flexíveis, separados uns dos outros e ligados a um disco central, com a boca localizada na região voltada para o substrato.

- c) Os lírios-do-mar possuem cinco braços, a boca e os pés ambulacríais localizados na região voltada para o substrato e o ânus na região superior.

- d) Os ouriços-do-mar, desprovidos de braços, diferem do padrão do filo, com a boca localizada em uma das extremidades do corpo, rodeada por tentáculos, e o ânus na região oposta.

- e) Os pepinos-do-mar têm a boca localizada na região voltada para o substrato, o ânus na região superior e os pés ambulacríais distribuídos por todo o corpo.

16. Unicamp-SP – Um zoólogo recebeu um animal marinho encontrado em uma praia. Ao tentar identificá-lo com o auxílio de uma lupa, o pesquisador notou, na superfície corporal do animal, a presença de espinhos e de estruturas tubulares, identificadas como pés ambulacríais.

- a) Com base nesses elementos da anatomia externa, determine o filo a que pertence o animal em análise. Nomeie uma classe desse filo e dê um exemplo de um animal que a represente.

- b) Explique como ocorre a reprodução dos animais pertencentes a esse filo.

17. Fuvest-SP (adaptado) – Os equinodermos são animais deuterostômios marinhos que apresentam simetria radial na fase adulta e bilateral na fase de larva.

No desenvolvimento dos equinodermos, verifica-se a transição de simetria bilateral para simetria radial. Essa sequência reflete o que ocorreu com a simetria ao longo da evolução dos metazoários invertebrados? Justifique sua resposta.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H29

A formação de coágulos sanguíneos em veias e artérias é um dos fatores responsáveis pela ocorrência de doenças cardiovasculares, como varizes, infarto e acidentes vasculares cerebrais. A prevenção e o tratamento dessas doenças podem ser feitos com drogas anticoagulantes. A indústria farmacêutica estimula a pesquisa de toxinas animais com essa propriedade.

Considerando as adaptações relacionadas aos hábitos alimentares, os animais adequados ao propósito dessas pesquisas são os(as)

- a) moluscos fitófagos.
- b) moscas saprófagas.
- c) pássaros carnívoros.
- d) morcegos frugívoros.
- e) mosquitos hematófagos.

19. PUC-PR

C4-H16

Segundo o Instituto Adolfo Lutz, em 2015, a febre maculosa vitimou duas crianças em Ourinhos (SP) e uma mulher de 35 anos em Santa Cruz do Rio Pardo (SP). Essa doença é transmitida ao ser humano e a outros animais domésticos pela picada do carrapato-estrela contaminado, que costuma infestar as capivaras e outros animais silvestres. O aumento de casos pode estar ocorrendo devido à migração crescente de animais silvestres para os parques e praças das cidades em fuga dos herbicidas, pesticidas e desmatamento das zonas rurais.

Os primeiros sintomas da febre maculosa são confundidos com os da dengue, o que pode ocasionar o tratamento de forma incorreta.

A mãe de uma das crianças, morta aos 12 anos, não se conforma com o possível erro médico, uma vez que, se diagnosticado rapidamente, um simples antibiótico resolveria o problema e teria salvado a vida de sua filha.

Com base no texto, analise as afirmativas:

- I. A dengue e a febre maculosa são causadas por um patógeno do mesmo Reino.

II. A transmissão da dengue e da febre maculosa é feita por vetores da mesma classe.

III. A transmissão da dengue e da febre maculosa é feita por dois animais hematófagos.

IV. O uso de antibiótico resolve as duas doenças.

A(s) afirmativa(s) correta(s) é (são)

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

20. UEPB

C4-H16

Enquanto a Eco-92 ficou conhecida como a Cúpula da Terra, a Rio20 foi muitas vezes citada como a "Cúpula dos Mares". O documento final aprovado pelos Chefes de Estado traz como uma de suas metas a redução dos detritos marinhos, em especial plástico, até 2025. O desenvolvimento de uma rede global de áreas marinhas protegidas internacionais e a criação de mecanismos de governança global dos oceanos para preservar a biodiversidade e os recursos genéticos também estavam em pauta. Sobre os *Echinodermata*, animais exclusivamente marinhos, assinale a alternativa correta:

- a) O caráter compartilhado que aproxima o filo *Echinodermata* do filo *Chordata* é a presença de notocorda na fase embrionária.
- b) Os *Echinodermata* apresentam organização pentaradiada, com larvas de simetria bilateral, esqueleto calcário externo, triblásticos e deuterostômios.
- c) A forma básica de reprodução desses animais é assexuada.
- d) É o único grupo do reino animal que possui um sistema aquífero responsável pelas funções de circulação, locomoção, respiração, excreção e percepção.
- e) Conchas, estrelas-do-mar e ouriços-do-mar são seus representantes mais conhecidos.

CORDADOS E PEIXES

12

Os cordados compreendem um dos grupos animais mais conhecidos. Embora seja relativamente pequeno quando comparado ao dos invertebrados, o grupo dos cordados inclui grande diversidade de formas corporais, tamanhos e comportamentos, além de hábitos de vida bastante complexos.

São divididos em três subfilos: Vertebrata ou Craniata, que corresponde aos peixes, sapos, répteis (incluindo as aves) e mamíferos; Cephalochordata, representado pelos anfioxos; e Urochordata, que tem as ascídias como representantes.

Todos os cordados compartilham a característica que dá nome ao filo, a **notocorda** (do grego *noton*, dorso; e do latim *chorda*, cordão), que consiste em uma estrutura em forma de tubo ou bastão, flexível e semirrígida, que se estende, na maioria dos casos, ao longo de todo o comprimento da região dorsal do animal e funciona como um esqueleto hidrostático, fornecendo sustentação ao corpo.

Neste módulo serão estudados os cordados e as novidades evolutivas do grupo, bem como suas principais características.

FILO CHORDATA

Considera-se que os primeiros cordados tenham surgido há cerca de 530 milhões de anos. Além deles, o clado dos deuterostômios inclui o filo dos equinodermos e o filo dos hemicordados.

Seus representantes compartilham uma série de semelhanças durante a fase de desenvolvimento embrionário, embora não sejam sempre evidentes ou estejam presentes nos indivíduos adultos. Estão distribuídos em todos os habitats – terrestres, marinhos e de água doce. São animais triblásticos, celomados, deuterostômios, com simetria bilateral e segmentação visível na fase embrionária, o que não é evidente na fase adulta.

Todos os cordados apresentam, em pelo menos um estágio do desenvolvimento, as estruturas a seguir.

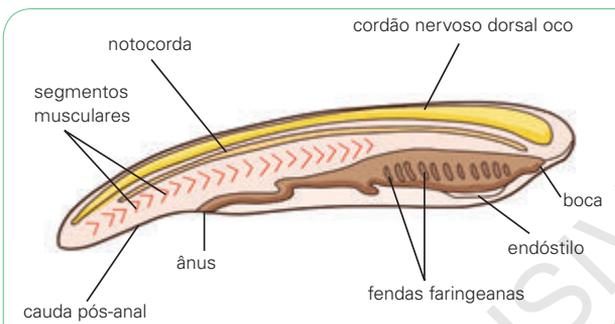
- **Notocorda:** de origem mesodérmica, localiza-se abaixo do tubo nervoso e tem a função de sustentar o corpo. Oferece suporte a ele e serve como ponto de fixação para alguns músculos. Em protocordados e alguns vertebrados primitivos, a notocorda persiste por toda a vida do animal; nos vertebrados, orienta a formação das vértebras e pode permanecer somente como vestígio.
- **Tubo nervoso dorsal oco:** cordão tubular de origem ectodérmica, localizado na região dorsal do corpo, acima da notocorda, com um pequeno canal central por onde circula líquido. Nos vertebrados, a extremidade anterior do tubo nervoso aumenta, formando o encéfalo, cujo volume relativo e a complexidade variam de acordo com o grupo.
- **Fendas faringeanas:** aberturas laterais nos dois lados da faringe, irrigadas por uma delicada rede de vasos sanguíneos. Nos cordados aquáticos, o tecido que reveste as paredes entre as fendas se desenvolve, originando as brânquias. Nos vertebrados terrestres, as fendas faringeanas estão presentes apenas no estágio embrionário.
- **Cauda pós-anal:** região do corpo que se estende além do ânus e tem funções de equilíbrio, natação, ataque, defesa, entre outras. Em algumas espécies, como a humana, a cauda pós-anal desaparece completamente durante o desenvolvimento embrionário.

- Filo Hemichordata
- Filo Chordata
- Relações evolutivas
- Agnatos
- Gnatostomados

HABILIDADES

- Compreender as características diagnósticas do filo dos cordados.
- Reconhecer características morfológicas e fisiológicas dos subfilos de cordados.
- Associar características adaptativas dos cordados com seu modo de vida e com seus limites de distribuição em diferentes ambientes.
- Reconhecer características morfológicas e fisiológicas dos peixes.
- Diferenciar agnatos de gnatostomados com base em suas características evolutivas.
- Associar características adaptativas dos peixes ao modo de vida desses animais.

- **Endóstilo ou sulco hipofaríngeo:** estrutura ciliada secretora de muco, presente na faringe de ascídias (urocordados), anfioxos (cefalocordados) e larvas de lampreia, que desempenha importante função na alimentação. Trata-se de uma estrutura precursora/homóloga da glândula tireoide nos demais cordados, perdendo sua função no processo de alimentação.

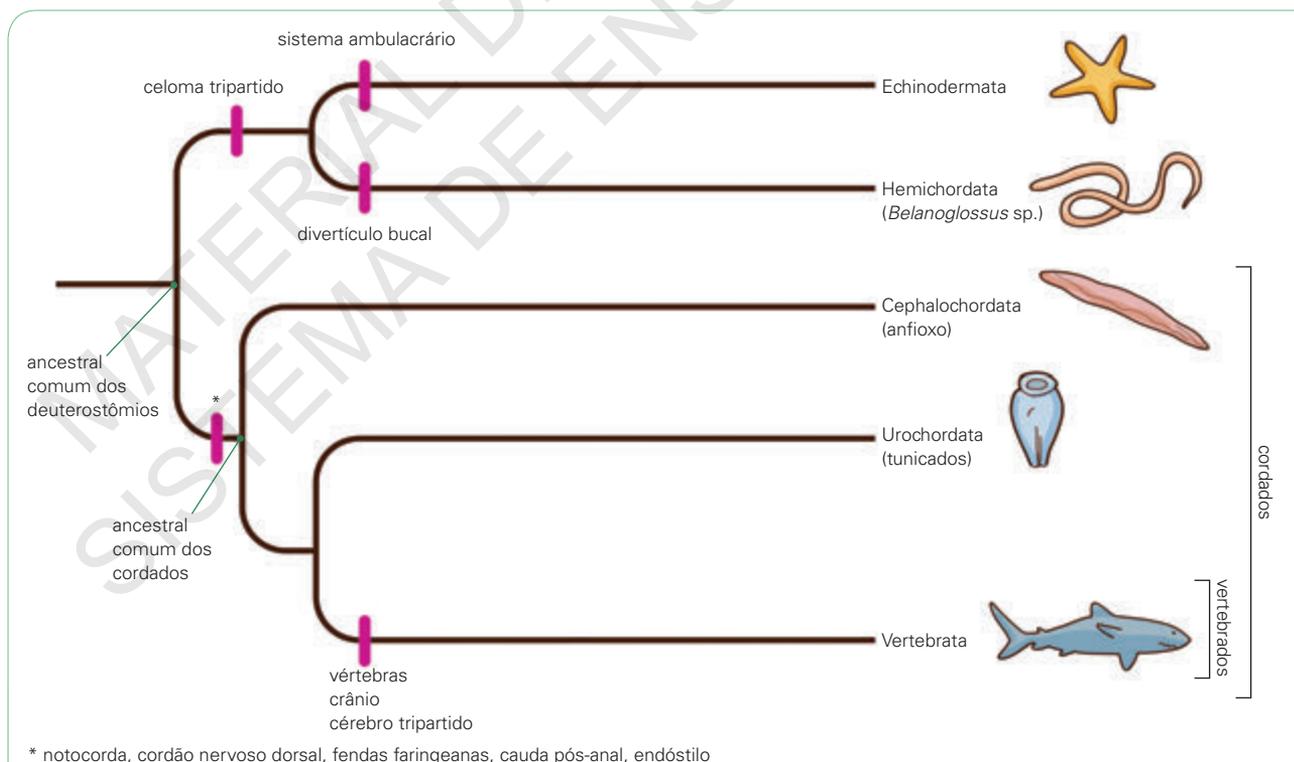


Organização do corpo de um cordado. Todos os cordados apresentam notocorda, cordão nervoso dorsal oco, ânus, cauda pós-anal, fendas faríngeas e endóstilo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

RELAÇÕES EVOLUTIVAS

A hipótese de parentesco dos deuterostômios adotada neste livro reconhece o grupo formado pelos equinodermos e pelos hemicordados como grupo-irmão (mais próximo) do filo dos cordados (cefalocordados, urocordados e vertebrata). Os cefalocordados (anfioxos) e os urocordados (ascídias) compartilham com os vertebrados as cinco características herdadas do ancestral comum de todos os cordados: notocorda, tubo nervoso dorsal oco (tubo neural), fendas faríngeas, ânus, cauda pós-anal e endóstilo.

Com base em estudos moleculares recentes e também nos estágios iniciais do desenvolvimento embrionário, chegou-se à hipótese de que o grupo dos urocordados (filo dos cordados) é grupo-irmão dos vertebrados.



Cladograma que evidencia a hipótese filogenética que reconhece o clado formado por equinodermos e hemicordados como grupo-irmão dos cordados, e as relações de parentesco entre os subfilos dos cordados. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Nos ancestrais dos cordados vertebrados, surgiram o crânio (caixa encefálica), o cérebro tripartido (dividido em três partes) e as vértebras, que são novidades evolutivas exclusivas dos vertebrados.

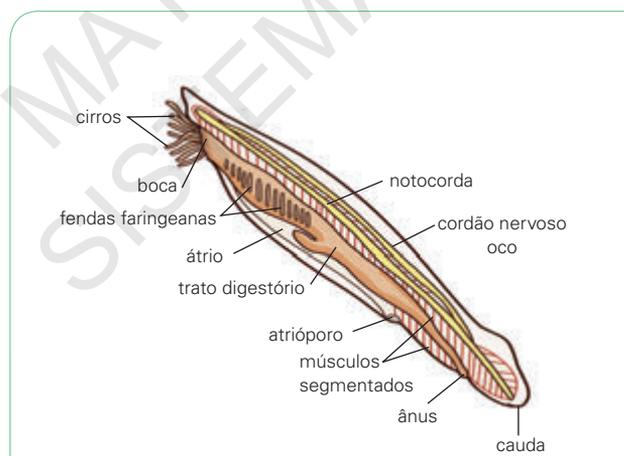
SUBFILO CEPHALOCHORDATA

O anfioxo (do grego *amphi*, ambos; e *oxus*, ponta) é o representante mais conhecido dos cefalocordados. Seu corpo é semelhante ao de um peixe, com 3 a 7 centímetros de comprimento, sendo lateralmente comprimido e afilado nas extremidades, o que justifica seu nome.

Durante toda a vida do anfioxo (fase larval e adulta), estão presentes as cinco características típicas dos cordados, sendo que nenhum outro cordado as exibe de forma tão evidente.

A notocorda dos cefalocordados é bem desenvolvida e se estende por todo o corpo. Não apresenta cabeça diferenciada, e a boca é uma abertura circular na extremidade anterior, circundada por um conjunto de pequenos tentáculos denominados **cirros**; o ânus situa-se ventralmente na outra extremidade do corpo. A região da faringe fica em uma cavidade chamada átrio, que se comunica com o exterior pelo **atrióporo**. Sua segmentação é visível na musculatura em forma de V e na distribuição das gônadas.

São animais filtradores e possuem sistema digestório completo – a água entra pela boca, atravessa as fendas faríngeas, chega até o átrio e sai pelo atrióporo. As partículas alimentares retidas no muco secretado pelo endóstilo passam pela faringe e são encaminhadas, por meio de batimentos ciliares, até o intestino, no qual ocorrem a digestão e a absorção. O sistema cardiovascular é fechado, de modo que as trocas gasosas ocorrem por difusão por meio da superfície corporal. O sistema nervoso é formado por um tubo nervoso dorsal, localizado acima da notocorda. São animais dioicos, apresentam fecundação externa e seu desenvolvimento é indireto.



Representação da anatomia interna do anfioxo (*Branchiostoma lanceolatum*). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SUBFILO UROCHORDATA

O nome urocordado deriva do fato de a notocorda estar presente apenas na cauda da larva (do grego *uro*, cauda). A maioria dos urocordados é **séssil**, podendo viver solitária ou em colônia. Nesse subfilos estão incluídos desde formas microscópicas até seres com cerca de 30 centímetros de diâmetro e compreende cerca de 3 mil espécies (já identificadas).

As formas adultas são completamente diferentes da forma larval, por causa de uma metamorfose radical pela qual a larva passa.

As larvas exibem as cinco características compartilhadas pelos cordados. Os adultos, entretanto, apresentam apenas duas delas: fendas faríngeas e endóstilo. O tubo nervoso dorsal encontrado na larva é reduzido a apenas um gânglio nervoso no adulto, e a notocorda desaparece juntamente com a cauda.

O corpo da ascídia adulta é envolvido por uma **túnica** elástica e resistente, feita de tunicina, material muito semelhante à celulose e de ocorrência rara nos animais. Por isso, também são conhecidos como **tunicados**. A túnica abre-se por meio de dois sifões, por onde a água entra e sai do animal. Pelo **sifão inalante** superior entra a água, onde são filtrados e retidos os pequenos plânctons. E ela sai pelo **sifão exalante** lateral, levando as fezes, as excretas e também os gametas. A ascídia é hermafrodita, com fecundação cruzada e externa, e apresenta desenvolvimento indireto.

Os urocordados possuem sistema digestório completo, com boca e ânus, e o sistema cardiovascular é aberto e reduzido. As trocas gasosas ocorrem por meio das fendas branquiais, altamente vascularizadas.

SUBFILO VERTEBRATA (CRANIATA)

Os vertebrados ou craniados são o maior e mais diversificado grupo de cordados e compreendem cerca de 57 mil espécies conhecidas. Esse grupo apresenta, como novidades evolutivas, **vértebras**, **crânio** e cérebro **tripartido**, dividido em protoencéfalo, mesencéfalo e metaencéfalo.

Os vertebrados são classificados em dois grupos monofiléticos: os **ciclostomados** ou **agnatos** (vertebrados sem mandíbula), que são os peixes-bruxa (feiticeiras) e as lampreias; e os **gnatostomados** (vertebrados com mandíbula), que são os peixes cartilagineos e ósseos, os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos.

Características gerais

A maioria dos vertebrados tem notocorda apenas na fase embrionária e é substituída na fase adulta pela coluna vertebral (cartilaginosa ou óssea), restando apenas alguns remanescentes dessa estrutura. Apesar da grande diversidade do grupo, todos os vertebrados apresentam organização corporal semelhante.

Na maioria dos vertebrados, o **esqueleto interno** é articulado, cartilaginosa ou óssea e tem como função sustentar o corpo e proteger os órgãos. O **crânio** protege o encéfalo, e a **coluna vertebral** sustenta o corpo e

protege a medula espinal. As nadadeiras dos peixes e as patas dos tetrápodes também têm suporte esquelético e estão ligadas ao restante do esqueleto. Os músculos são responsáveis pela movimentação e locomoção do animal e atuam em conjunto com o esqueleto.

O **tubo digestório** é completo, e a digestão é extracelular. Na região posterior de peixes cartilaginosos, anfíbios e répteis (incluindo as aves) está a cloaca, que é uma câmara na qual desembocam o intestino e os canais urinários e reprodutores. Peixes ósseos e mamíferos não possuem cloaca, de modo que existe uma separação entre os canais dos sistemas digestório, urinário e reprodutor, com exceção dos mamíferos monotremados (ornitorrinco). São comuns glândulas anexas ao sistema digestório, como as salivares, o fígado e o pâncreas.

O **sistema circulatório** é fechado. O coração, bem desenvolvido, contém um número variável de câmaras, além de vasos linfáticos. O pigmento respiratório comum aos vertebrados é a hemoglobina, além de leucócitos e hemácias.

A **excreção** é feita por rins pares, que drenam excretas do celoma, do sangue ou de ambos. O resíduo metabólico nitrogenado varia em função da disponibilidade de água e do tipo de desenvolvimento embrionário.

O **sistema nervoso** dorsal compreende encéfalo bem desenvolvido, dividido em três partes: prosencéfalo, mesencéfalo e romboencéfalo, além de medula espinal, de uma série de nervos espinais e cranianos e de um sistema nervoso autônomo, que regula funções orgânicas involuntárias.

Os vertebrados são dioicos, de reprodução sexuada e estratégias reprodutivas muito variáveis.

PEIXES

Os peixes ocupam todos os ambientes aquáticos e são mais numerosos em espécies que todos os outros grupos de vertebrados juntos. Embora a maioria das pessoas saiba o que é um peixe – animal vertebrado aquático que respira na água, de corpo hidrodinâmico equipado com nadadeiras –, o termo **peixes** não tem valor taxonômico para a classificação dos vertebrados.

Essa palavra engloba animais com parentesco bastante variado e não corresponde a um grupo monofilético. Para que **peixes** se referisse a um grupo válido, seria preciso incluir nessa classificação os tetrápodes (vertebrados terrestres com patas). Isso porque o ancestral aquático dos tetrápodes fazia parte de um grupo de peixes com nadadeiras carnosas.

Embora esse agrupamento não tenha valor taxonômico, o grupo dos peixes tem grande importância ecológica e econômica. Atualmente, porém, a diversidade e a distribuição desses animais estão ameaçadas em virtude da intensificação da pesca para o consumo humano e da degradação dos habitats aquáticos pela ação antrópica.

Estudaremos os grupos válidos na classificação dos vertebrados informalmente tratados como peixes: ag-

natos (vertebrados sem mandíbula) e gnatostomados (vertebrados com mandíbula).

AGNATOS

Lampreias e feiticeiras (peixes-bruxa) são os representantes atuais de agnatos, também chamados **ciclóstomos** (do grego *cyclos*, circular; *stoma*, boca). Esses animais têm crânio, mas são **desprovidos de mandíbula**. Por essa razão são conhecidos como “peixes sem mandíbula”. A notocorda persiste no indivíduo adulto e é a principal estrutura de sustentação. Em virtude desse fato, são considerados vertebrados primitivos.

A presença de vértebras pouco desenvolvidas era reconhecida apenas nas lampreias. No entanto, mais recentemente essas estruturas também foram identificadas nos peixes-bruxa. Assim, os agnatos compreendem os vertebrados sem mandíbulas e com vértebras rudimentares.

Lampreias (classe Petromyzontida ou Cephalaspidomorphi) são encontradas em ambientes de água doce e salgada. Peixes-bruxa (classe Myxini), por sua vez, são animais exclusivamente marinhos.

Os agnatos apresentam aberturas branquiais em forma de poros, respiração branquial, corpo cilíndrico e alongado e um coração com duas cavidades (um átrio e um ventrículo).

LAMPREIA (CLASSE CEPHALASPIDOMORPHI)

Na cabeça das lampreias, há um funil bucal ventral com vários dentículos de queratina e uma língua denteada. Esses animais têm dois grandes olhos laterais sem pálpebras, e atrás de cada olho há **sete fendas branquiais**. A notocorda persiste como estrutura de suporte no indivíduo adulto. O conjunto de células sensoriais sensíveis às vibrações da água, conhecido como **linha lateral**, está ao longo dos dois lados do corpo.

Os representantes mais conhecidos das lampreias são parasitas de outros animais, aos quais se prendem por sucção do funil bucal, com auxílio dos dentículos bucais. Os dentículos linguais abrem um orifício no corpo do peixe a ser parasitado, e uma substância anticoagulante é injetada quando o sangue flui para a boca da lampreia.

São animais dioicos com desenvolvimento indireto e fecundação externa. Após a desova, os adultos morrem.

PEIXES-BRUXA (CLASSE MYXINI)

Também conhecidos como feiticeiras, são animais carnívoros que se alimentam de poliquetas e crustáceos, além de peixes mortos – hábito que os classifica como saprótróficos. Para isso, os peixes-bruxa usam um olfato bastante desenvolvido, uma vez que seus olhos são reduzidos. Têm uma língua com pequenos dentículos queratinizados, que servem para raspar o corpo das presas. Há de 5 a 16 pares de brânquias situados nas laterais do corpo.

Produzem grande quantidade de muco na superfície corporal que os torna muito escorregadios, o que é usado para fugir de predadores. Diferentemente de todos os demais vertebrados, os fluidos corporais dos peixes-bruxa estão em **equilíbrio osmótico** com a água do mar.

Contando atualmente com cerca de 70 espécies conhecidas de peixes-bruxa, esses animais vivem predominantemente em águas frias de regiões temperadas do globo. Assim, não fazem parte da fauna brasileira.

Por muito tempo foram considerados animais hermafroditas, mas descobriu-se que somente um dos sistemas reprodutores é funcional. Portanto, são animais dioicos, com fertilização externa e desenvolvimento direto.



Estrutura bucal de peixe-bruxa (*Petromyzon marinus*) em detalhe.

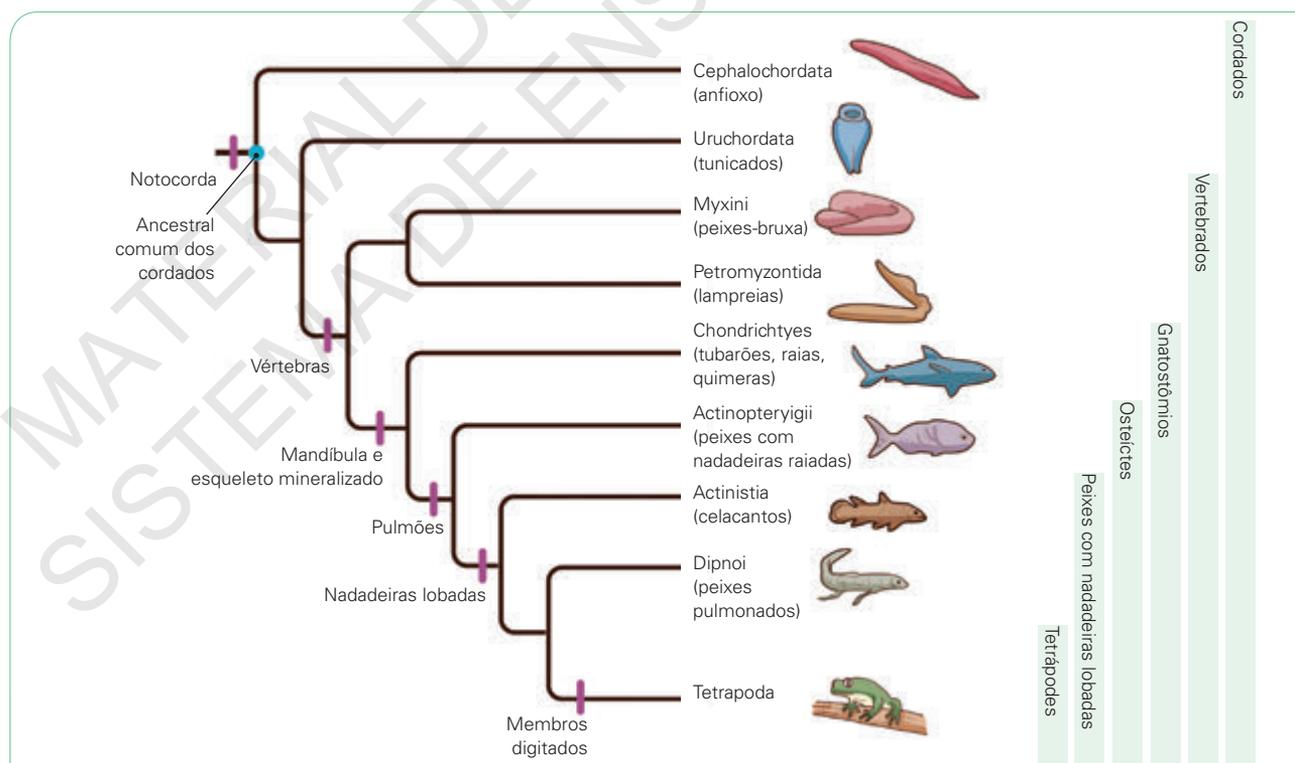
GNATOSTOMADOS

O surgimento da **mandíbula** e de **nadadeiras pares** foi fundamental para o sucesso evolutivo desse grupo. Seus membros se diferenciaram nas linhagens que originaram o grupo dos peixes cartilagosos, dos peixes de nadadeiras raiadas, do celacanto, dos peixes pulmonados e dos tetrápodes.

Enquanto os agnatos têm apenas nadadeiras ímpares e pouco desenvolvidas, os gnatostomados possuem nadadeiras pares (pélvicas e peitorais). Essas estruturas proporcionam maior velocidade, estabilidade e habilidade de movimentação na coluna de água, o que favorece a capacidade de fuga de predadores e a captura de presas.

A evolução da mandíbula nos gnatostomados possibilitou a esses animais capturarem e se alimentarem de presas maiores e mais ativas. Esse fato aumentou a variedade de alimentos disponíveis e conferiu adaptação importante em relação aos agnatos.

A mandíbula surgiu com base nos dois primeiros arcos branquiais (elementos esqueléticos cartilagosos de sustentação das brânquias), os quais, projetados para a frente, se articulam com outros elementos do crânio.



Hipótese filogenética atualmente aceita dos maiores clados de cordados. À esquerda, estão as novidades evolutivas de alguns clados. À direita, estão os grandes grupos monofiléticos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLASSE CHONDRICHTHYES (PEIXES CARTILAGINOSOS)

O termo que nomeia esse grupo vem do grego *chondros*, cartilagem, e *ichthys*, peixes. São os animais com esqueleto formado por tecido cartilaginoso, por isso também conhecidos como **peixes cartilagosos**. O grupo compreende tubarões, raias e quimeras. Atualmente, são conhecidas cerca de 850 espécies viventes, predominantemente marinhas.

Os condrictes são classificados em dois grupos (subclasses):

- Elasmobranchii (elasmobrânquios) – Apresentam **fendas branquiais não protegidas** por opérculos e têm corpo recoberto por **escamas placoides**. Fazem parte desse grupo os tubarões e as raias. Compreendem a maioria das espécies de condrictes.
- Holocephali (holocéfalos) – Apresentam **brânquias protegidas** por opérculos membranosos. Compreendem cerca de 30 espécies de quimeras, vivendo em ambientes marinhos de águas profundas.



YFHSHINUMA/ISTOCK



LAGUNATICPHOTO/SHUTTERSTOCK

À esquerda, tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*). Ao centro, raia-do-sul (*Dasyatis americana*). Ambos são representantes dos elasmobrânquios. À direita, uma quimera (*Hydrolagus collii*), representante dos holocéfalos.

Predominantemente predadores, os tubarões se alimentam de peixes. As raias, por sua vez, têm moluscos, crustáceos e pequenos peixes como fonte de alimento. Algumas delas possuem espinho ou ferrão venenoso na cauda, usado para defesa.

Comparados aos ciclostomados, os condrictes apresentam as seguintes novidades evolutivas:

- mandíbula derivada de um dos arcos branquiais;
- elementos esqueléticos de sustentação das brânquias, os quais, projetados, se articulam com outros elementos do crânio;
- nadadeiras pares, que auxiliam na propulsão e na orientação do corpo na água, o que fornece maior habilidade de movimentação.

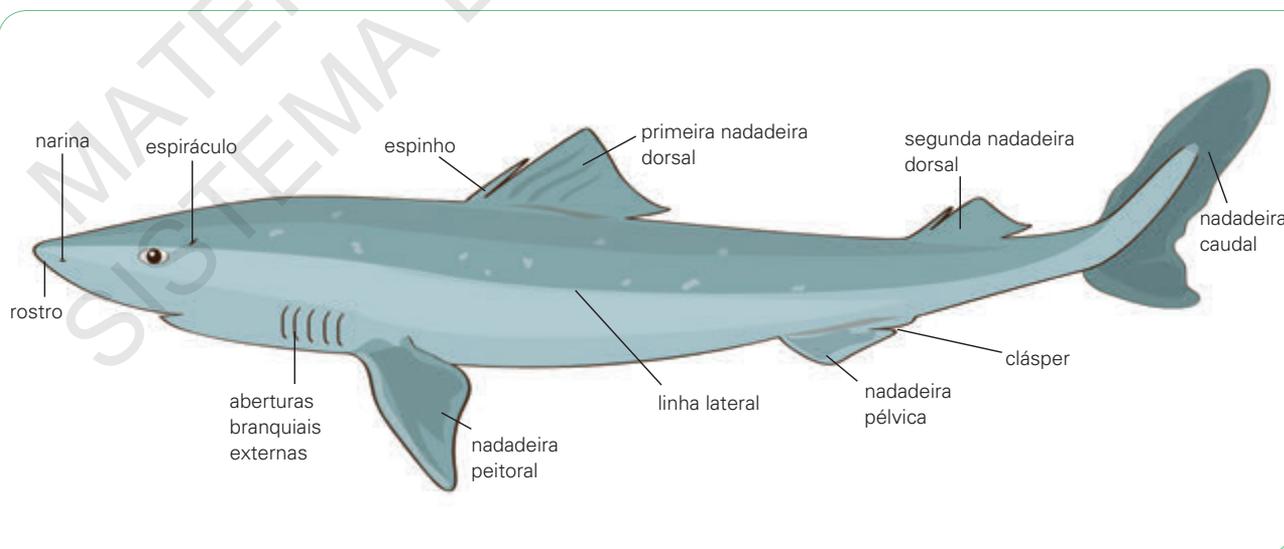


Ilustração da anatomia externa de um tubarão. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anatomia e fisiologia

A pele dos condrites é recoberta por pequenas escamas placoides de origem dermoepidérmica. Compostas de uma camada de esmalte e de uma placa basal de dentina, essas escamas têm forma de espinhos voltados para a região posterior do corpo. Isso confere menor atrito do corpo desses animais com a água durante a movimentação.

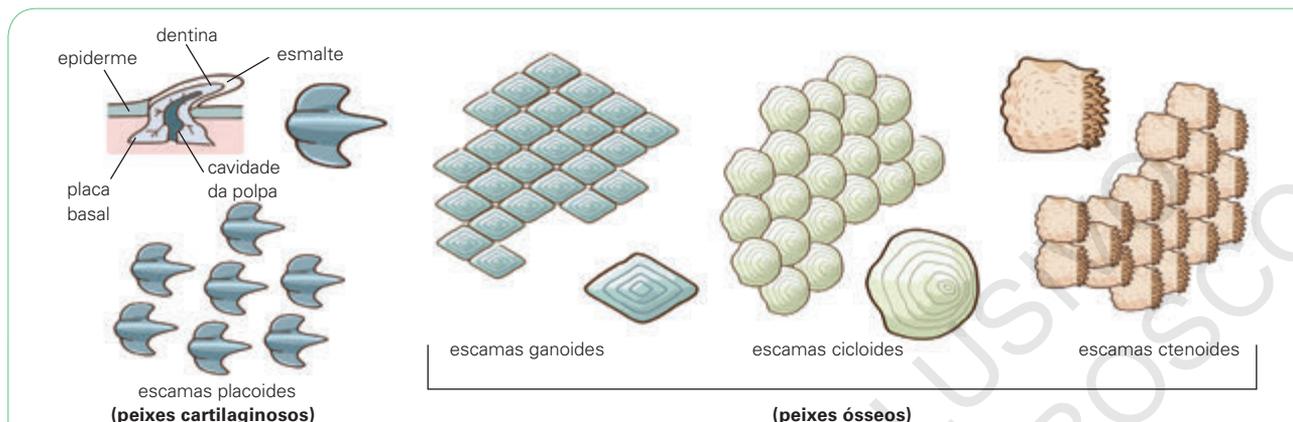


Ilustração dos tipos de escamas encontrados em peixes cartilaginosos e em actinoptérgios. Algumas espécies de peixes ósseos, como enguias e bagres, não têm escamas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Em relação ao formato, os tubarões têm o corpo fusiforme (alongado, com extremidades afiladas em relação ao centro) e uma nadadeira caudal heterocerca (assimétrica), com o lóbulo superior maior que o inferior.

Atrás dos olhos, abre-se um par de espiráculos que comunicam a faringe com o meio. Os tubarões apresentam também entre cinco e sete pares de fendas branquiais, pelas quais passa a água que entra pela boca, na qual estão as brânquias ricamente vascularizadas que realizam as trocas gasosas.

A boca ocupa posição ventral nesses animais, e os dentes são escamas placoides diferenciadas dispostos em fileiras. Assim, os dentes funcionais ficam à frente e são substituídos pelos dentes das fileiras de trás, conforme são perdidos. No intestino curto, um septo espiralado denominado **válvula espiral** retarda a passagem do alimento e aumenta a superfície de absorção.

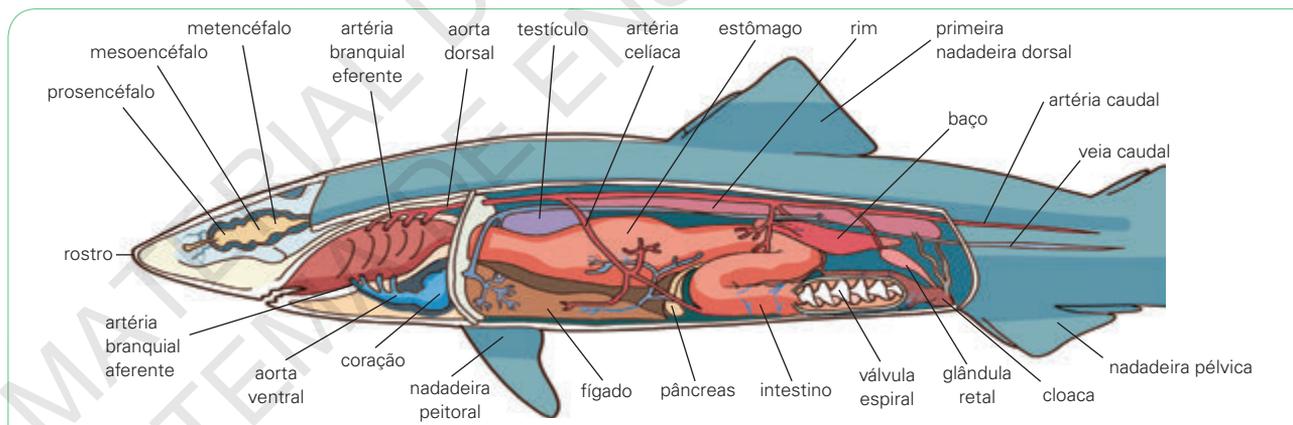


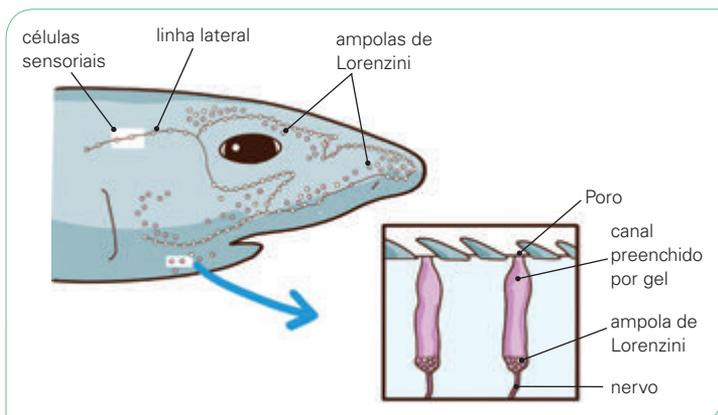
Ilustração da anatomia de um tubarão-bagre, com a válvula espiral do sistema digestório em detalhes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

O coração dos peixes cartilaginosos, assim como dos actinoptérgios, tem duas cavidades: um átrio e um ventrículo. O **átrio** recebe o sangue venoso vindo dos tecidos do corpo, rico em gás carbônico (sangue venoso), que passa então ao **ventrículo**, no qual é bombeado para as brânquias. Nelas o sangue é oxigenado e se torna rico em oxigênio (sangue arterial). Das brânquias, o sangue segue para os tecidos do corpo. Desse modo, a circulação desses peixes forma apenas um circuito, e não há mistura entre os sangues venoso e arterial no coração. Esse padrão cardiovascular é conhecido como **circulação simples e completa**:

coração → brânquias → tecidos do corpo → coração

Peixes cartilagosos têm **rins mesonefros**, que filtram o sangue e o líquido celomático e excretam **ureia**. O tubarão, por exemplo, é tolerante à grande concentração de ureia no sangue, fenômeno denominado **uremia fisiológica**. Essa alta concentração torna o plasma quase isotônico em relação à água do mar, o que evita a perda de água por osmose.

Condrictes não apresentam estruturas de flutuação, de modo que o fígado, rico em óleo, contribui para manter a densidade corporal pouco superior à da água, o que facilita a flutuabilidade. A densidade da cartilagem que compõe o esqueleto é cerca da metade da densidade dos ossos, o que também auxilia a flutuação.



Representação da cabeça de um tubarão. É possível observar as ampolas de Lorenzini (células sensoriais eletrorreceptoras) e as células sensoriais (neuromastos) presentes na linha lateral. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os olhos laterais não têm pálpebras e facilitam a localização das presas. **A linha lateral**, por meio de receptores sensoriais (neuromastos), capta vibrações e mudanças na temperatura e na pressão da água circundante. Isso auxilia a localização de obstáculos e presas. O olfato extremamente desenvolvido dos tubarões possibilita a identificação de substâncias ainda que bastante diluídas na água. Na região da cabeça, as **ampolas de Lorenzini** captam correntes elétricas geradas pela atividade muscular de outros animais.

Os condrictes são animais dioicos, de fecundação interna e desenvolvimento direto. Os machos possuem um par de órgãos copuladores (denominados **cláspers**), formados por modificações das nadadeiras pélvicas. Essas

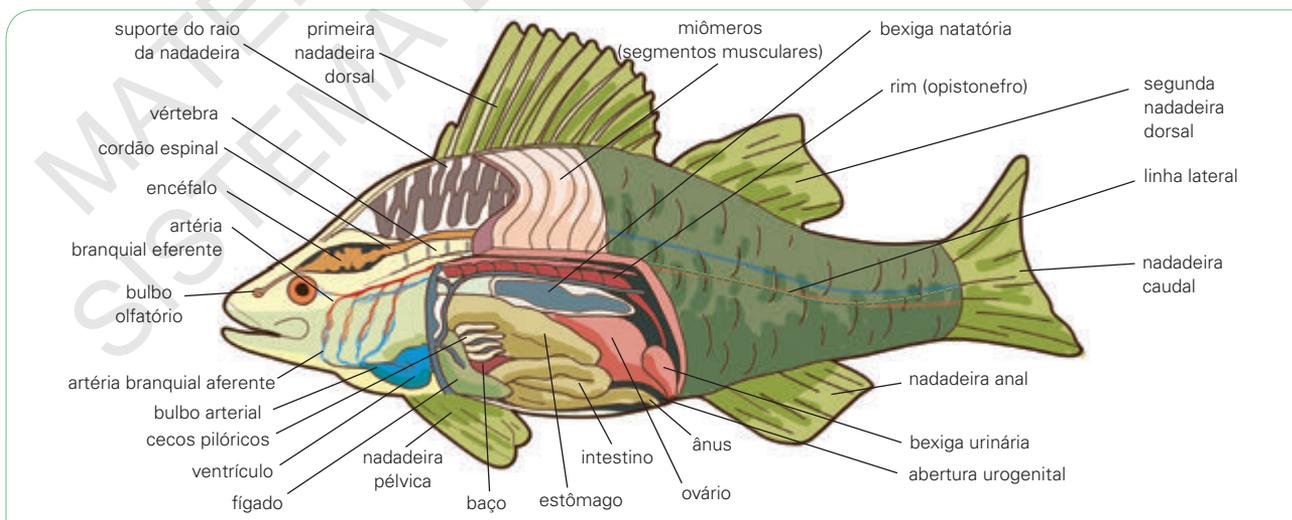
estruturas auxiliam a passagem do esperma para a **cloaca** da fêmea. Há espécies ovíparas, ovovivíparas e vivíparas.

Nas espécies ovovivíparas, os embriões são retidos no corpo da fêmea, em que se alimentam de sua bolsa de vitelo até o nascimento.

Em espécies vivíparas, por sua vez, os embriões são nutridos pela placenta.

CLASSE ACTINOPTERYGII (PEIXES DE NADADEIRAS RAIADAS)

Os actinoptérigeos recebem esse nome (do grego *aktis*, raio; *pteryx*, nadadeira) porque apresentam raios ósseos que sustentam as nadadeiras. Esse grupo compreende a grande maioria dos peixes conhecidos. Seus representantes estão espalhados por todos os tipos de ambiente aquático.



Anatomia de uma perca (*Perca* sp.), animal de água doce, representante dos peixes de nadadeiras raiadas (actinoptérigeos). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Características gerais

Apesar de ser um grupo bastante diverso em espécies, os actinoptérgios apresentam características gerais semelhantes, como:

- esqueleto predominantemente ósseo;
- escamas leves, finas e flexíveis;
- mandíbulas complexas.

O corpo dos actinoptérgios é coberto por epiderme lisa e com glândulas mucosas, o que facilita a movimentação na água e funciona como proteção contra parasitas.

As escamas que recobrem o corpo dos actinoptérgios são de **origem dérmica** e podem ser de três tipos: ganoides, cicloides e ctenoides. Alguns actinoptérgios, como bagres e enguias, não têm escamas na pele.

Em geral, peixes ósseos são maiores em altura que em largura. Esse fato aumenta a hidrodinâmica e reduz a resistência do corpo com a água durante o deslocamento.



Diferentes tipos de nadadeiras caudais de peixes cartilaginosos (tubarão), pulmonados e actinoptérgios (perca). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A boca se encontra na região anterior, com dentes finos. Os olhos são laterais, atrás dos quais se encontra o **opérculo**, placa óssea que recobre as brânquias. Em razão dos movimentos sincronizados de abertura e fechamento da boca e dos opérculos, é estabelecido um fluxo contínuo de água, que entra pela boca e sai pela abertura lateral do opérculo. Isso garante a renovação da água em contato com as brânquias e assegura a absorção de oxigênio e a eliminação de gás carbônico.

Sustentadas por raios ósseos, as nadadeiras pares são expansões membranosas que mantêm o equilíbrio do corpo e ajudam na direção dos movimentos. Esse fato gera maior controle na movimentação durante o nado (deslocamento).

O sistema digestório é completo, com boca e ânus. Acima do estômago está a **bexiga natatória**, uma novidade evolutiva dos actinoptérgios em relação aos condrictes. Essa estrutura se assemelha a uma bolsa de paredes finas, localizada na porção dorsal da cavidade corporal, a qual pode ser preenchida por gases. Funciona como um órgão hidrostático que possibilita ao animal ajustar sua densidade corporal em relação à da água, permitindo o descolamento vertical. A mudança de profundidade ocorre lentamente, e o peixe não precisa nadar para manter a flutuação em virtude da secreção ou absorção dos gases através dos vasos sanguíneos ou das glândulas especiais situadas na parede da bexiga natatória.

Assim como nos peixes cartilaginosos, a circulação nos peixes actinoptérgios é **fechada e simples**. O sangue venoso passa pelo coração, equipado com duas câmaras, um átrio e um ventrículo. Ele é, então, conduzido às brânquias, nas quais ocorrem as trocas gasosas.

Os **rins mesonefros** dos actinoptérgios filtram o sangue e o líquido celomático. Além disso, o principal produto de excreção é a **amônia**. A linha lateral possibilita a esses animais perceberem modificações de pressão e vibrações na água. Isso facilita a locomoção e a localização de presas e predadores. A derme de muitas espécies apresenta cromatóforos, responsáveis pela coloração variada e pela capacidade de mudança de cor. Essa característica é utilizada na fuga de predadores e na atração de parceiros sexuais.

Reprodução

Actinoptérgios são geralmente dioicos e realizam fecundação externa.

A maioria das espécies apresenta formas larvais, chamadas de alevinos. No entanto, algumas têm desenvolvimento direto.

Muitas espécies realizam migrações periódicas, principalmente para a reprodução. No período da desova, o salmão desloca-se da água salgada para a doce (espécie anádroma). A enguia de água doce faz a migração oposta (espécie catádroma).

Algumas espécies de água doce sobem os rios durante o período reprodutivo e nadam contra a correnteza em busca das nascentes, onde a água é mais límpida e oxigenada. Esse fenômeno, comum em muitos rios brasileiros, é conhecido como **piracema**.

O quadro a seguir resume as principais diferenças entre peixes actinoptérgeos e cartilaginosos.

Característica	Peixes actinoptérgeos	Peixes cartilaginosos
Esqueleto	Predominantemente ósseo	Exclusivamente cartilaginoso
Escamas	dérmica	dermoepidérmica
Brânquias	protegidas por opérculo	fendas
Boca	frontal	ventral
Válvula espiral	ausente	presente
Bexiga natatória	presente	ausente
Fecundação	geralmente externa, com alevinos	interna, sem fase larval
Cloaca	ausente	presente
Exemplos	enguia, dourado	tubarão, raia

Quadro comparativo entre peixes actinoptérgeos e cartilaginosos.

PEIXES DE NADADEIRAS CARNOSAS (CLASSE SARCOPTERYGII)

Com base em uma linhagem ancestral de peixes com esqueleto ósseo, diversificou-se a linhagem dos peixes actinoptérgeos. Outra linhagem originou os peixes de nadadeiras carnosas ou lobadas, os **sarcoptérgeos**.

Como eram tradicionalmente reconhecidos, os sarcoptérgeos eram compostos apenas do celacanto (Actinistia) e dos peixes pulmonados (Dipnoi). Eram excluídos nessa classificação os tetrápodes (anfíbios, répteis e mamíferos), o que torna o grupo parafilético.

Para ser reconhecido como um grupo monofilético, com valor taxonômico, passaram a ser incluídos no grupo dos sarcoptérgeos os celacantos, os peixes pulmonados e os tetrápodes. Essa constituição classifica esses três clados como grupos-irmãos.

Os sarcoptérgeos ancestrais, além das nadadeiras carnosas, possuíam brânquias e pulmões no mesmo indivíduo. O celacanto era considerado um grupo fóssil. No entanto, em 1938 pescadores encontraram um exemplar vivo na costa da África do Sul. Atualmente são conhecidas duas espécies vivas desse grupo.

São conhecidas somente seis espécies vivas do grupo dos peixes pulmonados, presentes na América do Sul, na África e na Austrália.

Nos peixes pulmonados, a bexiga natatória liga-se à faringe por um ducto, que funciona como um pulmão. A maioria das espécies viventes do grupo é capaz de se enterrar na lama do leito dos rios em períodos de seca e pode sobreviver assim por meses sem água.

Uma dessas espécies vive na região amazônica do Brasil e é popularmente conhecida como piramboia. Tem brânquias reduzidas, insuficientes para as necessidades respiratórias. Por essa razão, esse peixe usa a bexiga natatória como órgão respiratório durante os períodos de seca. Nesse tempo, as trocas gasosas com o ambiente passam a ocorrer entre os numerosos vasos sanguíneos da parede da bexiga natatória.



GALINA SAVINA/SHUTTERSTOCK

Piramboia (*Lepidosiren* sp.), espécie do grupo dos peixes pulmonados (Dipnoi) que vive na região amazônica do Brasil.

ROTEIRO DE AULA

CORDADOS

Novidades evolutivas

endóstilo

cauda pós-anal

tubo nervoso

dorsal oco

notocorda

fendas faringeanas

Características gerais

Deuterostômios

Simetria:

bilateral

Sistema digestório:

completo

celomados

Classificação (subfilos)

Cephalochordata

Urochordata

Vertebrata

anfioxos

ascídias

peixes-bruxa; lampreias; peixes cartilagosos e ósseos, anfíbios, répteis, aves e mamíferos

Características dos cordados na fase adulta:

todas

fendas faringeanas e

endóstilo

variável conforme a espécie

Respiração

cutânea

branquial

Branquial, cutânea ou pulmonar

Sistema circulatório

fechado

aberto e reduzido

fechado

Desenvolvimento

indireto

indireto

indireto ou direto

Fecundação

cruzada e externa

cruzada e externa

Novidades evolutivas

crânio

vértebras

cérebro tripartido

ROTEIRO DE AULA

PEIXES

Classificação

Agnatos ou ciclostomados

Peixes-bruxa (Myxini)

Lampreias
(Cephalaspidomorphi)

Gnatostomados – mandíbula

Peixes cartilagosos

Peixes de nadadeiras

Celacanto

Dipnoi

Características gerais

Peixes condrictes

Esqueleto: cartilaginoso

Representantes:
tubarões, raias e quimeras

Brânquias protegidas por: opérculo

Circulação simples e completa

Escamas: dermoepidémicas

Possuem cloaca

Excretam: ureia

Fecundação: interna

Desenvolvimento: direto

Peixes actinoptérgicos (nadadeiras raiadas)

Esqueleto: ósseo

Representantes:
atum, enguia

Fendas branquiais

Circulação: simples e completa

Escamas: dérmicas

Possuem bexiga natatória

Excretam: amônia

Fecundação: externa

Desenvolvimento: direto e indireto

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Os cordados formam um grande e diversificado grupo monofilético que reúne animais com formas bastante variadas. Assinale a alternativa abaixo que compreende apenas representantes pertencentes ao subfilo dos vertebrados.

- a) Morcego, ascídia, lagarto e tubarão.
- b) Cobra, salamandra, anfioxo e tubarão.
- c) Sardinha, raia, lampreia e papagaio.
- d) Sapo, balanoglossos, tubarão e lagarto.
- e) Celacanto, sardinha, anfioxo e morcego.

O balanoglossos é um hemicordado, classificado atualmente como grupo-irmão dos equinodermos. As ascídias (urocordados) e os anfioxos (cefalocordados) são cordados não vertebrados. Os demais animais citados nas alternativas são cordados vertebrados.

2. Fuvest-SP (adaptado) – Considere anelídeos, artrópodes e cordados quanto à embriogênese.

No desenvolvimento do tubo digestório, a abertura originada pelo blastóporo é uma característica que permite classificar anelídeos, artrópodes e cordados em um mesmo grupo? Justifique sua resposta.

Não. No desenvolvimento do tubo digestório de anelídeos e artrópodes,

a abertura originada pelo blastóporo é a boca (animais protostômios).

Nos animais deuterostômios (equinodermos, hemicordados e corda-

dos), a abertura originada pelo blastóporo é o ânus.

3. UFPR (adaptado) – A evolução nos indica que organismos mais próximos tendem a compartilhar características que foram herdadas do seu ancestral. Essa é a explicação para que grupos morfologicamente tão diferentes quanto primatas, aves, peixes, ascídias e anfioxo sejam agrupados em Chordata. Considerando esse grupo, cite quatro características compartilhadas por todos os cordados e indique em qual fase da vida duas dessas características são encontradas.

Os representantes do filo Chordata apresentam, em alguma fase de seu

desenvolvimento embrionário, as seguintes características: tubo nervoso

dorsal, oco, notocorda, fendas faríngeas, cauda pós-anal e endóstilo.

Nos cefalocordados (anfioxos), essas características persistem ao longo

de toda a vida do animal. Nos urocordados (ascídias), a notocorda está

presente apenas na cauda da larva; nos adultos, ela é perdida. O tubo

nervoso dorsal encontrado na larva fica reduzido a um gânglio nervoso no

adulto. Na maioria dos vertebrados, a notocorda é substituída pela coluna

vertebral após a fase embrionária, reduzida a pequenos remanescentes

entre as vértebras e dentro dos discos vertebrais. O tubo nervoso origina

o sistema nervoso central (cérebro e medula espinal).

4. Unisc-RS – A circulação sanguínea dos peixes é completa e simples. Completa, porque o sangue arterial e o venoso não se misturam; e simples, porque o fluxo sanguíneo passa somente uma vez pelo coração. Conforme estas características morfológicas e anatômicas, pode-se dizer que o coração dos peixes ósseos tem

- a) um ventrículo e dois átrios.
- b) dois ventrículos e um átrio.
- c) um ventrículo e nenhum átrio.
- d) um ventrículo e um átrio.
- e) nenhum ventrículo e dois átrios.

O coração dos peixes ósseos e dos cartilaginosos é bicavitário, ou seja, é composto de duas câmaras, um átrio e um ventrículo.

5. UCS-RS

C4-H16

Os peixes são o grupo mais diversificado e abundante dos vertebrados. Apresentam diversas formas corporais e habitam muitos ambientes, desde águas frias até águas quentes, doces ou salgadas e, devido a essa diferença de habitats, possuem também diferentes estratégias de vida, dependendo das pressões seletivas a que foram expostos durante a evolução.

Assinale a alternativa correta em relação aos peixes.

- a) Os peixes cartilaginosos, como lampreia e quimera, possuem mandíbula e esqueleto formado exclusivamente por cartilagens, diferenciando-os dos peixes ósseos.
- b) Os elasmobrânquios são todos ovíparos, isto é, as fêmeas eliminam os ovos, que se desenvolvem na água.
- c) O coração dos peixes é constituído por quatro cavidades, dois átrios e dois ventrículos, semelhante ao coração dos mamíferos.
- d) Os peixes ósseos e cartilaginosos são dioicos, ou seja, apresentam sexos separados, em indivíduos diferentes.
- e) A bexiga natatória, presente nos peixes cartilaginosos e ósseos, auxilia na flutuabilidade e, também, pode colaborar com a troca gasosa em algumas espécies de elasmobrânquios.

Feiticeiras (peixes-bruxa) e lampreias não têm mandíbula. Entre os elasmobrânquios, grupo da classe dos condrictes (peixes cartilaginosos), que reúne tubarões e raias, há espécies ovíparas, vivíparas e ovovivíparas. O coração dos peixes ósseos e dos cartilaginosos apresenta duas câmaras, um átrio e um ventrículo. Os peixes cartilaginosos (condrictes) não têm bexiga natatória.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

6. Fac. Santa Marcelina-SP

Nenhuma espécie invasora causou tanto problema na região dos Grandes Lagos da América do Norte quanto a lampreia-marinha. Esse animal possui corpo alongado e uma boca com grande poder de sucção. A lampreia prende-se à pele de um peixe e usa sua língua raspadora para perfurar a carne da vítima, podendo permanecer ali por até um mês se alimentando do sangue e dos fluidos corporais da presa. Em seu habitat natural, a lampreia é componente importante da cadeia alimentar. Os problemas só começam quando passa de espécie nativa para invasora.

(Folha de S.Paulo, 20.2.2016. Adaptado.)

- a) A lampreia-marinha e a enguia são animais que se assemelham quanto à respiração, porém apresentam a estrutura bucal diferente. Qual a semelhança entre esses animais quanto ao tipo de respiração? Que estrutura está presente na boca de uma enguia e ausente na boca da lampreia-marinha?

As duas espécies têm respiração do tipo branquial. A enguia faz parte

do grupo do gnatostomados (vertebrados com mandíbula). A lampreia

é um animal agnato, cuja boca é desprovida de mandíbula.

- b) Por que a lampreia-marinha não se tornou um problema em seu hábitat natural?

Em seu hábitat, a lampreia-marinha faz parte de uma cadeia alimentar

estabelecida ao longo de milhares de anos, com equilíbrio natural

entre predadores e presas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-MG – A Filogenia é o estudo da relação evolutiva entre grupos de organismos (como espécies e populações), baseada em dados moleculares, morfológicos e fisiológicos. A Ontogenia define a formação e desenvolvimento do indivíduo desde sua concepção até a morte.

A figura compara aspectos filogenéticos embrionários de grupos de vertebrados e mostra estágios do desenvolvimento ontogenético de cada grupo.

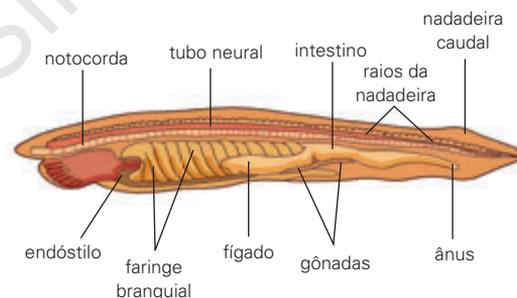


Com base nas informações acima e em seus conhecimentos sobre o assunto, é **incorreto** afirmar que

- os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário revelam maiores semelhanças entre diferentes grupos filogenéticos do que os estágios mais tardios.
- as semelhanças filogenéticas observadas no desenvolvimento embrionário podem ser usadas como critérios para o estabelecimento de parentesco evolutivo entre espécies.
- as fendas branquiais observadas no desenvolvimento embrionário humano indicam que o embrião passa por uma fase de peixe antes de se diferenciar em mamífero.

- d) a independência do meio aquático, mas não da água, para o desenvolvimento embrionário é um caráter filogenético que agrupa os amniotas a partir dos répteis.

8. UDESC – O filo dos cordados possui três subfilos: vertebrados, urocordados e cefalocordados. O anfioxo, mostrado na figura, é o representante tipo do último subfilo. Uma característica marcante do anfioxo é que seu revestimento corporal é relativamente transparente e permite visualizar sua musculatura metamerizada, organizada em blocos.



Com relação ao anfioxo e ao filo dos cordados, analise as proposições.

- Pela análise da anatomia dos anfioxos, pode-se afirmar que possuem tubo digestório completo.
- A respiração do anfioxo é do tipo pulmonar.
- O hábitat do anfioxo é aquático.
- Nos cordados vertebrados, a notocorda se transforma na coluna vertebral.
- Os cordados apresentam, durante seu desenvolvimento embrionário: tubo nervoso dorsal; notocorda; fendas faríngeas e cauda pós-anal.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, II, III e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas III, IV e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

9. UEM-PR (adaptado) – Sobre os cordados, assinale a(s) alternativa(s) correta(s).

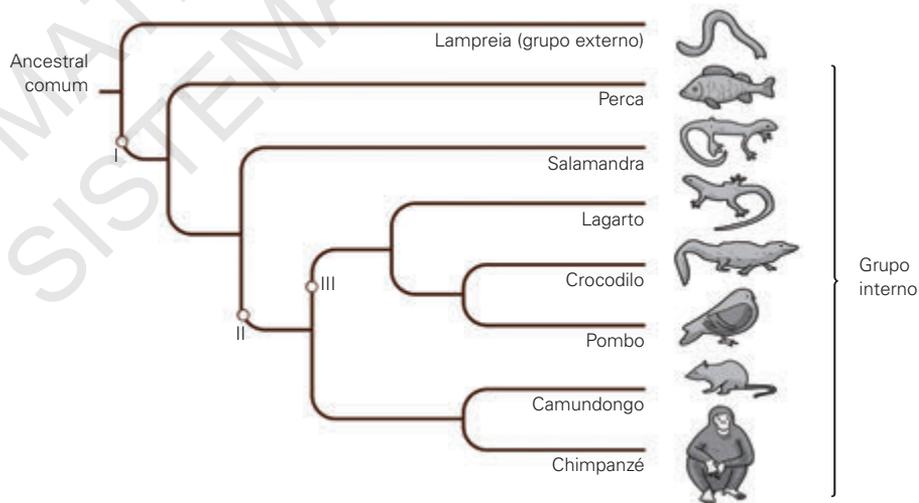
- 01)** Uma das características dos cordados é a presença de notocorda na fase embrionária.
- 02)** O anfioxo pertence ao filo Chordata, porém não apresenta coluna vertebral.
- 04)** Cefalocordados, urocordados e vertebrados apresentam notocorda na fase adulta.

10. UEPG-PR (adaptado) – Entre as características da reprodução dos animais, analise as afirmativas abaixo.

- 01)** Nas ascídias, representantes dos urocordados, os indivíduos são hermafroditas. Possuem fecundação cruzada e interna, e desenvolvimento indireto.
 - 02)** Entre os cefalocordados, os sexos são separados e a fecundação é interna. O desenvolvimento é indireto.
 - 04)** Nos cnidários, a reprodução assexuada pode ser realizada por brotamento ou estrobilização.
- a)** Identifique a(s) afirmativa(s) correta(s).

b) Corrija a(s) afirmativa(s) incorreta(s), tornando-a(s) verdadeira(s).

11. UFRGS-RS – A árvore filogenética abaixo foi construída a partir das informações contidas na tabela que a sucede.



TRAÇO DERIVADO^A

TÁXON	MANDÍ- BULA	PUL- MÕES	GARRAS OU UNHAS	MOELA	PENAS	PELO	GLÂN- DULAS MAMÁ- RIAS	ESCAMAS QUERATI- NOSAS
Lampreia (grupo externo)	-	-	-	-	-	-	-	-
Perca	+	-	-	-	-	-	-	-
Salamandra	+	+	-	-	-	-	-	-
Lagarto	+	+	+	-	-	-	-	+
Crocótilo	+	+	+	+	-	-	-	+
Pombo	+	+	+	+	+	-	-	+
Camundongo	+	+	+	-	-	+	+	-
Chimpanzé	+	+	+	-	-	+	+	-

^A Sinal de adição indica presença do traço, sinal de subtração indica ausência.

Com base nos dados apresentados, é correto afirmar que os números I, II e III, na figura, correspondem, respectivamente, a quais características?

12. Fac. Albert Einstein-SP – Os peixes cartilaginosos são animais ureotélicos, uma vez que produzem ureia como excreta nitrogenada. Entretanto, os rins desses peixes reabsorvem a ureia em vez de eliminá-la na urina, como fazem os mamíferos. Dessa forma, a concentração de ureia no sangue de tubarões e raias chega a ser 100 vezes maior que a observada no sangue de mamíferos. Isso explica o fato de os fluidos corporais desses peixes serem ligeiramente mais concentrados que a própria água do mar. Assim, é correto afirmar que os peixes cartilaginosos

- reutilizam a ureia retida no corpo para fabricar novos aminoácidos e, por isso, requerem menos alimentos proteicos que os mamíferos.
- convertem a ureia retida no corpo em ácido úrico, um tipo de excreta mais facilmente eliminado em ambientes aquáticos.
- por osmose, ganham água do meio e, para evitar o excesso de água em seus fluidos corporais, os rins a eliminam pela urina.
- por osmose, perdem água para o meio e têm que dispor de mecanismos fisiológicos que evitem a desidratação no ambiente marinho.

13. UEPG-PR – Os actinoptérgios diferem dos condrictes principalmente pelo fato de seu esqueleto ser constituído basicamente por ossos, por isso receberam a denominação de peixes ósseos. Com relação à estrutura e à fisiologia dos actinoptérgios, assinale o que for correto.

- 01)** Todos os actinoptérgios possuem escamas sob a epiderme.
- 02)** Nos actinoptérgios, a linha lateral tem um pequeno furo, por onde a água penetra no canal da linha lateral. Dentro desse canal há estruturas sensoriais denominadas neuromastos, capazes de detectar vibrações na água, transmitindo-as ao sistema nervoso central por meio de nervos.
- 04)** Os actinoptérgios possuem uma bolsa interna de parede flexível e cheia de gás, a bexiga natatória, localizada na porção dorsal da cavidade corporal. Essa bolsa controla a flutuação do peixe, permitindo a ele manter-se em diferentes profundidades, subindo ou descendo sem ter de despende muita energia.
- 08)** Quanto à reprodução, os actinoptérgios são dioicos e a maioria das espécies tem fecundação externa.
- 16)** As brânquias dos actinoptérgios não se abrem diretamente no ambiente, como nos agnatos e nos condrictes, mas são recobertas por uma placa móvel chamada opérculo.

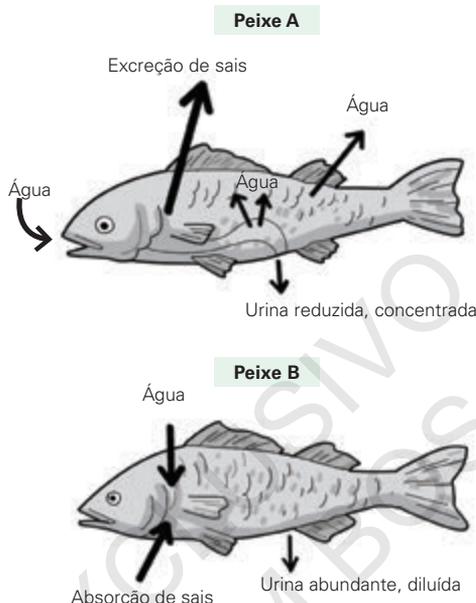
14. UEPG-PR (adaptado) – Os condrictes são vertebrados que apresentam maxilas e nadadeiras pares. Em relação a características gerais, anatomia, fisiologia e evolução deste grupo, analise as afirmativas abaixo.

- 01)** A adaptação evolutiva de nadadeiras atuando como hidrofólios permitiu a esses animais deslocamento eficiente na água. Virar rapidamente o corpo para os lados, para cima e para baixo e girar o corpo ao redor do próprio eixo são movimentos importantes na procura e captura de presas e mesmo na fuga de predadores.
- 02)** A adaptação evolutiva das maxilas colocou os primeiros gnatostomados em uma posição vantajosa para captura de alimentos em relação aos ágnatos primitivos e quase levou este último grupo à extinção.
- 04)** A quimiorrecepção e a mecanorrecepção são mecanismos sensoriais que os condrictes utilizam principalmente para a percepção da presença de presas a grandes distâncias.
- 08)** Nos condrictes, o crânio e as vértebras são ósseos, e o restante do esqueleto é formado por cartilagens.
- 16)** Os condrictes podem ser classificados em dois grupos principais: Agnatha e Elasmobranchii.

a) Identifique as afirmativas que estão corretas.

b) Corrija as afirmativas incorretas, tornando-as verdadeiras.

15. Mackenzie-SP



O esquema anterior mostra como ocorre a manutenção osmótica em duas espécies de peixes. A esse respeito, considere as seguintes afirmativas.

- I.** No peixe A a eliminação de sais pelas brânquias ocorre de forma passiva.
- II.** A ingestão de água no peixe A repõe a água perdida por osmose.
- III.** O peixe B elimina amônia como principal excreta nitrogenado.
- IV.** No peixe B, tanto a absorção de sais como a de água ocorrem de forma ativa.

Estão corretas apenas as afirmativas

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

16. UECE (adaptado) – Analise as seguintes afirmativas sobre as características dos tubarões.

- I.** Suas escamas são homólogas aos dentes dos outros cordados.
- II.** Possuem bexiga natatória, responsável pela excelente flutuabilidade.
- III.** São animais sensíveis, com a capacidade de detectar campos elétricos gerados por outros animais.
- IV.** São sempre animais de grande porte, pois todos são ferozes e vorazes.

a) Quais afirmativas estão corretas?

b) Corrija a(s) afirmativa(s) incorreta(s), tornando-a(s) verdadeira(s).

17. UPE – Quando se fazem referências a peixes, erroneamente se pode achar que a única diferença encontrada entre eles é o hábitat, uma vez que alguns habitam águas doces e outros, águas salgadas. No entanto, são muitas as características que os diferenciam. Observe as afirmativas a seguir.

- I. O peixe-bruxa é um representante atual de peixes primitivos, que, por não possuírem mandíbulas, não podem se alimentar de presas maiores nem mastigar partes duras dessas presas.
- II. O tubarão representa uma classe de peixes, o qual possui um esqueleto firme, porém adaptável, denominado cartilaginoso, e nadadeiras articuladas de amplo movimento.

III. Os peixes ósseos primitivos desenvolveram bolsas de gás, que suplementaram a ação das brânquias e aperfeiçoaram o controle da flutuação, encontradas, atualmente, apenas, nos peixes pulmonados.

IV. Descendentes de peixes com nadadeiras articuladas, tornaram-se, com o tempo, mais adaptados à vida na terra, o que deu origem aos tetrápodes.

Estão corretas, apenas,

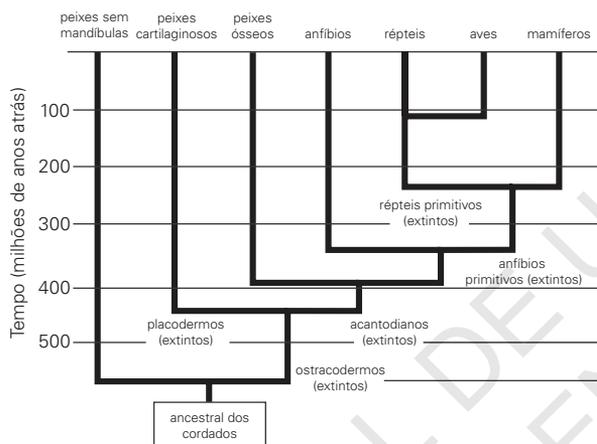
- a) I e II.
- b) II e III.
- c) I e IV.
- d) II e IV.
- e) III e IV.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H16

A classificação dos seres vivos permite a compreensão das relações evolutivas entre eles. O esquema representa a história evolutiva de um grupo.



Disponível em: <www.sobiologia.com.br>. Acesso em: abr. 2019 (adaptado).

Os animais representados nesse esquema pertencem ao filo dos cordados, porque

- a) possuem ancestrais que já foram extintos.
- b) surgiram há mais de 500 milhões de anos.
- c) evoluíram a partir de um ancestral comum.
- d) deram origem aos grupos de mamíferos atuais.
- e) vivem no ambiente aquático em alguma fase da vida.

19. Enem

C8-H28

O Fenômeno da piracema (subida do rio) é um importante mecanismo que influencia a reprodução de algumas espécies de peixes, pois induz o processo que estimula a queima de gordura e ativa mecanismos hormonais complexos, preparando-os para a reprodução. Intervenções antrópicas nos ambientes aquáticos, como a construção de barragens, interferem na reprodução desses animais.

MALTA, P. Impacto ambiental das barragens hidrelétricas. Disponível em: <http://futurambiental.com>. Acesso em: 10 maio 2013 (adaptado).

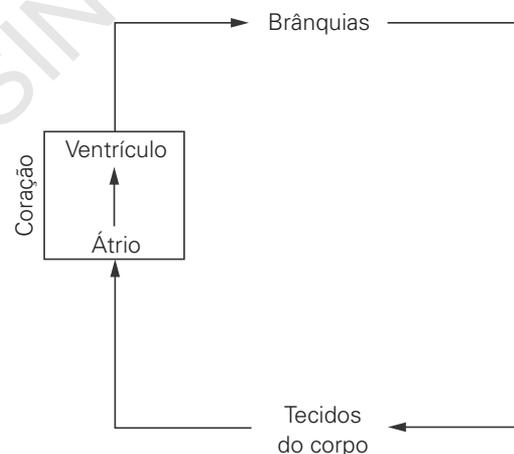
Essa intervenção antrópica prejudica a piracema porque reduz o(a)

- a) percurso da migração.
- b) longevidade dos indivíduos.
- c) disponibilidade de alimentos.
- d) período de migração da espécie.
- e) número de peixes no local.

20. Fuvest-SP

C4-H14

O esquema representa, de maneira simplificada, a circulação sanguínea em peixes.



Pode-se afirmar corretamente que, nos peixes,

- a) o coração recebe somente sangue pobre em oxigênio.
- b) ocorre mistura de sangue pobre e de sangue rico em oxigênio, como nos répteis.
- c) o sangue mantém constante a concentração de gases ao longo do percurso.
- d) a circulação é dupla, como ocorre em todos os demais vertebrados.
- e) o sistema circulatório é aberto, pois o sangue tem contato direto com as brânquias.

ANFÍBIOS E RÉPTEIS

13

Os anfíbios, grupo que inclui os anuros, as salamandras e as cobras-cegas, estão entre os primeiros tetrápodes terrestres, cuja novidade evolutiva inclui o surgimento de quatro membros com dedos. Os tetrápodes evoluíram de uma linhagem de peixes ósseos pulmonados com nadadeiras lobadas (sarcopterígeos), há cerca de 400 milhões de anos.

Após a colonização do ambiente terrestre, os primeiros tetrápodes diversificaram-se em diferentes linhagens, originando anfíbios, répteis e mamíferos. No entanto, a maioria dos primeiros tetrápodes permaneceu associada aos ambientes aquáticos, característica presente na maioria dos membros do grupo mais antigo de tetrápodes atuais: os anfíbios.

Embora formem um grupo bastante diversificado, os anfíbios ainda são pouco conhecidos pela maioria das pessoas. Apesar de abundantes e facilmente encontrados em ambientes próximos a rios e lagos, o hábito noturno da maioria das espécies e a atividade restrita principalmente ao período das chuvas dificultam o contato com esses animais.

Apesar do grande número de espécies, nos últimos anos observou-se um decréscimo na diversidade de anuros em virtude da ação do fungo parasita causador da doença quitridiomíose anfíbia. Ela tem ocasionado o desaparecimento de espécies em todo o planeta e está associada ao consumo de pele e carne de rãs e ao comércio ilegal de espécies. Os anfíbios têm papel fundamental na natureza, pois, sem eles, o equilíbrio ecológico é comprometido.

CLASSE AMPHIBIA

O nome desse grupo (do grego *amphi*, duplo; e *bios*, vida) refere-se à característica mais comum dos animais dessa classe: um ciclo de vida que ocorre parte no ambiente aquático e parte no ambiente terrestre. Entretanto, há membros do grupo com o ciclo de vida totalmente aquático (como é o caso de algumas salamandras) ou totalmente terrestre (como os anuros da família dos dendrobatídeos).

Os anfíbios são encontrados principalmente em locais úmidos e próximos a corpos de água doce, pois vários aspectos de sua morfologia, fisiologia e reprodução apresentam dependência em relação à água.

ASPECTOS EVOLUTIVOS

Os anfíbios, assim como os demais tetrápodes, originaram-se de um grupo de peixes pulmonados ancestral. A transição dos primeiros tetrápodes da água para a terra envolveu uma série de passos evolutivos. Entre eles, podemos citar:

- alteração da forma corporal, adaptada à locomoção em terra, embora ainda com capacidade de nadar;
- esqueleto resistente para sustentação do corpo fora da água;
- evolução de membros com dígitos a partir de nadadeiras pares dos peixes ósseos;
- membros associados às cinturas pélvica e escapular e à coluna vertebral;
- adaptação da pele à respiração cutânea;
- perda das brânquias no estágio adulto e surgimento de narinas internas pares;
- alterações metabólicas que possibilitaram a excreção de produtos nitrogenados menos tóxicos;
- mudanças no sistema circulatório, relacionadas às respirações pulmonar e cutânea;
- órgãos sensoriais funcionais no ar e na água.

- Classe Amphibia
- Aspectos evolutivos
- Características gerais dos répteis
- Classificação dos répteis
- Anatomia e fisiologia

HABILIDADES

- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas dos Amphibia.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos anfíbios, em especial a manutenção do equilíbrio interno e as relações com o ambiente externo.
- Associar características adaptativas dos anfíbios ao modo de vida e aos limites de distribuição desses animais em diferentes ambientes.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas da classe Reptilia.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos répteis, com destaque para a manutenção do equilíbrio interno.
- Associar características adaptativas dos répteis com seu modo de vida e com seus limites de distribuição em diferentes ambientes

CLASSIFICAÇÃO

São conhecidas atualmente cerca de 7 000 espécies de anfíbios, classificadas em três ordens: Anura, Caudata (ou Urodela) e Gymnophiona (ou Apoda).

Anuros são animais sem cauda, com cabeça e troncos fundidos, sem pescoço. É o grupo de anfíbios mais diversificado. Incluem sapos, rãs e pererecas, num total de aproximadamente 6 000 espécies. Possuem membros anteriores curtos e membros posteriores longos. Estes últimos são constituídos de musculatura adaptada ao salto, associada a três fatores: ausência de costelas, vértebras reduzidas e fusão de ossos.

Caudatas ou **urodelos** são os anfíbios com cauda, representados pelas salamandras. Possuem cabeça e pescoço distintos, tronco alongado, membros curtos de tamanho aproximado e cauda longa. São conhecidas atualmente cerca de 700 espécies de salamandras. Os indivíduos adultos assemelham-se a pequenos lagartos. Porém, assim como os demais anuros, as salamandras não apresentam escamas.

Ápodes ou **gymnophiona** compreendem os anfíbios sem patas, membros e dedos. Há um pouco mais de 200 espécies de cecílias, as quais apresentam corpo cilíndrico e alongado, com hábitos fossoriais (enterradas no solo). Em razão da similaridade morfológica externa com as cobras, são popularmente conhecidas como cobras-cegas, com olhos muito pequenos ou vestigiais.

MAREK R. SWADZBA/SHUTTERSTOCK

JASON PATRICK ROSS/SHUTTERSTOCK

FABIO MAFFEI/SHUTTERSTOCK



Representantes dos três grupos dos anfíbios. No alto, sapo-comum (*Bufo bufo*), anuro da família Bufonidae. Ao centro, salamandra *Eurycea longicauda* (ordem Caudata). Abaixo, cecília ou cobra-cega (ordem Apoda ou Gymnophiona).

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A pele dos anfíbios é fina, lisa e úmida, apresenta glândulas e é altamente vascularizada. As glândulas secretam muco e mantêm a pele úmida, o que é essencial para a respiração cutânea. De porte geralmente pequeno, os anfíbios não dispõem de estruturas protetoras como espinhos, garras ou dentes afiados. Um conjunto de **glândulas cutâneas** produz secreções venenosas que têm função na defesa contra predadores. Geralmente o veneno é liberado pela compressão das glândulas pelo próprio predador durante o ataque.

Nos sapos (anuros) as **glândulas paratoides**, situadas de cada lado do pescoço, são desenvolvidas e consistem em um reservatório de veneno. A coloração varia muito entre as espécies e é produzida por células pigmentares chamadas de **cro-matóforos**. Espécies muito venenosas geralmente exibem colorações fortes, em sinal de advertência aos predadores. O veneno das rãs da família Dendrobatidae, por exemplo, é altamente tóxico e age nas atividades musculares e neurais dos predadores, podendo levá-los à morte.

Como todos os vertebrados, os anuros possuem terminações nervosas em toda a superfície da pele, o que lhes possibilita perceberem diferentes estímulos, como pressão e temperatura. Anuros têm a linha lateral na forma larval (girino). Bem visível atrás dos olhos está a membrana timpânica, circular na superfície da pele, importante para a percepção de sinais sonoros.

Durante a fase larval dos anuros, os girinos são principalmente herbívoros e se alimentam de algas. Isso é possível pois esses animais possuem uma estrutura filtradora na faringe. As salamandras em sua fase aquática larval são principalmente carnívoras.

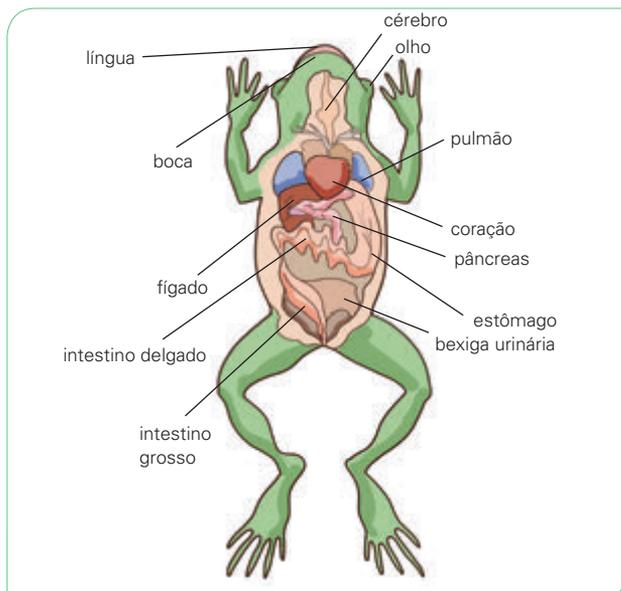


Ilustração da anatomia interna dos anuros. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Como os anfíbios são **ectotérmicos**, não têm capacidade de regular a temperatura corporal e perdem água facilmente através da pele, dificilmente são encontrados em locais secos e em ambientes de temperaturas muito altas ou muito baixas.

A incapacidade de produzir urina concentrada (o que gastaria menos água) e a produção de ovos sem casca (os quais ficam suscetíveis à dessecação) limitam a distribuição dos anuros a ambientes úmidos e próximos a corpos de água. No entanto, há poucas espécies que sobrevivem em ambientes secos e desérticos.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

Os anuros apresentam vários modos de respiração, o que reflete a transição do ambiente aquático para o terrestre. Girinos e formas larvais aquáticas das salamandras, por exemplo, possuem brânquias externas e apresentam respiração cutânea.

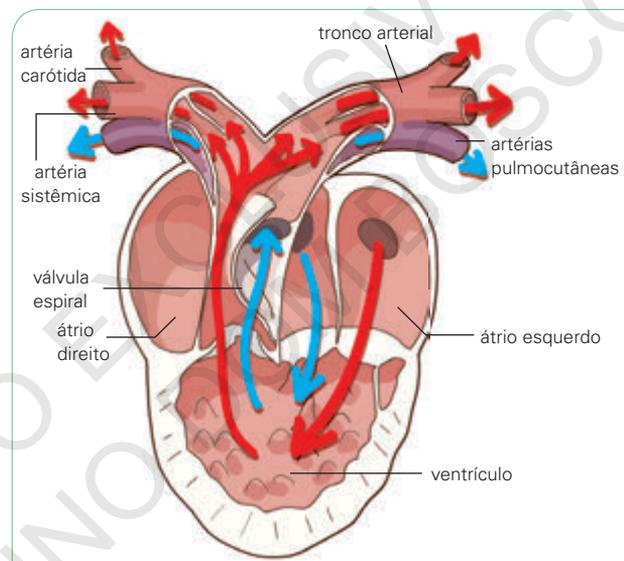
As formas adultas dos anuros, de vida terrestre, têm respiração cutânea, pulmonar e bucofaringeana. Em geral, os pulmões simples apresentam superfície relativamente pequena. A bucofaringe é a mucosa da cavidade bucal em que pulsações da garganta propiciam movimentação do ar na área intensamente vascularizada. A maioria dos anfíbios apresenta respiração pulmonar e cutânea nas formas adultas terrestres.

SISTEMA CIRCULATÓRIO

O coração dos anfíbios é dividido em três compartimentos: dois átrios e um ventrículo. A circulação é **fechada, dupla e incompleta** — o sangue flui sempre no interior de vasos e passa duas vezes pelo coração, por um circuito sanguíneo pulmonar (pequena circulação) e um circuito sistêmico (grande circulação). A circulação é incompleta porque os átrios se contraem

quase ao mesmo tempo e mandam sangue ao ventrículo. No entanto, a mistura dos sangues arterial e venoso é parcial, graças a uma **válvula espiral** que ajuda a separá-los no ventrículo.

O átrio esquerdo recebe sangue arterial dos pulmões; o direito recebe sangue venoso oriundo dos tecidos corporais. O sangue parcialmente misturado no ventrículo é bombeado simultaneamente aos pulmões e ao restante do corpo. Adicionalmente, o sangue venoso vindo da circulação sistêmica é parcialmente oxigenado por meio da respiração cutânea.



Representação das estruturas do coração de uma rã. As setas em azul referem-se ao sangue venoso; as setas em vermelho, ao sangue arterial. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

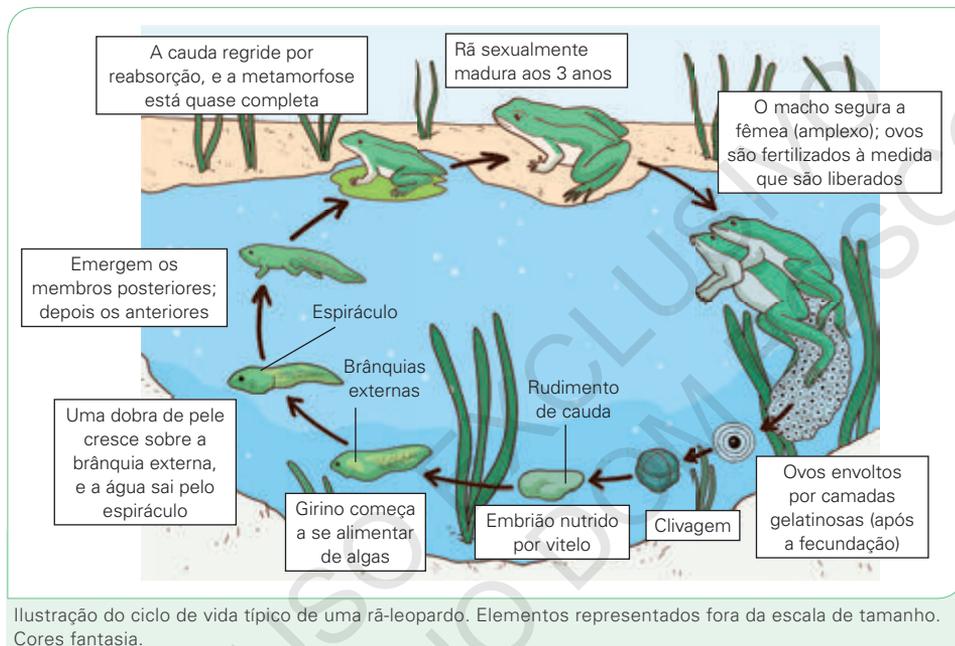
EXCREÇÃO

Os anfíbios possuem um par de rins mesonéfricos. As **larvas** dos anfíbios **excretam amônia**, substância bastante tóxica, que pode ser rapidamente eliminada e dissipada quando existe água em abundância. Os anfíbios **adultos excretam ureia**, menos tóxica, o que possibilita economia de água, fundamental para a vida em meio terrestre.

REPRODUÇÃO

Anfíbios são dioicos e, no caso dos anuros, é comum o dimorfismo sexual, sendo as fêmeas geralmente maiores que os machos. Estes realizam vocalização para atrair as fêmeas, que, guiadas para os corpos de água, são abraçadas pelas costas por um macho (movimento chamado de **amplexo**). Durante a cópula, a fêmea libera os óvulos, e o macho despeja os espermatozoides sobre eles. Ocorre, então, a **fecundação externa**. Os ovos são geralmente depositados na água, ancorados na vegetação aquática. O desenvolvimento é **indireto** na maioria dos anuros, porém alguns apresentam desenvolvimento direto, sem estágio larval, como a família dos dendrobatídeos. A maioria das salamandras tem fecundação interna e desenvolvimento indireto.

Os anfíbios são **anamniotas**, ou seja, não apresentam membrana protegendo o embrião (âmnio). O vitelo encontra-se nas células grandes e não tem saco vitelínico típico. Os ovos dos anfíbios também não possuem casca, tornando-se bastante vulneráveis ao ressecamento e à ação de predadores. Os embriões geralmente desenvolvem-se na água, e ocorre alta mortalidade de indivíduos em cada geração. Isso é parcialmente compensado com a produção de grande número de ovos pelas fêmeas em cada estação reprodutiva.



Metamorfose

Girinos possuem cauda longa e brânquias, no entanto não têm membros. A metamorfose complexa consiste na reabsorção das brânquias e no desenvolvimento dos pulmões. Surgem, então, a língua prostrátil e os membros com dígitos. O intestino é reduzido em comprimento, e o hábito alimentar herbívoro dos girinos muda nos adultos, que se tornam carnívoros. Ocorre também a modificação do aparelho bucal de ventral para frontal. A cauda é reabsorvida, e a excreção muda de amônia nos girinos para ureia nos adultos.

Entre as salamandras, pode ocorrer o fenômeno da **neotenia** — quando a larva adquire maturidade das gônadas e pode se reproduzir sexualmente antes de completar a metamorfose (pedomorfose). Em outras palavras, esse processo consiste na retenção na fase adulta de características típicas da forma jovem ou larval. A salamandra, popularmente conhecida como axolotle, por exemplo, exhibe essa condição neotênica.

SUZANNE L. COLLINS/
PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK



Necturus, gênero de salamandra cuja morfologia do adulto é similar à fase larval (pedomorfose). É possível observar as brânquias externas bem desenvolvidas.

LEITURA COMPLEMENTAR

Mudanças climáticas poderão extinguir 10% das espécies de anfíbios da Mata Atlântica

Por Peter Moon. Agência Fapesp.

O aquecimento global poderá levar à extinção de até 10% das espécies de sapos, rãs e pererecas endêmicas da Mata Atlântica em cerca de 50 anos. Isso porque regimes de temperatura e chuva previstas para ocorrer entre 2050 e 2070 serão fatais para espécies com menor adaptação à variação climática, que habitam pontos específicos da Mata Atlântica. Essa é uma das conclusões de um estudo que analisa a distribuição presente e futura de anfíbios (anuros, ou seja, sapos, rãs e pererecas) na Mata Atlântica e no Cerrado, à luz das mudanças climáticas em decorrência do contínuo aquecimento global. [...] Conhecem-se atualmente 550 espécies de anfíbios na Mata Atlântica (80% delas, endêmicas) e 209 espécies no Cerrado. Vasconcelos trabalhou com os dados de distribuição espacial de 350 espécies da Mata Atlântica e 155 do Cerrado [...]. “Desse modo, foi possível identificar as áreas com maior riqueza de espécies de anfíbios, ou com composição de espécies únicas, tanto no Cerrado como na Mata Atlântica. Uma vez identificadas tais áreas, avaliamos a comunidade de anfíbios no cenário de clima atual e futuro, de modo a determinar quais são as áreas de clima favorável para cada uma das 505 espécies analisadas, e se haverá expansão ou redução dessas áreas em 2050 e 2070, em função do aquecimento global”, disse Vasconcelos. “[...] Para cada cenário futuro, em 2050 e 2070, utilizamos dois cenários de emissão de gás carbônico na atmosfera, um cenário mais otimista, com menor aquecimento global, e outro pessimista e mais quente. Também usamos três modelos de circulação global atmosférica e oceânica”, disse Vasconcelos. Os dados são do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). “O primeiro impacto esperado da mudança climática nos anfíbios da Mata Atlântica e Cerrado é a extinção de 42 espécies por meio da perda completa de suas áreas climaticamente favoráveis entre 2050 e 2070”, disse Vasconcelos. Os dados apontam para a extinção de 37 espécies na Mata Atlântica (ou 10,6% do total) e cinco no Cerrado. Das 42 espécies, apenas cinco são atualmente consideradas como em risco de extinção pelo Ministério do Meio Ambiente.

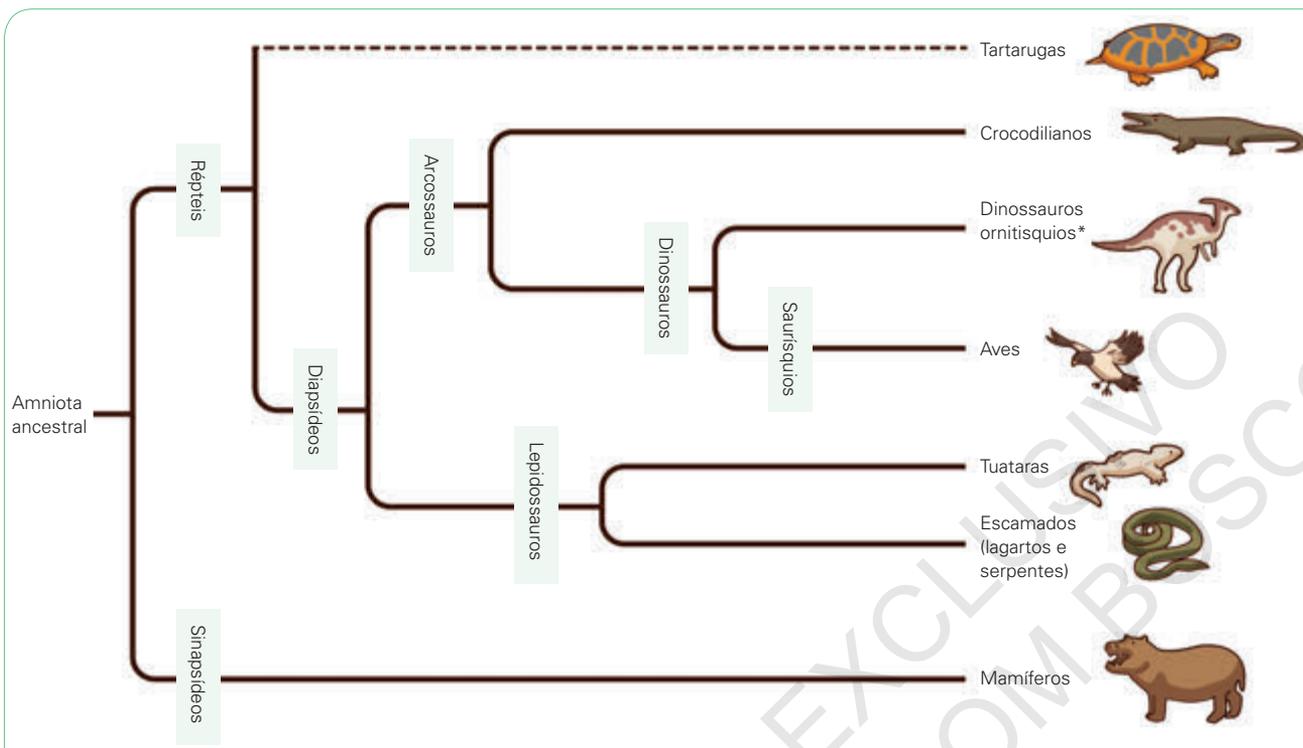
Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/mudancas-climaticas-poderao-extinguir-10-das-esppecies-de-anfibios-da-mata-atlantica/28416/>>. Acesso em: fev. 2019.

O surgimento do âmnio é uma novidade evolutiva dos amniotas ancestrais, característica herdada pela linhagem que originou os mamíferos (sinapsídeos – um par de aberturas temporais laterais no crânio) e pela linhagem que deu origem aos répteis. Os primeiros amniotas surgiram na Era Paleozoica (início do Período Carbonífero), há cerca de 360 milhões de anos.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS REPTÉIS

O termo **Reptilia** deriva do latim *reptum* e significa “animais que se arrastam”, em referência ao modo de locomoção de alguns representantes do grupo, como as serpentes. O grupo dos répteis, como era tradicionalmente reconhecido, não incluía as aves. No entanto, com base nos estudos filogenéticos mais atuais, a descendência das aves a partir dos répteis arcossauros é bem conhecida. Assim, para ser reconhecido como um grupo monofilético, o termo **répteis** deve incluir as tartarugas, os lagartos, as serpentes, os crocodilianos e as aves. O modo adequado de se referir aos répteis quando as aves não estão incluídas na descrição é mencionar que se trata dos répteis **não avianos** (ou seja, com exceção das aves) ou com a grafia entre aspas, “répteis”.

Os répteis ocupam grande diversidade de habitats e são encontrados com maior frequência em regiões tropicais e subtropicais. Estão entre os primeiros vertebrados adaptados à vida em locais quentes e secos. Atualmente, são conhecidas cerca de 10 mil espécies de répteis não avianos, a maioria de lagartos e serpentes.

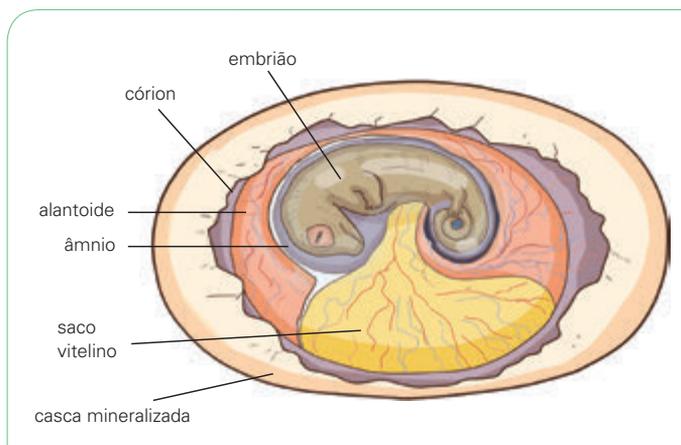


Cladograma que mostra a principal hipótese filogenética atualmente aceita sobre o parentesco dos grandes clados vivos de amniotas. A linha tracejada representa o posicionamento incerto do clado das tartarugas em relação aos demais grupos de répteis. As aves fazem parte do grupo dos répteis arcossauros, juntamente com os crocodilianos.

O símbolo * representa o grupo extinto dos dinossauros ornitíscios. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Entre as principais adaptações morfológicas e fisiológicas que contribuíram para a conquista do ambiente terrestre, estão:

- pele – seca, resistente, espessa e cornificada, que protege contra o atrito e o dessecação;
- pulmões – mais desenvolvidos em relação aos dos anfíbios;
- melhor sustentação do corpo, com garras que protegem as extremidades dos dedos e auxiliam na locomoção;
- excreção de ácido úrico, insolúvel em água e atóxico, podendo ser armazenado no interior do ovo sem que haja intoxicação e permitindo economia de água pelo adulto;
- órgão copulador masculino com transferência direta de espermatozoides para o aparelho reprodutor feminino;
- ovo amniótico revestido de casca rígida ou flexível, o que confere independência da água para a reprodução;
- embrião isolado do meio externo sem impedir as trocas gasosas (casca porosa) e com anexos embrionários, como âmnio, cório e alantoide.



Representação de um ovo amniótico que mostra o embrião e os anexos embrionários, novidade evolutiva compartilhada pelos tetrápodes amniotas (mamíferos e répteis). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLASSIFICAÇÃO

Os répteis são classificados nos grupos Testudines ou Chelonia (quelônios), Sphenodonta (esfenodontídeos), Squamata (escamados), Crocodylia (crocodilianos) e Aves.

ORDEM TESTUDINES (TARTARUGAS OU QUELÔNIOS)

As tartarugas ou quelônios compreendem espécies marinhas, de água doce e terrestres. São conhecidas atualmente cerca de 330 espécies. Os termos “cágado” e “jabuti” são comumente usados para as espécies semiaquáticas de água doce e terrestres, respectivamente, mas não possuem validade taxonômica. O grupo originou-se há pelo menos 220 milhões de anos e seu parentesco ainda é incerto em relação aos demais grupos de répteis.

PETER CHADWICK / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



Jabuti (*Geochelone pardalis*), tartaruga terrestre.

Esses animais têm em comum placas ósseas dérmicas, que formam uma **carapaça dorsal**, e o **plastrão ventral**. As vértebras torácicas e abdominais e as costelas são fundidas à carapaça. A carapaça (ou casco) é recoberta por uma camada rígida de queratina, à qual novas camadas são adicionadas abaixo das camadas mais antigas durante a vida do animal. A cabeça, as pernas e a cauda podem ser retraídas para dentro da carapaça em situações de ameaça. A mandíbula e a maxila apresentam fortes lâminas cornificadas em vez de dentes e são usadas para apanhar o alimento; têm a aparência de um bico que lembra o das aves.

Garras córneas nas extremidades dos membros dos cágados permitem que eles se arrastem e cavem a terra. Os “jabutis” têm pernas cilíndricas, enquanto as tartarugas marinhas possuem membros modificados, similares a “remos”, que são usados para nadar. O macho tem pênis erétil, na parede da cloaca. Algumas tartarugas possuem sacos de paredes finas na cloaca, na qual ocorrem trocas gasosas quando estão submersas. Todos os quelônios são ovíparos. A espécie marinha conhecida como tartaruga-de-couro, que é adaptada a mergulhos em águas profundas, pode chegar a 1 500 kg.

LEPIDOSAURIA

Ordem Squamata (escamados)

A ordem Squamata (escamados) é representada pelo grupo dos lagartos, também conhecidos como **lacertílios**, pelo grupo das serpentes e anfisbenas, compreendendo cerca de 95% dos répteis atuais. Nos lacertílios (lagartos, lagartixas, iguanas e camaleões), os membros podem ser longos ou curtos, características encontradas na maioria das espécies. No entanto, também há espécies com membros muito reduzidos ou totalmente ausentes (lagartos ápodes).



THEROCKY41/SHUTTERSTOCK



VACLAV SEBEK/SHUTTERSTOCK



ERNI/SHUTTERSTOCK

Primeiro, anfisbena, animal escavador sem membros (ápode). Ao centro, monstro-de-gila (gênero *Heloderma*), um lagarto venenoso que habita o México e o sul dos Estados Unidos. Por último, o dragão-de-komodo (*Varanus komodoensis*), lagarto com cerca de 3 metros de comprimento encontrado na Indonésia.

Esses animais possuem vários dentes, e a língua protrátil com extremidade pegajosa é utilizada para capturar presas. Têm escamas epidérmicas que recobrem o corpo e sofrem mudas.

Os padrões de cores de lagartos e serpentes resultam de cromatóforos. Variações de luz ou temperatura induzem mudanças de cor, processo sob controle hormonal ou do sistema nervoso. Isso possibilita camuflagem para evitar a detecção por predadores, como é o caso dos camaleões.

Asfisbenas, popularmente conhecidas por cobras-de-duas-cabeças, são animais fossoriais (vivem enterrados) que não possuem membros e apresentam olhos e orelhas cobertos por uma camada de pele. Seu corpo é longo, cilíndrico e com a pele dividida em anéis.

As serpentes apresentam o corpo alongado e desprovido de membros; também estão ausentes pálpebras, membrana timpânica e bexiga urinária. Grande parte das serpentes utiliza a quimiorrecepção para se orientar no ambiente em vez da visão e da audição. A língua, em forma de fita, tem a extremidade bifida e sai da boca mesmo quando fechada, por uma reentrância na mandíbula, captando partículas odoríferas no ar. O **órgão vomeronasal** é composto de duas pequenas câmaras sensitivas de função olfativa, ricamente inervadas, que se abrem na boca e recebem as partículas odoríferas trazidas pela língua para a identificação pelo encéfalo.

Os órgãos internos são alongados, o pulmão esquerdo é geralmente vestigial e os músculos segmentares estendem-se por todo o corpo, permitindo movimentos sinuosos. Os dentes ficam inclinados para trás, prendendo o alimento durante a deglutição, de modo que não o mastigam, mas engolem inteiro. Podem deglutir presas maiores que o próprio corpo graças à frouxa e elástica **articulação mandibular** e à movimentação de alguns ossos do crânio, que permitem grande distensão da boca. A posição anterior da glote possibilita a respiração mesmo durante a deglutição.

As serpentes sofrem mudas periódicas. No caso das cascavéis, por exemplo, o guizo (chocalho) é formado por sucessivas mudas, uma vez que a parte externa da epiderme dessa região não é trocada. As serpentes podem ser peçonhentas (jararaca e surucucu) e não peçonhentas (jiboia e caninana), sendo conhecidas atualmente cerca de 3 400 espécies.



Cascavel, serpente peçonhenta (*Crotalus molossus*).

VIKTOR LOKI/SHUTTERSTOCK



ORDEM CROCODYLIA (CROCODILIANOS)

Grupo que reúne crocodilos, jacarés e gaviais encontrados em rios na Índia e compreende cerca de 25 espécies viventes. Os crocodilos vivem em água doce, no mar e nas águas salobras; já os jacarés e gaviais vivem apenas em água doce. O formato do crânio e a dentição permitem distinguir os crocodilos, jacarés e gaviais.

Crocodilianos apresentam o corpo com cabeça, pescoço, tronco e cauda distintos. As pernas são curtas, e os dedos terminam em garras córneas. Possuem escamas e placas ósseas dérmicas (osteodermes), que crescem continuamente. Os olhos têm pálpebras com **membrana nictitante** transparente por baixo. São adaptados à locomoção na terra e na água. O crânio é alongado, e a mandíbula tem musculatura forte, com grande abertura e fechamento bastante rápido e potente. A língua achatada não é prostrátil e tem uma dobra transversal, que, quando comprimida contra o palato, isola a cavidade bucal e permite que o animal abra a boca dentro da água, impedindo a água de entrar nos pulmões.



DANITA DELMONT/SHUTTERSTOCK

Jacaré-caiman (*Caiman* sp.), às margens do rio Cuiabá. Nota-se que o quarto dente da mandíbula não está visível (recoberto pela maxila).

ANATOMIA E FISIOLOGIA

Répteis não avianos possuem esqueleto bem ossificado e crânio com um côndilo occipital, estrutura óssea que liga a cabeça com a primeira vértebra cervical. A pele da maioria dos "répteis" não apresenta glândulas. As células superficiais formam um revestimento altamente queratinizado, dificultando a perda de água e impedindo a respiração cutânea.

SISTEMA DIGESTÓRIO

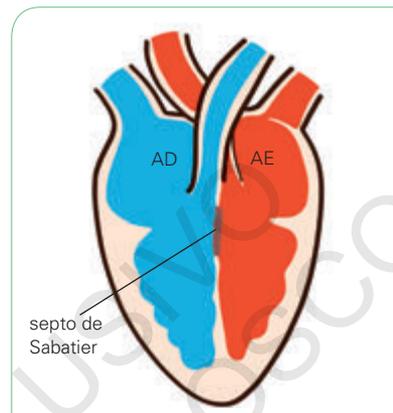
O sistema digestório é completo, terminando em uma **cloaca**. Os dentes são numerosos, cônicos e de aspecto homogêneo, sendo repostos quando perdidos. São carnívoros, embora a herbivoria seja observada em algumas espécies de quelônios e lagartos. O hábito carnívoro é preponderante entre as serpentes, havendo até espécies canibais. Muitas serpentes atacam por constrição, como jiboias e sursoris, enrolando-se em torno da presa e matando-a por asfixia. Serpentes peçonhentas injetam veneno, classificado em neurotóxico e hemorrágico, que pode causar a morte mais rápida da presa.

SISTEMAS RESPIRATÓRIO E CIRCULATÓRIO

A respiração é pulmonar mesmo nas espécies aquáticas. Seus pulmões têm maior superfície de trocas gasosas que os pulmões dos anfíbios, representando importante conquista para a adaptação da vida terrestre.

A circulação é **fechada, dupla e incompleta** na maioria das espécies. O coração apresenta **três câmaras**: dois átrios e um ventrículo parcialmente dividido por um septo interventricular, conhecido como **septo de Sabatier**. Assim como nos anfíbios, o sangue venoso é recolhido do corpo pelas veias cavas e levado até o átrio direito, enquanto o sangue arterial, vindo dos pulmões, chega ao coração pelo átrio esquerdo. Por causa da contração simultânea dos dois átrios, o ventrículo único recebe, ao mesmo tempo, sangue venoso e sangue arterial. Nesses casos ocorre mistura parcial dos dois tipos de sangue em decorrência da separação incompleta do ventrículo.

A exceção são os répteis crocilianos, que apresentam circulação fechada, dupla e **completa**, e coração dividido em **quatro câmaras**: dois átrios e dois ventrículos completamente separados. Cada um dos arcos da aorta origina-se de um dos ventrículos: o arco direito parte do ventrículo esquerdo; e o arco esquerdo parte do ventrículo direito. No ponto em que os arcos da aorta se cruzam há uma comunicação entre eles por meio do **forâmen de Panizza**, quando pode ocorrer mistura de sangue arterial com venoso. O padrão da circulação depende do tipo de atividade que está sendo realizado.



Representação da anatomia do coração da maioria dos répteis (AD, átrio direito; AE, átrio esquerdo). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA URINÁRIO

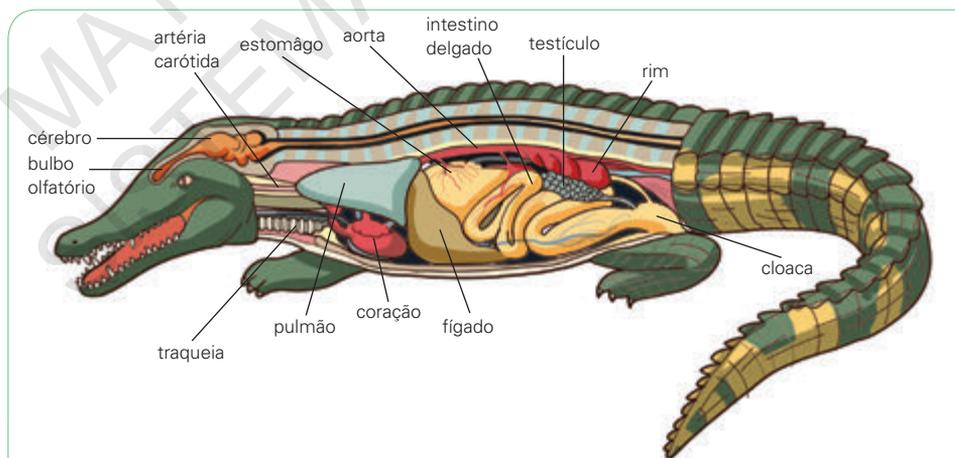
Os rins são **metanéfricos**, e o principal produto de excreção é o **ácido úrico**, resíduo nitrogenado que é bem pouco diluído, resultando em economia de água.

SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso é dorsal, e o encéfalo nunca excede 1% da massa corporal. Há 12 pares de nervos cranianos; terminações nervosas na pele; botões gustativos na língua; olhos com pálpebras e **membrana nictitante** transparente que possui função de proteção e limpeza, exceto nas serpentes. Apresentam **orelha média** e membrana timpânica (nas serpentes, não há membrana timpânica).

São animais **ectotérmicos**, ou seja, não dispõem de mecanismos internos para regular a temperatura corporal. O termo **ectotérmico** dá nome à dependência dos animais cujas fontes de calor estão fora do seu corpo. Assim, procuram viver em locais de temperatura adequada e exibem comportamentos de ajustes de temperatura, como exposição corporal ao sol.

Nos trópicos, esses animais estão ativos o ano todo, mas nas regiões temperadas são ativos apenas nos meses mais quentes, permanecendo dormentes na estação fria. Lagartos e serpentes escondem-se em fendas no solo; cascavéis vivem em grupos dentro de buracos ou cavernas; tartarugas de água doce vão para o fundo dos lagos.



Representação da anatomia interna de um crocodilo macho. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

REPRODUÇÃO

Nos répteis ocorre fecundação interna e desenvolvimento direto. São dioicos; o macho possui pênis e libera os espermatozoides na cloaca da fêmea durante a cópula. Em Squamata existe um hemipênis, órgão copulador pareado. A maioria das espécies é **ovípara**. Em algumas espécies, como crocodilos, é observado o cuidado parental, com as fêmeas protegendo os ovos e os filhotes contra predadores. Há também espécies **ovovivíparas**, em que o embrião se desenvolve dentro de um ovo mantido e protegido no interior do corpo das fêmeas. Por fim, alguns lagartos são vivíparas, e o embrião se desenvolve no interior do corpo da fêmea, que fornece alimento para o seu desenvolvimento e retira os produtos de sua excreção.

Em crocodilianos, em algumas tartarugas e em lagartos, a temperatura de incubação dos ovos determina o sexo do embrião. Nos primeiros, se as temperaturas nos ninhos forem baixas, ocorre o nascimento de fêmeas e temperaturas altas nos ninhos favorecem o nascimento de machos. Em tartarugas ocorre o inverso.

Os **anexos embrionários** do ovo dos répteis – **âmnio**, **cório** e **alantoide** – são adaptações fundamentais para a sobrevivência no ambiente terrestre. O âmnio é um anexo embrionário que **evita a desidratação** e envolve diretamente o embrião; o cório protege contra abalos mecânicos; e o alantoide é responsável pelas trocas gasosas e a excreção. O saco vitelínico, que também está presente nos ovos de vertebrados não amniotas, armazena nutrientes para o desenvolvimento do embrião.

LEITURA COMPLEMENTAR

Como é feito e como age o soro antiofídico?

Apesar de existirem soros específicos para diferentes gêneros de cobras, o processo de produção de todos eles segue o mesmo padrão. O veneno da serpente é introduzido no organismo de um cavalo, que reage desenvolvendo anticorpos. E são esses anticorpos que, após serem retirados do cavalo, formam o soro. A eficiência do produto é grande e, diferentemente do que muitos pensam, uma picada de cobra não significa um convite quase certo para a morte. Segundo dados do Ministério da Saúde, das cerca de 20 mil pessoas picadas por serpentes venenosas a cada ano no Brasil, apenas 0,4% morrem. Mas é bom não bobear. As poucas mortes ocorrem justamente pelo uso incorreto ou tardio do soro ou ainda pela falta dele. A utilização incorreta do produto pode ser evitada com ajuda do diagnóstico de um especialista, já que o veneno de diferentes gêneros de cobras precisa ser combatido com diferentes tipos de soro. A confusão nesse aspecto só não é maior porque 90,5% dos casos de pessoas picadas no país envolvem serpentes de um mesmo gênero, Bothrops. Pertencem a ele cobras como jararaca, jararacuçu, caiçaca, urutu e cotiara, todas com peçonhas que podem ser combatidas com o mesmo tipo de soro. Em seguida, em número de picadas, aparecem as cascavéis (do gênero *Crotalus*), a surucucu (*Lachesis*) e as corais verdadeiras (*Micrurus*). Essas espécies ameaçadoras, porém, são minoria no Brasil. Dos 256 tipos de serpentes existentes por aqui, apenas 70 são peçonhentas, ou seja, capazes de inocular seu veneno. No país, os soros são feitos pelo Instituto Butantan, em São Paulo, pela Fundação Ezequiel Dias, em Minas Gerais, e pelo Instituto Vital Brazil, no Rio de Janeiro. Toda a produção é comprada pelo Ministério da Saúde e oferecida gratuitamente em hospitais e postos de saúde de todo o Brasil.

LOPES, Artur Louback. *Como é feito e como age o soro antiofídico?* Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-feito-e-como-age-o-soro-antiofídico/>>. Acesso em: abr. 2019.

ROTEIRO DE AULA

ANFÍBIOS (AMPHIBIA)

Novidade evolutiva dos tetrápodes

membros com dígitos

Anura

Sapos, rãs e pererecas

Cauda:

ausente

Forma larval:

girino

Hábitos alimentares:

adultos

carnívoros

larvas

maioria

herbívoros

Fecundação:

externa

Desenvolvimento:

indireto

Fisiologia dos anfíbios

Pele:

ricamente vascularizada,
fina, úmida e glandular

Excreção:

adultos

ureia

larvas

amônia

Respiração:

adultos:

cutânea, pulmonar

larvas:

cutânea, pulmonar, branquial

Compartimentos do coração:

dois átrios e um ventrículo

Circulação:

dupla e incompleta

Classificação (ordens)

Caudata (Urodela)

Salamandras

Cauda:

presente

Carnívoros

Fecundação:

interna

Desenvolvimento:

indireto

Apoda (Gymnophiona)

cecílias (cobras-cegas)

ausentes

Membros

Carnívoros

interna

Fecundação

direto

Desenvolvimento

ROTEIRO DE AULA

RÉPTEIS

Características gerais (répteis não avianos)

Ovo amniótico com casca
(âmnio, cório, alantoide)

Ectotermia

Tegumento:

bastante queratinizado

Esqueleto:

bastante ossificado

Pele:

seca e cornificada

Glândulas epiteliais:

ausentes na maioria

Anatomia e fisiologia (répteis não avianos)

Respiração

pulmonar

Sistema
digestório

completo

Excreção

par de rins

metanéfricos

ácido úrico

Sistema
nervoso

12 nervos

cranianos

Sistema
cardiovascular

circulação fechada, dupla, incompleta

Crocodilianos:

circulação fechada, dupla, completa

ROTEIRO DE AULA

Classificação (representantes dos grupos)

Tartarugas

Lagartos

Serpentes

Tuatara

Crocodilianos

Aves

Reprodução:

Independência da água

Ovo:

amniótico com casca

Fecundação:

interna

Desenvolvimento:

direto

Desenvolvimento
embrionário

ovíparos

ovovivíparos

vivíparos

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unicamp-SP

C4-H14

Os anfíbios constituem um dos grupos de animais com maior número de espécies ameaçadas de extinção. Entre outras razões, isso ocorre porque eles são suscetíveis à contaminação por substâncias nocivas e à infecção por fungos. Os anfíbios apresentam tal suscetibilidade porque têm

- a) hábitos aquáticos, que os tornam suscetíveis a predadores.
- b) pulmões bem desenvolvidos, que acumulam impurezas e fungos.
- c) sangue frio, que diminui a atividade de enzimas hepáticas.
- d) pele úmida e permeável, que possibilita a respiração cutânea.**

Anfíbios estão entre os vertebrados mais suscetíveis à contaminação por substâncias nocivas e à infecção por fungos. Isso ocorre porque apresentam pele fina, úmida, ricamente vascularizada (cheia de vasos) e permeável, adaptada à respiração cutânea. Tais características facilitam a absorção de substâncias nocivas presentes no ambiente (tanto aquático quanto terrestre) através da pele, o que pode intoxicá-los e levá-los à morte.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

2. UEL-PR (adaptado) – Leia o texto a seguir.

A biodiversidade vem sofrendo quedas drásticas na riqueza e na abundância de espécies de anfíbios. No mundo, há mais de 7 mil espécies catalogadas, porém cerca da metade está ameaçada e centenas podem estar extintas. Uma das principais causas desse quadro é uma doença denominada quitridiomíose, transmissível pela água e causada pelo fungo *Batrachochytrium dendrobatidis*, que infecta a pele, principalmente, do abdômen, dos pés e dos dedos dos anfíbios. As lesões são visíveis apenas com o auxílio de instrumentos ópticos, e evidências da moléstia estão associadas a certas mudanças comportamentais do hospedeiro.

(Adaptado de: PEREIRA, P. L.; BÉCARES, E. Um fungo ameaça os anfíbios. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 279, 2011. p. 64-65.)

- a) Identifique e explique o tipo de interação ecológica existente entre o fungo e o anfíbio.

Trata-se de uma relação chamada parasitismo, que consiste em uma interação interespecífica (entre espécies diferentes), na qual a espécie parasita (fungo) se beneficia da espécie hospedeira (anfíbio). Isso gera prejuízo à última e pode levá-la à morte, como no caso da quitridiomíose.

- b) Apresente três exemplos de organismos representantes dos diferentes grupos da classe dos anfíbios.

Entre os exemplos de animais da classe dos anfíbios, estão sapos e rãs (ordem Anura), salamandras (ordem Caudata) e cecílias ou cobras-cegas (ordem Apoda).

3. UFJF-MG (adaptado)

No Brasil um milhão de animais silvestres são atropelados por dia. Aproximadamente 15 animais são mortos por segundo, ou 1,3 milhões por dia e até 475 milhões por ano, segundo dados do Centro Brasileiro de Estudos em Ecologia de Estradas (CBEE), da Universidade Federal de Lavras (MG). Os pequenos vertebrados, como sapos, cobras e aves de pequeno porte são os mais afetados, respondendo por 90% do massacre, ou 430 milhões de exemplares. O restante das mortes compreende animais de médio porte (como macacos e gambás), com 40 milhões, e de grande porte (como antas, lobos e onças), que correspondem a 5 milhões.

Fonte: Texto modificado de <<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2015/10/03/>>. Acesso em 20/set/2016.

Com relação aos grupos de animais citados no texto, responda à questão.

Os sapos (classe Amphibia) podem ocupar tanto o ambiente aquático quanto o terrestre. Quais tipos de respiração esses animais podem realizar ao longo de seu ciclo de vida?

Na fase larval dos anuros, os girinos vivem no ambiente aquático e respiram

principalmente por meio das brânquias e, em menor proporção, através da

pele (respiração cutânea). Após a metamorfose, os girinos sofrem grandes

transformações e se tornam adultos, passando a ocupar o ambiente terres-

tre. A respiração, nesse caso, começa a ser predominantemente pulmonar.

4. Acafe-SC – Sobre os répteis é correto afirmar, **exceto**, que

- a) a sua epiderme é espessa e altamente queratinizada, formando as escamas córneas.
- b) são ectotérmicos.
- c) o coração em répteis não crocódilianos apresenta dois átrios e um ventrículo.
- d) a maioria excreta seus resíduos nitrogenados na forma de amônia.**
- e) o sistema nervoso tem 12 pares de nervos cranianos.

O principal resíduo nitrogenado excretado pelos répteis é o ácido úrico, que gera grande economia de água.

5. USF-SP (adaptado) – Serpentes são animais ectotérmicos e, como tal, dependem das condições ambientais para regular a temperatura do corpo. Em regiões tropicais, a dificuldade das serpentes não é se manterem aquecidas, mas refrigeradas. Por isso, a quantidade de chuvas também é importante, pois serpentes bem hidratadas estariam menos sujeitas ao superaquecimento. Outro achado interessante é que a variação climática ao longo dos últimos milênios também ajuda a explicar como as diferentes espécies de serpentes se distribuem na Mata Atlântica nos dias de hoje. Áreas com relevo complexo, como regiões serranas, teriam sido menos afetadas pelas

mudanças ambientais no passado, possuindo maior estabilidade climática e possibilitando a sobrevivência histórica de espécies adaptadas a esse tipo de hábitat, como a muçurana-da-serra (*Mussurana montana*).

Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/4912/n/serpentes_atlanticas>. Acesso em: 2/5/2017 (Adaptado).

Um comportamento característico das serpentes é colocar continuamente a sua língua bifurcada para dentro e para fora da boca. Explique a razão desse comportamento.

A língua bifurcada das serpentes é capaz de captar moléculas odoríferas no ambiente e conduzi-las até o órgão vomeronasal, situado em sua maxila. Esse órgão conduz os odores liberados pela presa para o cérebro da serpente.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFG-GO – No último verão, devido a um fenômeno meteorológico, no qual uma imensa massa de ar quente e seco estacionou no território brasileiro bloqueando as frentes frias, as temperaturas passaram de 36 °C em diversas regiões, e a sensação térmica foi ainda maior. Os vertebrados possuem mecanismos fisiológicos para detectar tal sensação e estruturas orgânicas para responderem a alguns fatores abióticos envolvidos nessa situação climática.

Nesse cenário, os anfíbios são mais susceptíveis ao risco de morte. Nesse sentido, conclui-se que os fatores abióticos detectados por esses animais e o motivo pelo aumento de fragilidade no contexto descrito são, respectivamente,

- temperatura e umidade; presença de glândula uropigiana.
- temperatura e umidade; presença de tênue queratinização da pele.
- evaporação e convecção; ausência de escamas epidérmicas.
- umidade e evaporação; presença de glândula uropigiana.
- evaporação e convecção; presença de tênue queratinização da pele.

8. Unicamp-SP – Os anfíbios foram os primeiros vertebrados a habitar o meio terrestre. Provavelmente surgiram de peixes crossopterígeos que eventualmente saíam da água à procura de insetos. Antes de ganharem o meio terrestre, esses ancestrais dos anfíbios passaram por modificações em sua estrutura e em sua fisiologia.

- Mencione duas modificações importantes nessa transição.

- Os anfíbios são classificados em três ordens: Gymnophiona ou Apoda (cobras-cegas), Urodela (salamandras) e Anura (sapos, rãs e pererecas). Mencione uma característica exclusiva de cada uma delas.

6. Sistema Dom Bosco – A respeito dos répteis não avianos, assinale a alternativa que contém uma característica que não é encontrada no grupo.

- Espécies ápodes.
- Desenvolvimento direto.
- Respiração cutânea.
- Cloaca.
- Membrana nictitante.

O sistema digestório dos répteis é completo e termina em uma cloaca. Serpentes não possuem membros ou patas, e várias espécies de lagartos têm membros reduzidos, sendo algumas totalmente ápodes. O epitélio espesso e ricamente queratinizado impede a respiração cutânea. Em répteis não avianos, o desenvolvimento é direto. Com exceção das serpentes, a membrana nictitante está presente nos olhos dos demais répteis.

9. UEMG

Doenças provocadas por fungos destroem cada vez mais culturas

Cientistas estudaram o aumento do número e a gravidade das infecções por fungos sobre a fauna e a flora a partir de meados do século XX. De acordo com o artigo, o aumento das doenças provocadas por fungos nas plantas e nos animais ameaça a segurança alimentar e a estabilidade dos ecossistemas naturais. As infecções por fungos destroem anualmente 125 milhões de toneladas das cinco principais culturas – arroz, trigo, milho, batata e soja – que proporcionam a maior parte das calorias consumidas. As infecções por fungos ameaçam também espécies como abelhas, tartarugas marinhas, corais, anfíbios e morcegos.

Nature. *Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health*.12/4/2012. Adaptado.

Além do que já foi apresentado, os fungos, ao eliminarem muitas espécies de anfíbios, têm contribuído para o aumento da incidência de viroses no homem, como a dengue e a febre amarela, transmitidas por mosquitos.

Assinale a alternativa que contém uma explicação adequada para esse fato.

- Os anfíbios são também hospedeiros dos vírus causadores dessas doenças. Desde que foram eliminados, os vírus se readaptaram e, com isso, passaram em seguida a parasitar o homem.
- As larvas de anfíbios são aquáticas e predam as larvas dos mosquitos, que também são aquáticas. Assim, com a eliminação dos anfíbios, ocorre um grande aumento da população desses mosquitos.
- Os mosquitos transmissores dessas viroses são competidores dos fungos, também parasitando os anfíbios. Com a eliminação dos anfíbios, passaram em seguida a parasitar o ser humano.

d) Mosquitos, ao sugarem o sangue de anfíbios parasitados por esses fungos, desenvolvem mais resistência e proliferam mais rapidamente, o que favorece o aumento da incidência dessas doenças no homem.

10. UEM-PR (adaptada) – O filo Chordata não é o filo com o maior número de espécies, porém seus integrantes apresentam variações anatômicas, fisiológicas e comportamentais bastante diferentes. Sobre esse assunto, analise os itens abaixo.

01) O peixe é um animal que apresenta notocorda, cloaca, hematose, fecundação externa e circulação simples.

02) São elementos comuns a todos os cordados: notocorda, encéfalo e cordão nervoso ventral.

04) O coração de um anfíbio adulto apresenta dois ventrículos e um átrio. Nele não ocorre mistura do sangue venoso com o arterial.

08) Os anfíbios apresentam desenvolvimento indireto, exceto a ordem ápoda.

a) Assinale a(s) afirmativa(s) incorreta(s).

b) Corrija a(s) afirmativa(s) incorreta(s), tornando-as verdadeiras.

11. UEPG-PR – Os anfíbios foram os primeiros vertebrados que conquistaram o ambiente terrestre. Evoluíram a partir de um grupo de peixes sarcopterígeos. Com relação às características morfoanatômicas e fisiológicas dos anfíbios, assinale o que for correto.

01) Os ovos dos anfíbios não apresentam estruturas que impeçam a perda de água e, por isso, não são viáveis em ambiente seco.

02) Como estrutura de defesa, os anfíbios possuem glândulas de veneno na pele. Alguns possuem pele com coloração de advertência aos predadores, a chamada coloração aposemática.

04) A respiração dos anfíbios é exclusivamente cutânea.

08) Os sapos, rãs, pererecas e salamandras se alimentam somente de fitoplâncton, por isso, passam grandes períodos do dia em ambientes aquáticos.

12. IFSP – Durante uma aula de biologia sobre anfíbios, um aluno perguntou o que aconteceria se um girino fosse colocado em um pote contendo água do mar. Seus colegas de sala propuseram diversas hipóteses, alguns defendendo que o girino iria morrer, outros que ele iria sobreviver.

Considerando as características típicas dos anfíbios, o mais provável é que, na situação proposta, o girino iria

a) morrer, devido à entrada excessiva de água em seu corpo.

b) morrer, devido à perda excessiva de água por sua pele.

c) sobreviver, pois sua pele é grossa e permeável.

d) sobreviver, mesmo com uma entrada excessiva de água em seu corpo.

e) sobreviver, pois ele apresenta glândulas especiais na pele que o tornam imune à perda de água.

13. Sistema Dom Bosco – Em relação ao sistema cardiovascular dos répteis não avianos, é correto afirmar que se trata de

a) 2 átrios e 1 ventrículo; circulação dupla e incompleta.

b) 2 átrios e 2 ventrículos ou 2 átrios e 1 ventrículo; circulação dupla e completa.

c) 2 átrios e 2 ventrículos ou 2 átrios e 1 ventrículo; dupla e incompleta.

d) 2 átrios e 1 ventrículo ou 2 átrios e 2 ventrículos; circulação dupla e incompleta ou dupla e completa.

e) 2 átrios e 2 ventrículos, circulação dupla e completa.

14. UEFB-BA – De uma forma simplificada, pesquisas apontam para a origem da vida no mar. Sim, os mares do passado eram certamente diferentes dos atuais em termos de composição, distribuição e correntes, mas o registro fóssil demonstra que os primeiros organismos surgiram em corpos de água e, depois, conquistaram os ambientes terrestres. Na história evolutiva dos vertebrados, essa transição do mar para a terra firme ainda está envolta em muito mistério. Às vezes, ocorrem achados especiais, como o *Tiktaalik roseae*, um peixe que já possuía diversas adaptações encontradas nos primeiros tetrápodes e que surpreendem os pesquisadores. Em outros casos, é um conjunto de novos dados – e fósseis – que trazem avanços para a pesquisa.

De uma forma simplificada. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/os-primeiros-tetrapodes>>. Acesso em: abr. 2019.

Em relação a essas adaptações morfológicas e estruturais, é possível afirmar:

a) A evolução de um sistema circulatório mais eficiente e completo potencializou a pecilotermia.

b) A excreção do ácido úrico como principal excreta dos répteis comprometeu seu sucesso em terra firme.

c) O desenvolvimento de uma respiração pulmonar nos anfíbios complementou sua deficiente respiração cutânea e potencializou seu crescimento.

d) A presença de uma atmosfera oxidante proporcionou o advento da respiração aeróbica nos vertebrados, no momento da conquista da terra firme.

e) As características dos ovos dos répteis, quanto ao desenvolvimento dos seus anexos, representam aquisições que garantiram a conquista da terra firme pelos vertebrados.

15. UEM-PR (adaptado) – Aqui tem boipeva, cruzeira, caninana, cobra-verde, cipó, muçurana. Tinha muita, mas diminuiu uns 40% de uns 15 anos para cá... Já ouvi dizer que serpente mama em vaca e até em mulher que tem criança pequena.

Retirado de “A coral que ninguém viu”, disponível em http://www.oeco.org.br/reportagens/1261-oeco_13392/. Acesso em 24/4/2016.

O extermínio desenfreado de serpentes, peçonhentas ou não, motivado por credices populares como a apresentada, favoreceu a proliferação de espécies indesejáveis para o ser humano, como os ratos, que se tornaram abundantes na cidade.

Com base no texto e nos conhecimentos de zoologia, ecologia e fisiologia humana, assinale o que for correto.

- 01)** Por preferirem ambientes quentes, as serpentes e as aves são ectotérmicas, pois em temperaturas ambientais baixas apresentam temperaturas corporais também baixas.
- 02)** A excreção de ácido úrico, substância de baixa toxicidade e pouco solúvel, é uma adaptação para que as serpentes possam habitar ambientes terrestres.
- 04)** A proliferação de ratos foi decorrente do extermínio desenfreado das serpentes, seus predadores.
- 08)** A peçonha das serpentes contém neurotoxinas que atacam o sistema nervoso periférico autônomo de humanos, podendo causar paradas respiratórias e cardíacas.
- 16)** À medida que a população de ratos na cidade cresce, a resistência do meio tende a diminuir.

16. UEL-PR (adaptado) – O aparecimento de ovos com casca foi uma evolução adaptativa dos répteis para a conquista definitiva do ambiente terrestre pelos cordados. Além do ovo com casca, há outras adaptações que permitiram que os répteis pudessem sobreviver no ambiente terrestre, identificadas quando comparadas com as adaptações dos anfíbios. Portanto, há adaptações que surgem nos anfíbios e permanecem nos répteis e há adaptações que têm sua origem pela primeira vez nesse grupo.

Sobre as características adaptativas associadas à conquista do ambiente terrestre que são novidades evolutivas dos répteis, considere as afirmativas a seguir.

- I.** Pernas locomotoras e respiração pulmonar.
- II.** Ectotermia e dupla circulação.
- III.** Queratinização da pele e ácido úrico como excreta nitrogenado.

Assinale a alternativa correta.

- a)** Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b)** Somente as afirmativas II e III são corretas.
- c)** Somente a afirmativa III está correta.

- d)** Todas as afirmativas são corretas.
- e)** Nenhuma das afirmativas está correta.

17. UFSC – Ao observar diferentes grupos de animais, constata-se que existe grande diversidade entre eles no que se refere aos sistemas digestório, circulatório, respiratório, esquelético e excretor, entre outros. Na coluna A citam-se sistemas que podem ser encontrados em diferentes grupos animais e na Coluna B, as variações destes sistemas.

Coluna A - SISTEMAS	Coluna B - TIPOS
I. Digestório	A – Incompleto B – Completo
II. Circulatório	A – Aberto B – Fechado
III. Respiratório	A – Respiração cutânea B – Respiração branquial C – Respiração pulmonar
IV. Esquelético	A – Hidrostático B – Exoesqueleto C – Endoesqueleto
V. Excretor	A – Difusão simples B – Glândulas coxais C – Glândulas antenais D – Protonefrídios E – Rins

Com relação às associações entre as colunas A e B, é correto afirmar que

- 01)** no filo dos Cnidários, as associações II – A e IV – A estão corretas.
- 02)** em répteis, as associações possíveis seriam: I – A; III – B e IV – A.
- 04)** em sapos e rãs, pode-se ter as seguintes associações: I – B; II – B; III – A e III – C.
- 08)** animais com a associação V – A devem viver na água.
- 16)** as associações V – B e V – C são encontradas no filo dos Anelídeos.
- 32)** animais com a associação II – B possuem coração com quatro cavidades.
- 64)** os equinodermos têm uma associação IV – B quanto ao seu sistema esquelético.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C8-H28

Surgidos há 370 milhões de anos, os anfíbios apresentam inovações evolutivas que permitiram a eles tornarem-se os primeiros vertebrados a colonizar o ambiente terrestre, passando apenas parte da vida no meio aquático. Apesar disso, alguns aspectos fisiológicos limitam a sua distribuição; por exemplo, no Brasil existe uma diversidade menor de espécies na Região Sul.

A característica adaptativa que limita a distribuição geográfica desses organismos é a

- a)** presença de embriões protegidos por ovos.
- b)** ocorrência de metamorfose na fase de girino.
- c)** incapacidade de controle interno da temperatura.
- d)** excreção de resíduos nitrogenados na forma de ureia.
- e)** realização de trocas gasosas por pulmões e tegumento.

19. Enem

C4-H14

As serpentes que habitam regiões de seca podem ficar em jejum por um longo período de tempo devido à escassez de alimento. Assim, a sobrevivência desses predadores está relacionada ao aproveitamento máximo dos nutrientes obtidos com a presa capturada. De acordo com essa situação, essas serpentes apresentam alterações morfológicas e fisiológicas, como o aumento das vilosidades intestinais e a intensificação da irrigação sanguínea na porção interna dessas estruturas.

A função do aumento das vilosidades intestinais para essas serpentes é maximizar o(a)

- a)** comprimento do trato gastrointestinal para caber mais alimento.
- b)** área de contato com o conteúdo intestinal para absorção dos nutrientes.
- c)** liberação de calor via irrigação sanguínea para controle térmico do sistema digestório.
- d)** secreção de enzimas digestivas para aumentar a degradação proteica no estômago.
- e)** processo de digestão para diminuir o tempo de permanência do alimento no intestino.

20. UNESP

C4-H15

Uma professora explicava a seus alunos que a transpiração contribui para o controle da temperatura corporal e que os desodorantes antitranspirantes apresentam em sua composição sal de alumínio, o qual obstrui os ductos sudoríparos, impedindo a saída do suor. Um dos alunos perguntou à professora o que aconteceria se uma generosa dose de desodorante antitranspirante fosse borrifada no corpo de uma barata e no corpo de uma lagartixa.

A professora desaconselhou o experimento em razão dos maus tratos aos animais e explicou que, caso fosse realizado, considerando os sistemas respiratórios desses animais, provavelmente

- a)** a lagartixa e a barata morreriam por aumento da temperatura corporal.
- b)** a lagartixa e a barata morreriam por falta de oxigênio em suas células.
- c)** a barata sobreviveria e a lagartixa morreria por aumento da temperatura corporal.
- d)** a lagartixa sobreviveria e a barata morreria por falta de oxigênio em suas células.
- e)** a barata e a lagartixa sobreviveriam.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINGOS

AVES E MAMÍFEROS

14

As aves formam um grande e diversificado grupo de vertebrados que inclui os mais diversos representantes, como gaviões, pinguins, corujas, araras, tucanos, patos, avestruzes, beija-flores e kiwis. Estão presentes em quase todas as regiões do planeta, do Ártico à Antártica, em mares e continentes. No entanto, são mais numerosas e diversificadas em regiões tropicais.

As aves e os crocodilos descendem de um grupo de répteis conhecidos como arcossauros (Archosauria). Uma linhagem de arcossauros deu origem aos crocodilos, e os dinossauros evoluíram da outra linhagem. Os dinossauros ancestrais, por sua vez, deram origem a dois grupos: os ornitíscuios e os sauríscuios. E, dos dinossauros sauríscuios bípedes, as aves modernas evoluíram, há cerca de 160 milhões de anos.

O ancestral das aves mais conhecido, o *Archaeopteryx*, descoberto em uma formação de calcário na Alemanha, em 1861, ainda tinha características intermediárias entre os dinossauros sauríscuios e as aves modernas, como dentes no bico, cauda longa, penas e membros anteriores modificados em asas, mas com garras nos dedos das asas.

Atualmente, as aves compreendem o grupo de maior diversidade de vertebrados terrestres, com mais de 10 mil espécies conhecidas, classificadas em cerca de 30 ordens diferentes. Por causa de seu hábito diurno (em sua maioria), cantos elaborados, cores vistosas, capacidade de voo e grandes deslocamentos, entre outros fatores, as aves estão entre os vertebrados mais conhecidos pela maioria das pessoas.

Neste módulo, conheceremos melhor as características das aves associadas a sua anatomia, sua fisiologia, seu comportamento e suas adaptações relacionadas ao voo.

- Aspectos evolutivos
- Características gerais
- Anatomia e fisiologia
- Classificação

HABILIDADES

- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas das aves.
- Identificar características que distinguem as aves dos répteis não avianos.
- Discutir as relações de parentesco entre as aves e os demais répteis.
- Associar características adaptativas das aves com seu modo de vida e com seus limites de distribuição em diferentes ambientes.
- Reconhecer as características morfológicas e fisiológicas dos mamíferos.
- Comparar as características gerais dos grandes grupos de mamíferos.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos mamíferos.

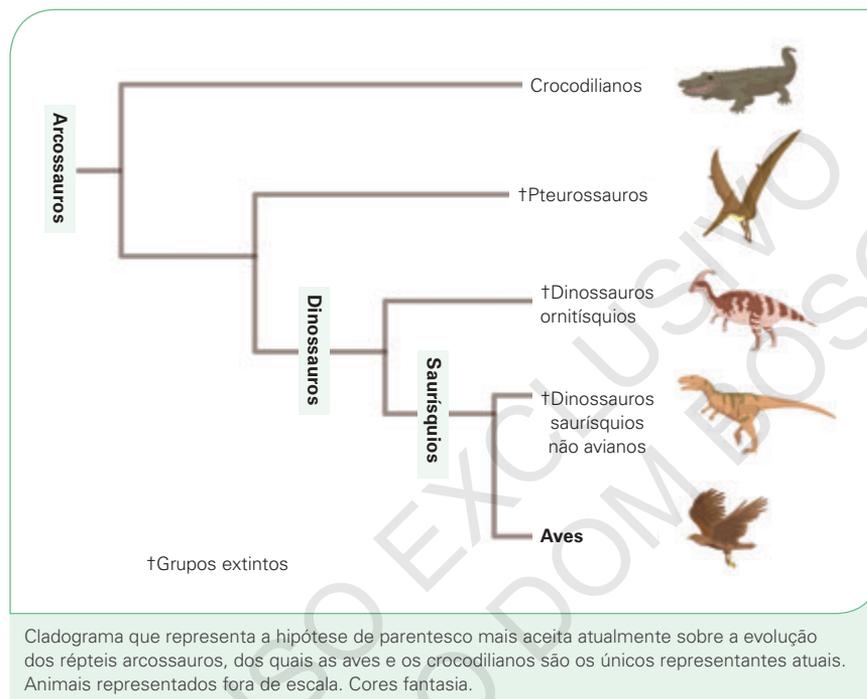


WLAD74/SHUTTERSTOCK

Fóssil do *Archaeopteryx*, molde do esqueleto em pedra.

ASPECTOS EVOLUTIVOS

As primeiras aves provavelmente eram planadoras. A capacidade de voar surgiu posteriormente, permitindo a ocupação de ambientes ainda não explorados por outros animais e a fuga de predadores.



ADAPTAÇÕES AO VOO

A capacidade de voar possibilitou às aves grande dispersão e distribuição geográfica pelo planeta. Uma série de adaptações surgiu ao longo da história evolutiva do grupo, possibilitando o voo. Elas estão descritas a seguir.

- **Ossos pneumáticos:** alguns ossos das aves (geralmente crânio com bico córneo e sem dentes, cintura escapular, úmero e esterno) são ocos, mas cheios de ar, o que evita acréscimo na massa do animal, diminuindo seu gasto de energia ao voar. O esqueleto, apesar de leve, é resistente (ossificado).
- **Sacos aéreos:** aumentam a eficiência da renovação do ar dos pulmões, garantindo elevada oferta de oxigênio, compatível com uma atividade como o voo, tão dispendiosa em termos energéticos.
- **Ausência de bexiga urinária e de grande parte do intestino grosso:** não carregar fezes e urina representa economia de peso, ideal para animais voadores.
- **Músculos peitorais bem desenvolvidos:** a execução dos movimentos relacionados ao voo exige o abaixamento das asas, que sustenta o peso do corpo contra a resistência do ar, o que só é possível com músculos desenvolvidos na região anterior do tronco.
- **Visão desenvolvida:** a maioria das aves tem excelente acuidade visual, inclusive para cores.
- **Asas:** são formadas pelos membros anteriores modificados.
- **Carena:** osso esterno em forma de quilha, uma projeção que diminui a resistência do ar durante o voo e possibilita a inserção dos músculos desenvolvidos responsáveis pelo batimento das asas.
- **Penas:** estruturas homólogas às escamas dos répteis, leves e resistentes, que recobrem o corpo; apesar de terem surgido primeiramente com função termorreguladora, foram essenciais para o desenvolvimento da habilidade de voar.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

As aves apresentam algumas características distintas em relação aos demais cordados. São animais **endotérmicos**, capazes de manter sua temperatura corporal constante independentemente da temperatura do ambiente, o que é possível por causa de determinados mecanismos fisiológicos, como a elevada taxa metabólica. Têm o corpo revestido por penas (característica mais distintiva do grupo), que, além de conferir proteção térmica e auxiliar no voo, promovem o dimorfismo sexual em algumas espécies e contribuem na corte durante a época de reprodução.

Entre a grande diversidade de aves, há o grupo das **ratitas**, aves corredoras que não são capazes de voar (ema, avestruz) e que possuem o esterno sem quilha e sem músculos desenvolvidos (inclui também os tinamiformes); e um grande grupo denominado **carinatas**, que inclui as demais ordens de aves, quase todas com capacidade de voar (esterno com quilha e músculos peitorais desenvolvidos), como beija-flores, pardais, araras, gaviões e gaivotas. Os pinguins têm asas reduzidas que não são mais funcionais para o voo, mas que sofreram modificações e passaram a ser eficientes no nado desses animais.

ANATOMIA E FISIOLOGIA

O corpo das aves tem forma e tamanho variados. A pele é flexível, delgada e de frouxa fixação à musculatura, quase sem glândulas – a exceção é a **glândula uropigiana**, situada acima da base da cauda, que secreta um líquido oleoso empregado na lubrificação e na impermeabilização das penas. Com o bico, as aves recolhem essa secreção e a espalham pelo corpo.

O esqueleto das aves tem uma estrutura aerodinâmica. As clavículas são fundidas, formando a **fúrcula**, conhecida como “osso da sorte”. A **carena** é o osso esterno em forma de quilha. A maioria das vértebras (exceto as cervicais) está fundida e as costelas geralmente estão fundidas às vértebras, proporcionando rigidez ao voo. Os ossos das pernas não são pneumáticos e são mais pesados em relação aos dos mamíferos, o que desloca o centro de gravidade das aves e auxilia na estabilidade aerodinâmica.

SISTEMA DIGESTÓRIO

As aves utilizam o bico na obtenção de alimento, no alisamento das penas, na coleta de materiais para a confecção do ninho e na defesa contra predadores. O envoltório cornificado do bico tem crescimento contínuo, compensando o desgaste pelo uso. A forma do bico varia de acordo com o hábito alimentar: afilado nas aves que capturam insetos; forte e cônico em aves que comem grãos; recurvado em aves predadoras, como gaviões e corujas.

A língua, pequena e pontiaguda, tem revestimento córneo e não é extensível, exceto nos pica-paus, que a

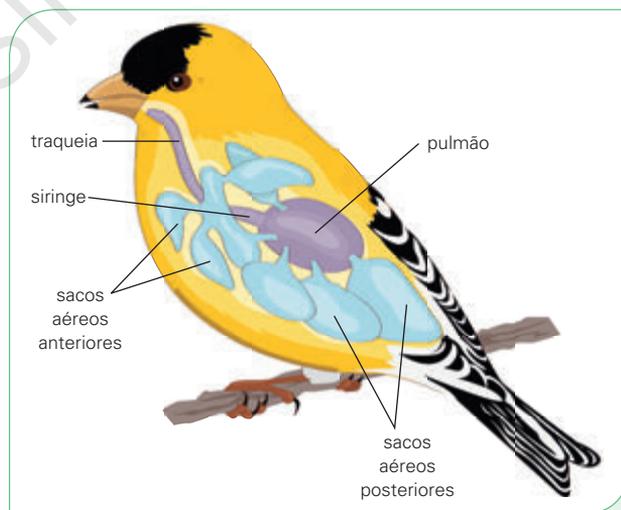
utilizam para capturar insetos na madeira, e nos beija-flores, que a usam para retirar néctar das flores.

O alimento é temporariamente armazenado e umedecido no **papo**, uma dilatação do esôfago. Em algumas espécies, o papo é utilizado para carregar alimento aos filhotes, que recebem o alimento regurgitado pelos pais ou introduzido pelo bico na garganta deles. O estômago compreende o **proventrículo** (ou estômago químico), responsável pela secreção de sucos digestivos, e a **moela** (ou estômago mecânico), câmara de paredes musculares e espessas em que ocorre a trituração do alimento e desempenha a função dos dentes, que estão ausentes. As aves têm também fígado e pâncreas. O sistema digestório termina em uma cloaca.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

A respiração das aves é pulmonar e ocorre através de um par de narinas presente na parte superior do bico. Os pulmões têm **sacos aéreos** associados, que aumentam o aproveitamento do ar no processo respiratório. Os sacos aéreos são ramificações pulmonares que se estendem entre os órgãos do corpo e estão ligadas aos ossos pneumáticos. Essas ramificações se enchem de ar durante a inspiração, contribuindo para a redução do peso e facilitando o voo.

O órgão responsável pelo canto das aves é a **siringe**, situada na base da traqueia. Ela é composta de músculos e membranas que vibram quando o ar passa, produzindo os sons.

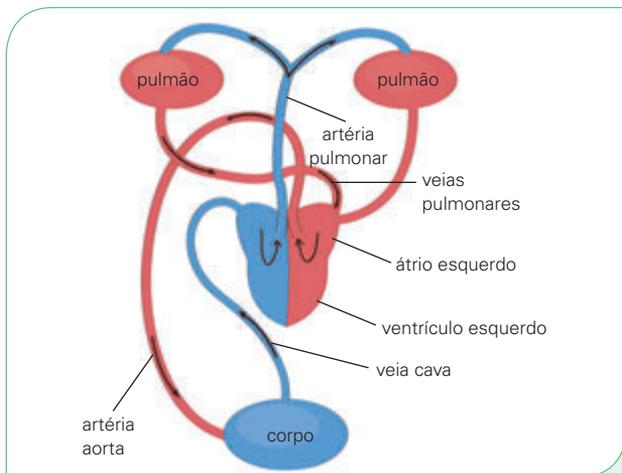


Representação do sistema respiratório das aves. Elementos representados fora de escala. Cores fantasia.

SISTEMA CIRCULATÓRIO

O coração das aves apresenta quatro câmaras totalmente separadas: dois átrios e dois ventrículos. O sangue venoso passa apenas pelo lado direito, e o sangue arterial circula apenas pelo lado esquerdo. A circulação é fechada, o sangue passa apenas por vasos; completa, de forma que não há mistura de sangue arterial com venoso; e dupla, com um circuito sistêmico e um circuito pulmonar. Dessa maneira, o sangue com alto teor

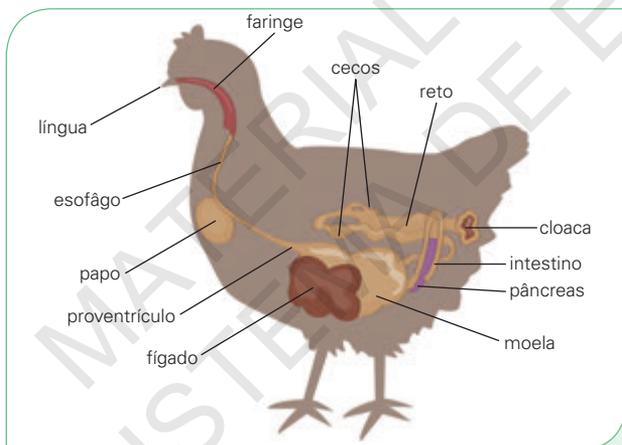
de oxigênio enviado aos tecidos do corpo permite uma atividade metabólica de intensidade suficiente para manter a temperatura corporal constante. Nas aves, a curvatura do arco aórtico é pelo lado direito, enquanto nos mamíferos é pelo lado esquerdo. As hemácias das aves são nucleadas e ovais.



Representação do sistema cardiovascular das aves. Elementos representados fora de escala. Cores fantasia.

SISTEMA EXCRETOR

A estrutura de excreção das aves é o rim metanéfrico. O produto nitrogenado que excretam é o **ácido úrico**, eliminado na forma de urina com as fezes pela cloaca. Essa forma de excreção é essencial para a economia de água, representando uma importante adaptação para a sobrevivência no ambiente terrestre.



Representação do sistema digestório das aves. Elementos representados fora de escala. Cores fantasia.

SISTEMA NERVOSO E ÓRGÃOS DO SENTIDO

Os olhos das aves são grandes em relação ao tamanho do corpo e são recobertos por pálpebras (superior e inferior) e por membranas nictitantes transparentes, que mantêm a proteção e a lubrificação da superfície deles. Atrás dos olhos, notam-se os condutos auditivos, que levam até as membranas timpânicas. Não há

pavilhão auditivo, estrutura presente nos mamíferos. O paladar e o olfato são pouco sensíveis.

O sistema nervoso é bastante desenvolvido, com o encéfalo proporcionalmente maior que nos demais répteis. Estruturas relacionadas com o equilíbrio e com a orientação espacial, como o cerebelo, são particularmente desenvolvidas.

REPRODUÇÃO

As estratégias reprodutivas das aves são muito diversificadas. Cada espécie tem um período específico para se reproduzir. Rituais de corte elaborados realizados pelos machos às fêmeas são bastante comuns durante a reprodução, envolvendo comportamentos complexos como exhibições e cantos.

As vias reprodutoras abrem-se na cloaca junto com as vias digestórias e urinárias. A fecundação é interna, e a cópula é realizada pela sobreposição da cloaca do macho sobre a da fêmea, permitindo a penetração dos espermatozoides no interior do sistema reprodutor feminino. São ovíparas e, após a fecundação, ocorrem a postura dos ovos e a incubação, período de **cuidados parentais** intensivos com os ovos, os quais são mantidos aquecidos pelo calor do corpo da mãe, do pai ou de ambos em períodos alternados.

Os ovos das aves apresentam casca calcária resistente e porosa e têm muito vitelo. Os anexos embrionários também estão presentes: âmnio, cório, alantoide e saco vitelínico, que constituem a gema do ovo. O albúmen, também conhecido como a clara do ovo, é acrescentado durante a passagem do ovo pelo oviduto, via de saída do sistema genital feminino. O cuidado parental das aves é bastante importante para assegurar a sobrevivência e o desenvolvimento da prole. Os filhotes de algumas espécies, como galinhas e patos, eclodem do ovo bem formados e ativos. Já os filhotes de pássaros e pombos necessitam de cuidados parentais mais intensos.

Mamíferos

Os mamíferos compreendem os animais mais conhecidos pela maioria das pessoas. Incluem a maior parte dos animais domésticos, criados com a finalidade de alimentação (bovinos, suínos e caprinos), animais de estimação (gatos e cachorros), além do próprio ser humano. Entre as características mais evidentes (exclusivas do grupo), estão as glândulas mamárias e os pelos recobrendo o corpo.

Neste módulo conheceremos as características exclusivas dos mamíferos, aspectos gerais de sua biologia e seus principais representantes.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

A classe dos mamíferos compreende cerca de 5 600 espécies conhecidas, ocupando os mais variados ambientes. Entre os menores representantes, estão os musaranhos e os camundongos, que têm menos de

cinco centímetros de comprimento e pesam poucos gramas. Entre os maiores estão os elefantes e as baleias. A baleia-azul (*Balaenoptera musculus*) é o maior mamífero conhecido, alcançando 30 metros de comprimento e pesando até cerca de 170 toneladas.

ASPECTOS EVOLUTIVOS

Ao longo da história evolutiva dos vertebrados, as aves e os mamíferos originaram-se de linhagens diferentes de tetrápodes amniotas. Os mamíferos evoluíram da linhagem dos sinápsidos e as aves evoluíram da linhagem dos répteis (diápsidos).

No entanto, os mamíferos e as aves apresentam algumas características comuns, surgidas independentemente, fenômeno conhecido como **convergência evolutiva**. São elas: endotermia, circulação completa sem mistura de sangue arterial e venoso e pulmões com grande eficiência nas trocas gasosas e na renovação do ar.

Há registros fósseis de mamíferos que datam de 225 milhões de anos, antes das primeiras aves. O período de grande diversificação e expansão da distribuição geográfica dos mamíferos ocorreu há cerca de 65 milhões de anos, no final da Era Mesozoica, quando houve a extinção em massa dos dinossauros não avianos. Assim, os mamíferos substituíram os grandes répteis no domínio das cadeias alimentares dos ecossistemas terrestres.

Algumas características dos mamíferos provavelmente lhes conferiram vantagens adaptativas em relação aos répteis nesse período, como sistema circulatório mais eficiente, que assegurava maior agilidade na locomoção para a fuga; endotermia, que permitia hábitos noturnos, quando o encontro com os répteis era menos provável, uma vez que estes têm hábitos principalmente diurnos; e habitats arborícolas, relativamente protegidos dos ataques de predadores carnívoros.

A seguir estão destacadas algumas das principais características responsáveis pelo sucesso adaptativo dos mamíferos.

- Eficiente controle da temperatura corporal, facilitado pelo revestimento isolante do corpo, composto de **pelos e camada de gordura** no tecido subcutâneo (camada inferior da pele).
- Separação completa de sangue venoso e arterial, o que permite melhor controle da pressão arterial e circulação mais eficiente, garantindo melhor oxigenação dos tecidos e chegada dos nutrientes às células com maior rapidez, fator importante para a manutenção de metabolismo elevado.
- Encéfalo proporcionalmente maior que o de outros grupos de vertebrados, relacionado à grande capacidade de coordenação de movimentos, aprendizagem e memória.
- Órgãos sensoriais bastante desenvolvidos, como visão, audição e, sobretudo, olfato, possibilitando

a obtenção e o processamento de informações do ambiente ao redor.

- Desenvolvimento dos filhotes no aparelho reprodutor da fêmea (com exceção dos monotremados), aumentando a proteção e a segurança ao embrião. Se por um lado nasce um número menor de filhotes a cada gestação, por outro, a taxa de sobrevivência da prole torna-se maior.

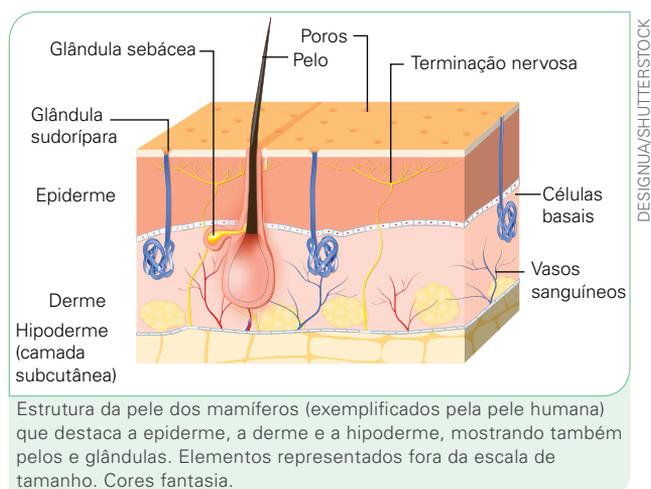
CARACTERÍSTICAS EXCLUSIVAS: NOVIDADES EVOLUTIVAS

Os mamíferos são os únicos animais a exibir o corpo total ou parcialmente coberto por **pelos**, importante fator de proteção térmica; **glândulas mamárias** que secretam leite, líquido nutritivo com o qual alimentam seus filhotes; **diafragma**, músculo plano que separa o tórax do abdome e é fundamental na respiração; **dentes diferenciados** (incisivos, caninos, pré-molares e molares) com funções específicas, como prender, cortar e triturar; **hemácias anucleadas**; **glândulas sebáceas** produtoras de secreção oleosa, que lubrifica a pele e os pelos; e **glândulas sudoríparas**, responsáveis pela produção de suor, desempenham importante função na regulação da temperatura corporal.

ANATOMIA E FISIOLOGIA

SISTEMA DÉRMICO

O corpo dos mamíferos é revestido por um **tegumento espesso**, cuja camada mais superficial é a córnea, formada por células mortas impregnadas de queratina. Sob essa camada está a derme e, abaixo dela, a hipoderme, que contém o tecido adiposo, composto de gordura.



O tegumento possui uma série de anexos, como pelos, espinhos, cascos, garras, unhas, chifres e cornos. Os pelos formam uma densa pelagem nos animais que habitam áreas frias, mas são finos e curtos em espé-

cies tropicais. As baleias praticamente não têm pelos, apenas poucas cerdas sobre os lábios. Diferenças na pigmentação dos pelos produzem os vários padrões de cores dos mamíferos. Os cornos são estruturas permanentes que crescem continuamente para compensar o desgaste; já as galhadas ou os chifres são formações ósseas trocadas a cada estação reprodutiva.

Além das glândulas sudoríparas, sebáceas e mamárias, outros tipos de glândula abrem-se na pele: glândulas lacrimais, cuja secreção, chamada lágrima, limpa, lubrifica e umidifica a superfície dos olhos; glândulas odoríferas, cujas secreções servem de atrativo sexual e como repelente de inimigos naturais.

SUSTENTAÇÃO E LOCOMOÇÃO

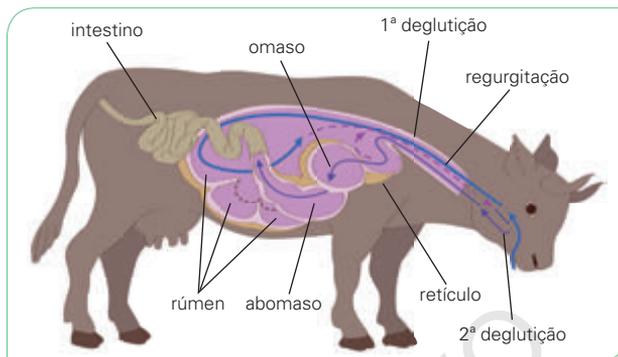
O esqueleto é principalmente ósseo. As cartilagens estão presentes sobre as superfícies articulares e formam os discos intervertebrais. Os ossos cranianos são menos numerosos e maiores que os dos répteis e dos peixes. Um palato ósseo separa a passagem nasal da bucal até a garganta, permitindo ao animal respirar enquanto come. Os ossos maxilares são fundidos em uma única mandíbula, maior e mais forte que a dos répteis.

O esqueleto ósseo constitui as vértebras cervicais, torácicas, lombares, sacrais e caudais. Há espécies com membros adaptados ao nado, como a baleia, o golfinho e a foca; ao voo, como os morcegos; e à escavação, como as toupeiras. Todos os mamíferos dispõem de dois côndilos occipitais, estruturas que articulam o crânio com a primeira vértebra cervical, e três ossículos da audição na orelha média: estribo, bigorna e martelo.

SISTEMA DIGESTÓRIO

O sistema digestório completo termina no ânus, exceto nos monotremados (ornitorrinco, equidna), que possuem cloaca. Os hábitos alimentares variam basicamente em insetívoros, carnívoros, herbívoros onívoros (dieta carnívora + herbívora).

Nos placentários **ruminantes** (vaca, veado, cabra, girafa), o estômago tem quatro cavidades: **rúmen** (ou pança), **retículo** (ou barrete), **omaso** (ou folhoso) e **abomaso** (ou coagulador). Nos ruminantes, o alimento, ao ser ingerido, passa para o esôfago, chega ao rúmen e depois ao retículo. No rúmen, ele é digerido por microrganismos que quebram a celulose (fermentação); já o retículo, além de auxiliar na ruminação, é responsável pela contração que conduz a regurgitação do alimento de volta à boca para ser mastigado mais uma vez. O alimento é, então, deglutido novamente, passando direto ao omaso, em que há reabsorção do excesso de água. No abomaso ocorre a digestão química, por ação do suco gástrico, e o alimento passa para o intestino, completando-se a digestão.



Representação do sistema digestório dos ruminantes com indicação do trajeto dos alimentos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

SISTEMA RESPIRATÓRIO

Com respiração exclusivamente pulmonar, mesmo nas formas aquáticas, os mamíferos têm **pulmões** de grande superfície, com alvéolos. São os únicos animais dotados de **diafragma**. Na laringe, há **pregas vocais**, responsáveis pela produção de sons, que podem ter a funções de alerta, intimidação de inimigos, atração de parceiros, localização (busca entre pais e filhotes) e interações sociais complexas.

SISTEMA CARDIOVASCULAR

O coração dos mamíferos possui quatro cavidades: dois átrios e dois ventrículos. A circulação é **fechada, dupla e completa**. Não há mistura de sangue venoso (lado direito) com sangue arterial (lado esquerdo). O arco aórtico dos mamíferos, ao contrário do das aves, fica do lado esquerdo. As hemácias adultas são **anucleadas** e bicôncavas.

SISTEMA EXCRETOR

A estrutura de excreção dos mamíferos é o **rim** e existe uma bexiga para armazenamento da urina. O produto nitrogenado excretado é a **ureia**, uma substância bastante solúvel em água. Dessa forma, os mamíferos eliminam urina com perda considerável de água. Na grande maioria dos mamíferos não há cloaca (exceção dos monotremados), ou seja, as aberturas dos sistemas digestório, urinário e genital são separadas.

SISTEMA NERVOSO E SENSORIAL

Os mamíferos têm sistema nervoso bem desenvolvido, com 12 pares de nervos cranianos; apresentam o maior cérebro entre os vertebrados terrestres, com numerosas circunvoluções. O córtex cerebral dos mamíferos confere alta capacidade cognitiva, de memória e aprendizagem. A audição é desenvolvida, com orelhas externa, média e interna, assim como a visão e os epitélios olfativos e gustativos.

REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO

A reprodução dos mamíferos é sexuada, com fecundação interna e desenvolvimento direto. Os sexos são separados e existem órgãos reprodutores mascu-

lino (testículos e pênis) e feminino (ovário, ovidutos e vagina). Há espécies **ovíparas**, como o ornitorrinco (monotremados), cujas fêmeas botam ovos semelhantes aos de aves e répteis. Os mamíferos placentários são **vivíparos**, ou seja, os filhotes se desenvolvem no interior do corpo da fêmea.

As fêmeas passam por um ciclo menstrual periódico, quando ocorrem modificações celulares no útero e na vagina, além de alterações comportamentais. Esse período é conhecido como cio. O número de filhotes por gestação costuma ser inversamente proporcional ao tamanho do animal. Os grandes mamíferos geralmente produzem um único filhote a cada ciclo reprodutivo, mas espécies menores têm gestações curtas e geram muitos descendentes, podendo se reproduzir várias vezes no mesmo ano. Os filhotes de todos os mamíferos recebem cuidados parentais antes de se tornarem independentes.

CLASSIFICAÇÃO

Os mamíferos são classificados em três grupos (subclasses): Prototheria (monotremados), Metatheria (marsupiais) e Eutheria (placentários).

PROTOThERIA (MONOTREMATA)

Os prototérios ou monotremados são **ovíparos**, assim como os amniotas ancestrais e os répteis. São encontrados na Austrália e na Nova Guiné, representados pelo ornitorrinco e pela equidna. As fêmeas não têm útero e suas glândulas mamárias não apresentam mamilos. Para se alimentar, os filhotes lambem o leite que escorre dos pelos da região ventral da mãe, no entorno das glândulas mamárias. Os ornitorrincos adultos apresentam cloaca e bico córneo, semelhante ao do pato.



Ornitorrinco (*Platypus* sp.) nadando.

PHOTORESEARCHERS / LATINSTOCK

METATHERIA (MARSUPIALIA)

Os metatérios ou marsupiais são vivíparos, e seus embriões iniciam o desenvolvimento no útero materno. Após curto período de gestação, nascem precocemente, semelhantes a embriões anatômica e fisiologicamente. Depois, agarrando-se aos pelos maternos, instalam-se no **marsúpio**, bolsa que as fêmeas possuem na região abdominal. No marsúpio, os filhotes sugam o leite materno através dos mamilos, até completarem seu desenvolvimento. Atualmente, sua distribuição geográfica é restrita principalmente à Austrália e à América do Sul. São representados pelo gambá (sul-americano), canguru, coala e lobo-da-tasmânia (australianos).



Canguru (*Macropus* sp.), uma mãe com seu filhote no marsúpio, Austrália.

MICHAL PESATASHUTTERSTOCK

EUTHERIA (PLACENTÁRIOS)

Os eutérios ou placentários são vivíparos e passam por longo período de gestação, suficiente para seus filhotes nascerem completamente formados. Durante o desenvolvimento embrionário, forma-se a **placenta** no útero da fêmea, estrutura com múltiplas funções. São elas: **realizar trocas gasosas** entre o sangue materno e o sangue do embrião; **levar nutrientes** para o embrião; **retirar as excretas** nitrogenadas e **produzir hormônios**.

Os placentários são o grupo mais diversificado de mamíferos, representados pelos roedores (capivara, cutia, ratos), felinos (gato, onça, leão), canídeos (cachorro, lobo, chacal), cetáceos (baleia, golfinho), morcego, cavalo, boi, ovelha, cabra, elefante, girafa, hipopótamo, tamanduá, urso; e pelos primatas, como os chimpanzés e os humanos. Em virtude da grande capacidade de adaptação, os mamíferos placentários são encontrados nos mais variados tipos de ecossistema. Atualmente, são classificados em cerca de 20 ordens, das quais serão apresentadas apenas as mais conhecidas.

ROTEIRO DE AULA

Aves

Adaptações associadas ao voo

Corpo revestido por penas

Endotermia

Esqueleto:

aerodinâmico

Peso corporal reduzido

Músculos peitorais desenvolvidos

Sistema visual desenvolvido

Ossos:

pneumáticos

Sacos:

aéreos

Bexiga urinária e parte do intestino grosso ausentes

Ossos:

reduzidos e fundidos

Características gerais

Tetrápodes

Amniotas

Pele:

sem glândulas

Sistema respiratório:

siringe

sacos aéreos

Sistema digestório completo:

bico sem dentes

papo,

estômago (moela)

Excreção:

ácido úrico

ROTEIRO DE AULA

Sistema nervoso bastante desenvolvido

Coração:

quatro câmaras

Circulação:

dupla e completa

Circulação:

dupla e completa

fecundação interna, ovíparos

Desenvolvimento:

direto

Reprodução:

cuidado parental intensivo

Ovos:

amnióticos com casca dura

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

MAMÍFEROS

Características exclusivas

Corpo total ou parcialmente coberto por pelos

Glândulas:

mamárias

sebáceas

sudoríparas

odoríferas

Diafragma

Dentes especializados

incisivos

caninos

pré-molares

molares

Hemácias:

anucleadas

Características gerais

endotérmicos

Dois côndilos occipitais

Respiração:

pulmonar

Coração:

quatro câmaras

Circulação:

dupla e completa

Sistema digestório completo

Sistema nervoso:

encéfalo

12 nervos cranianos

órgãos sensoriais

desenvolvidos

Excreção:

ureia

Fecundação:

interna

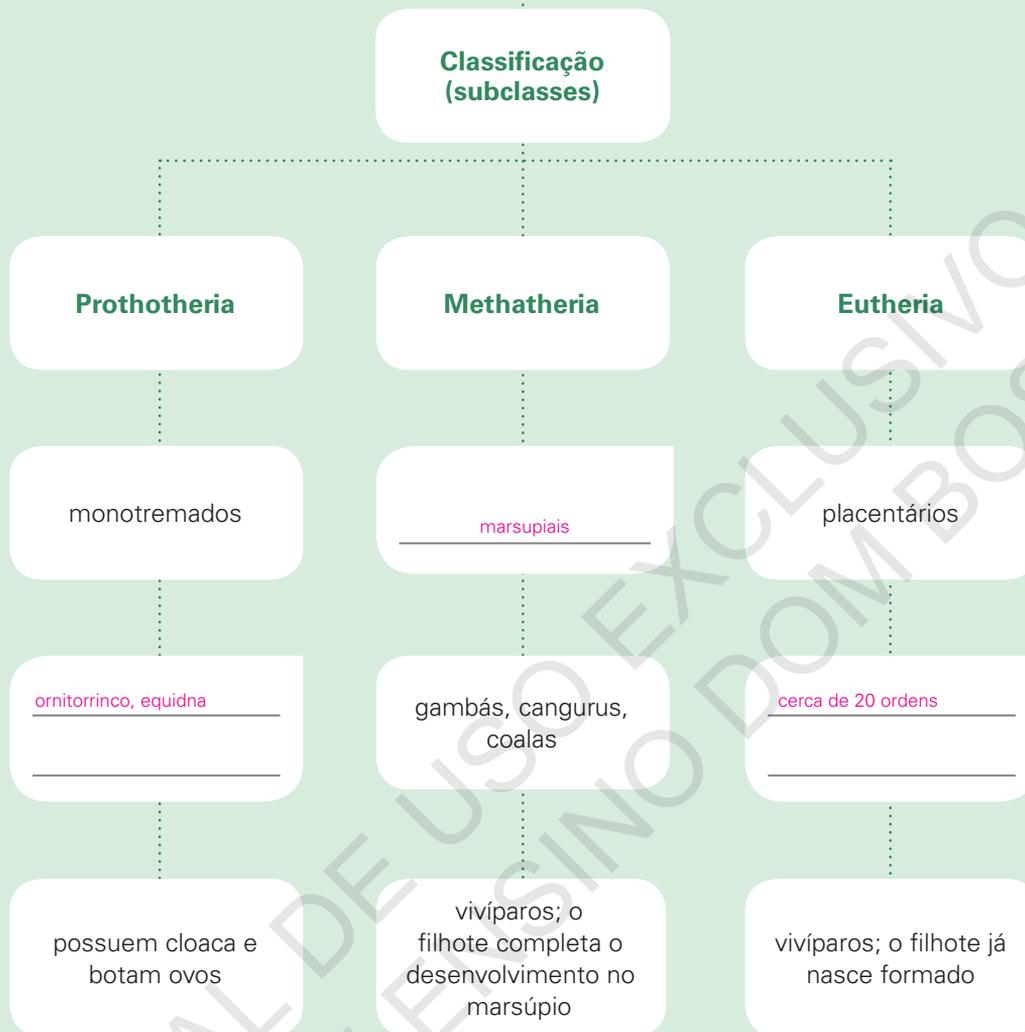
Reprodução:

Desenvolvimento:

direto

Há espécies ovíparas e vivíparas

ROTEIRO DE AULA



MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Famerp-SP

C4-H14

As aves e os mamíferos podem habitar uma grande amplitude de áreas terrestres. São encontrados em regiões de altitudes muito elevadas, assim como em regiões de altas latitudes. As aves e os mamíferos são capazes de sobreviver nesses ambientes por possuírem

- a) pele queratinizada.
- b) anexos embrionários.
- c) esqueleto ósseo resistente.
- d) endotermia.
- e) circulação fechada.

Aves e mamíferos podem sobreviver em diferentes ambientes por serem animais endotérmicos, ou seja, sua temperatura corporal é constante em decorrência do calor produzido pelo próprio metabolismo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

2. Uninove-SP – Gaivotas são muito comuns em ilhas, portos e píeres. *Larus hyperboreus*, *Larus schistisagus*, *Larus marinus* e *Larus californicus* são nomes científicos destas aves.

- a) Quantos gêneros de gaivotas estão listados no texto? Justifique sua resposta.

São mencionadas no texto quatro espécies de gaivotas, todas pertencentes ao gênero *Larus*.

- b) As gaivotas, assim como outras aves voadoras, apresentam sacos aéreos, que são importantes adaptações ao voo. Cite duas funções dos sacos aéreos que auxiliam o voo das aves.

Os sacos aéreos diminuem o peso corporal das aves, o que facilita o voo.

Adicionalmente, aumentam a eficiência da renovação do ar dos pulmões,

garantindo uma oferta elevada de oxigênio, o que é fundamental por

causa do alto gasto energético durante o voo.

3. UFJF-MG – Os vertebrados compreendem cerca de 50 mil espécies, com representantes aquáticos, terrestres e aéreos. Embora os componentes deste subfilo apresentem características morfológicas e fisiológicas comuns, cada grupo animal possui características próprias relacionadas ao seu modo de vida e a adaptações ao ambiente utilizado. Analise as afirmativas a seguir e assinale a **incorreta**.

- a) A bexiga natatória dos peixes ósseos auxilia na flutuação e permite que o animal mantenha o equilíbrio em diferentes profundidades sem muito esforço.

- b) A pele dos anfíbios é lisa e rica em glândulas mucosas e de veneno, pobre em queratina e bastante permeável.
- c) A independência da água para a reprodução dos répteis está relacionada com o surgimento do ovo amniótico.
- d) Aves apresentam bexigas, as quais auxiliam o voo e atuam como reserva de oxigênio para altitudes com ar rarefeito.
- e) Mamíferos apresentam o corpo coberto de pelos, ausentes nas baleias adultas, o que representa uma adaptação à vida aquática.

Corrija a afirmativa incorreta, tornando-a verdadeira.

As aves não possuem bexiga urinária e perderam a maior parte do in-

testino grosso ao longo de sua evolução. Apresentam sacos aéreos

associados aos pulmões, os quais facilitam o voo por diminuírem o peso

do animal e assegurarem uma reserva de oxigênio importante para uma

atividade energética tão dispendiosa quanto o voo.

4. UCS-RS (adaptado) – Todos os mamíferos têm fecundação interna, mas o tipo de desenvolvimento embrionário varia entre os diversos grupos. Relacione as subclasses de mamíferos apresentadas na coluna A às características embrionárias que as identificam, listadas na coluna B.

COLUNA A

- I. Methatheria
- II. Prototheria
- III. Eutheria

COLUNA B

- () Placentários
- () Ovo megalécito
- () Possuem marsúpio

Assinale a alternativa que preenche correta e respectivamente os parênteses, de cima para baixo.

- a) II, I, III
- b) III, I, II
- c) III, II, I
- d) II, I, III
- e) I, I, II

Os monotremados ou Prototheria são o único grupo (subclasse) de mamíferos ovíparos; os marsupiais ou Methatheria possuem o marsúpio; e os Eutheria são os mamíferos placentários.

5. UFRGS-RS – Assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo, relativas às características dos organismos da classe Mammalia.

- () Um único osso na mandíbula inferior.
- () Membrana muscular que separa o tórax do abdome.
- () Epiderme espessa e queratinizada.
- () Ácido úrico como principal produto de excreção.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é

- a) V – V – F – V.
- b) F – F – V – V.
- c) V – V – F – F.
- d) F – V – F – F.
- e) F – F – V – F.

Os mamíferos (classe Mammalia) não apresentam epiderme espessa e apenas a camada superficial (córnea) de células mortas é queratinizada; a ureia é eliminada como principal produto nitrogenado na excreção.

6. UFG-GO – Os mamíferos surgiram a partir da evolução de um grupo de répteis primitivos entre 245 e 208 milhões de anos atrás. Atualmente, ocupam os mais diversos ambientes e estão distribuídos em três grupos: prototérios, metatérios e eutérios. Com base no desenvolvimento embrionário, explique a diferença entre esses três grupos, citando exemplos de cada grupo.

Os mamíferos monotremados (ornitorrinco, equidna) se caracterizam pelo desenvolvimento embrionário fora do corpo materno e por serem ovíparos (que põem ovos). Os marsupiais (cangurus, gambás) apresentam o início do desenvolvimento embrionário no interior do útero

materno e o estágio final ocorre no marsúpio ou nas pregas da pele das mães. Os eutérios ou placentários (golfinho, ser humano) apresentam todo o desenvolvimento embrionário no útero materno e estão ligados à parede uterina por meio da placenta, dando origem a um filhote totalmente formado.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – As características mencionadas nas alternativas abaixo são encontradas nas aves, com exceção de

- cloaca, penas e asas.
- ossos pneumáticos, pigóstilo e arco aórtico curvado pelo lado esquerdo.
- endotermia, moela e papo.
- âmnio, fúrcula e ausência de bexiga urinária.
- glândula uropigiana, carena e fúrcula.

8. PUC-RJ – Aves são animais endotérmicos que mantêm a temperatura corporal em torno de 40 °C. Com relação a esse aspecto da fisiologia das aves, considere as afirmativas a seguir.

- O isolamento térmico do corpo, em função da cobertura de penas e da camada de gordura subcutânea, contribui para a manutenção da temperatura corporal.
- As aves não precisam aquecer-se ao sol para manterem sua temperatura.
- As aves necessitam de mais alimento, proporcionalmente ao peso do corpo, do que animais ectotérmicos.
- Por serem endotérmicas, as aves são mais evoluídas que animais ectotérmicos como lagartos, serpentes e anfíbios.

É correto o que se afirma em

- somente I.
- somente I e III.
- somente II e III.
- somente I, II e III.
- I, II, III e IV.

9. UEM-PR (adaptado) – O filo Chordata não é o filo com o maior número de espécies, porém seus integrantes apresentam variações anatômicas, fisiológicas e comportamentais bastante diferentes. Sobre esse assunto, assinale o que for correto.

- As pombas excretam o ácido úrico, que é bastante tóxico, mas pode ser eliminado com pouca água. É uma adaptação à vida terrestre e ao voo.
- O coração de um anfíbio adulto apresenta dois átrios e um ventrículo, e nele ocorre mistura do sangue venoso com o arterial.
- São elementos comuns a todos os cordados: notocorda, fendas faringianas e cauda pós-anal.
- A fosseta loreal permite que, durante a noite, as cascaéis sintam o calor emitido por um organismo endotérmico.

10. Sistema Dom Bosco – Cite algumas das principais características encontradas nas aves que são importantes adaptações à vida em ambientes terrestres secos ou com oferta limitada de água.

11. UEPG-PR – As aves distribuem-se por praticamente todas as regiões do planeta e suas características mais marcantes estão relacionadas ao voo. Com relação à classificação e às características morfoanatômicas, fisiológicas e adaptativas das aves, assinale o que for correto.

- A glândula uropigiana localizada na parte superior da cauda tem uma secreção gordurosa, essencial para a lubrificação das penas e importante para a impermeabilidade do corpo.
- O coração das aves tem quatro câmaras, dois átrios e dois ventrículos completamente separados. A circulação é dupla e não há mistura entre sangue arterial e sangue venoso.
- As aves não possuem bexiga urinária, e os rins eliminam ácido úrico em forma de uma pasta branca, que sai com as fezes. A eliminação contínua de urina e fezes é mais uma adaptação ao voo, pois evita o acúmulo de peso.
- As aves são animais ectotérmicos. Devido a essa característica precisam se movimentar e ficar expostos ao sol para a manutenção da temperatura corpórea.
- Os pequenos dentes das aves implantam-se na derme do bico, sobre a estrutura cartilaginosa do arco maxilar e da mandíbula.

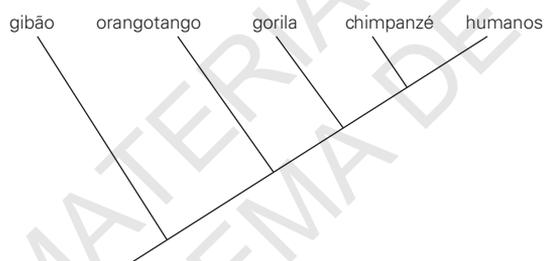
12. UEPG-PR – Com relação a algumas das adaptações dos diferentes tipos de vertebrado, assinale o que for correto.

- 01)** O surgimento das maxilas foi uma importante adaptação das lampreias, pois, com sua parte móvel, permitiram a captura de presas maiores, aumentando a variedade de alimento disponível.
- 02)** Uma das principais adaptações ao voo dos morcegos são os chamados ossos pneumáticos, os quais possuem no seu interior os sacos aéreos.
- 04)** Nas aves, embora leve, o esqueleto adaptado ao voo fornece boa sustentação ao corpo, graças a várias soldaduras entre os ossos, fenômeno chamado anclase.
- 08)** Nos répteis, o ovo amniótico foi uma adaptação importante no sucesso de colonização ao ambiente terrestre.
- 16)** O diafragma surgiu nas aves e é uma adaptação importante no bombeamento do ar nos pulmões.

13. FMJ-SP (adaptado) – Os mamíferos ruminantes apresentam um estômago com quatro compartimentos: rúmen (pança), retículo (barrete), omaso (folhoso) e abomaso (coagulador).

Qual compartimento do estômago dos ruminantes tem o papel análogo ao do estômago humano? Como ocorre a digestão química nesse compartimento do estômago dos ruminantes?

14. UFG-GO (adaptado) – Analise o cladograma a seguir.



Com base no cladograma, é correto afirmar que o

- a)** chimpanzé pertence à família dos humanos.
- b)** gorila evoluiu a partir do orangotango.
- c)** gibão convergiu evolutivamente com o gorila.
- d)** ser humano compartilha o mesmo ancestral do gibão.
- e)** orangotango é ancestral do chimpanzé.

15. UEPA – Leia o texto para responder à questão.

A biodiversidade é definida pela variedade de seres vivos existentes em determinada região. Quanto maior o número de espécies de seres vivos, maior é a biodiversidade nessa região. Pesquisas recentes apontam o número de espécies descobertas cada vez maior, sobretudo no Brasil, embora nem

todas já estejam catalogadas. No geral, o maior número de espécies de vertebrados conhecidos é de peixes (1), seguida de anfíbios (2), de aves (3), de répteis (4) e de mamíferos (5).

Adaptado de: <<http://meioambiente.culturamix.com/natureza/biodiversidade-dos-animais>>.

Quanto aos grupos de animais em destaque no texto, relacione seus números correspondentes com as afirmativas abaixo.

- (a)** Esqueleto cartilaginoso ou esqueleto ósseo com escamas do tipo placoides ou dérmicas.
- (b)** Pele impermeável e seca revestida por uma camada de queratina.
- (c)** Estrutura denominada quilha ou carena onde se prendem músculos.
- (d)** Pele lisa, sem escamas, úmida e com glândulas mucosas.
- (e)** Dentes diferenciados em incisivos, caninos, pré-molares e molares.
- (f)** Apresentam estruturas como glândulas uropigianas, sacos aéreos e ossos pneumáticos.
- (g)** Corpo recoberto por pelos e com glândulas sudoríparas e sebáceas.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- a)** 5a; 3c; 3d; 2f; 1g; 4b; 3c
- b)** 2b; 3a; 1c; 5g; 4c; 3b; 5d
- c)** 1a; 4b; 3c; 2d; 5e; 3f; 5g
- d)** 2g; 4f; 2e; 3d; 4c; 5b; 1a
- e)** 1a; 3b; 1g; 5b; 2g; 4c; 4f

16. Uneb-BA

Atualmente, a comunidade científica admite que certos animais detectam e respondem a campos magnéticos, e que para muitos deles essa capacidade é útil para a sobrevivência. Um sentido magnético tem sido, de fato, bem documentado em muitas espécies – desde migrantes sazonais, como tordos e borboletas-monarcas, até mestres navegadores, como pombos-correios e tartarugas marinhas; de invertebrados, como lagostas, abelhas e formigas, a mamíferos, como toupeiras e focas-elefante; e de minúsculas bactérias a corpulentas baleias.

Nos anos 70, pesquisadores demonstraram que certas bactérias contêm filamentos de partículas microscópicas de magnetitas – uma forma fortemente magnética de óxido de ferro que orienta o organismo inteiro.

(CASTELVECCHI. 2012. p. 29-33).

Considerando-se as características presentes nos grupos animais mencionados no texto, analise as afirmativas e marque **V** para as verdadeiras e **F**, para as falsas.

- Pombos-correios e tartarugas marinhas apresentam semelhanças adaptativas básicas em relação ao ambiente terrestre, como a presença de fecundação interna, ovo de casca dura e anexos embrionários.
- A capacidade de voo dos tordos e das borboletas é considerada uma adaptação por analogia, já que é fruto de uma convergência evolutiva.
- Lagostas, abelhas e formigas apresentam um exoesqueleto quitinoso que acompanha o crescimento desses animais sem a necessidade de ecdises.

- () Toupeiras e focas-elefante, apesar de serem mamíferos, se diferenciam em relação ao tipo de estrutura respiratória, já que a toupeira, que é terrestre, possui pulmões, e a foca, que é aquática, possui brânquias.
- () Tanto as bactérias quanto as baleias apresentam determinadas propriedades que estão presentes em todos os seres celulares, tais como reprodução, evolução, metabolismo e nutrição.

A alternativa que indica a sequência correta, de cima para baixo, é a:

- a) V – V – V – F – F
 b) V – F – F – V – F
 c) V – V – F – F – V
 d) F – F – F – V – V
 e) F – V – V – F – F

17. PUC-RJ – Entre as características compartilhadas pelos seres humanos com os demais mamíferos, podemos citar:

- a) glândulas sudoríparas, sebáceas e mamárias; dentes incisivos, caninos, pré-molares e molares; respiração diafragmática; cuidado parental.
- b) pelos; ouvido médio com dois ossículos (martelo e bigorna); coração com três câmaras; esterno com quilha.
- c) dentes incisivos, caninos, pré-molares e molares; endotermia; respiração diafragmática; amônia como principal excreta.
- d) pelos; glândulas sudoríparas, sebáceas e mamárias; ectotermia; ouvido médio com três ossículos (martelo, bigorna e estribo).
- e) ouvido médio com três ossículos (martelo, bigorna e estribo); amônia como principal excreta; ectotermia; cuidado parental.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFPel-RS

C4-H14

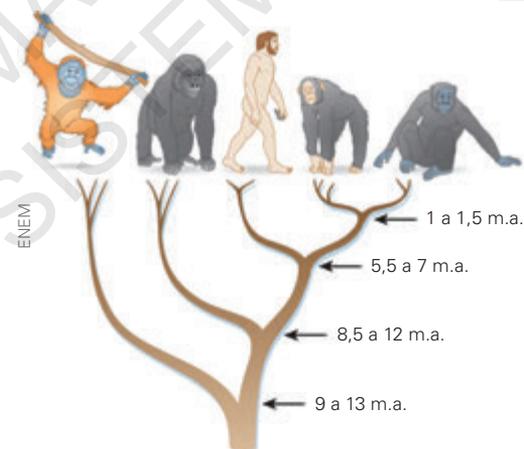
É comum vermos aves de ambientes aquáticos como patos, marrecões, marrecos, biguás e cisnes ficarem algum tempo pressionando com o bico a região caudal do uropígio. Assim, com a extremidade do bico extraem e distribuem sobre as penas uma substância oleosa produzida por um par de glândulas denominadas uropigianas. A secreção proveniente dessas glândulas exerce diversas funções no mecanismo de vida das aves.

Com base no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que são funções dos óleos produzidos pelas glândulas uropigianas

- a) impermeabilizar as penas, dificultar o acesso de ectoparasitos e propiciar melhor deslocamento durante o voo.
- b) evitar o encharcamento das penas, aumentar a perda de calor quando em atividade de voo e facilitar a transpiração.
- c) estabelecer maior união entre as penas evitando a passagem de ar, facilitar a flutuação durante o nado e impedir a penetração de ectoparasitos.
- d) fornecer flexibilidade e impermeabilidade às penas, por armazenar ar entre elas e diminuir o peso corpóreo.
- e) facilitar a flutuação, impermeabilizar as penas e diminuir as perdas de calor corpóreo.

19. Enem

C4-H16



A árvore filogenética representa uma hipótese evolutiva para a família Hominidae, na qual a sigla “m.a.” significa “milhões de anos atrás”. As ilustrações representam, da esquerda para a direita, o orangotango, o gorila, o ser humano, o chimpanzé e o bonobo.

Disponível em: <www.nature.com>. Acesso em: 6 dez. 2012 (adaptado).

Considerando a filogenia representada, a maior similaridade genética será encontrada entre os seres humanos e

- a) gorila e bonobo.
 b) gorila e chimpanzé.
 c) gorila e orangotango.
 d) chimpanzé e bonobo.
 e) bonobo e orangotango.

20. UFRGS-RS

C8-H28

Em agosto de 2013, foi divulgada a descoberta de um mamífero, o olinguito, que parece uma mistura de gato doméstico e urso de pelúcia, nativo das florestas da Colômbia e do Equador.

Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/ciencia/noticias/americano-olinguito-e-o-mais-novo-mamifero-descoberto>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

Sobre esse mamífero, pode-se afirmar que deve necessariamente apresentar

- a) sistema circulatório duplo.
 b) glândulas uropigianas.
 c) pecilotermia.
 d) glândulas mamárias com origem endodérmica.
 e) notocorda como principal estrutura de sustentação.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



MATERIAL DE USO EDUCACIONAL DO SISTEMA DE ENSINO EM BOSCO

BIOLOGIA 3

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS



SISTEMA RESPIRATÓRIO E SISTEMA CIRCULATÓRIO COMPARADO

- Respiração
- Comparação entre os sistemas de respiração dos animais
- Sistema respiratório humano
- Sistema circulatório comparado
- Classificação do sistema circulatório

HABILIDADES

- Compreender as características e as funções gerais do sistema respiratório.
- Reconhecer comparativamente os diversos padrões de respiração dos animais.
- Identificar os órgãos e as estruturas que fazem parte da respiração de seres humanos.
- Entender as diferenças entre os mecanismos de trocas gasosas, de ventilação pulmonar e de controle do processo respiratório.
- Observar os diversos padrões de circulação que ocorrem nos animais, comparando-os com o dos seres humanos.
- Reconhecer as diferenças morfológicas entre artérias, veias e capilares.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, entre outros.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), um terço da população mundial adulta (aproximadamente 1 bilhão e 200 milhões de pessoas) é fumante. O cigarro, além de nicotina, alcatrão e monóxido de carbono, contém mais de 4 mil substâncias tóxicas e é considerado a principal causa de óbito evitável do mundo, causando a morte de 20 milhões de pessoas anualmente.

O cigarro não faz mal somente aos pulmões, afeta também as vias respiratórias como um todo. O aparelho respiratório não suporta a toxicidade nem a alta temperatura da fumaça. O epitélio de revestimento desses órgãos começa a produzir mais muco, a fim de expelir os elementos inalados e aumentar a taxa de renovação celular dessas regiões. Nos brônquios, a fumaça provoca uma reação inflamatória, causando a destruição progressiva da estrutura dos bronquíolos. Além desses malefícios, o cigarro promove também o aumento da chance de morte por câncer de boca e pulmão, por doenças do coração, bronquite e enfisema, causa impotência sexual e infertilidade, dependência física e psíquica, entre vários outros efeitos colaterais.

Todos os prejuízos à saúde não são exclusivos dos fumantes ativos, de modo que as pessoas que convivem de perto com fumantes – chamadas de fumantes passivos – também são amplamente afetadas, aumentando a chance de desenvolverem doenças respiratórias crônicas (sinusite, bronquite e asma, bem como crises de falta de ar), câncer de pulmão etc.

Além de ser considerado um sério problema de saúde pública, o tabagismo é um grande problema ambiental, já que as pontas de cigarro representam grande parte do lixo recolhido nas ruas. E, ainda, são muitos os incêndios causados por pontas de cigarro acesas descartadas incorretamente.



Ilustração do impacto do cigarro sobre os bronquíolos no corpo humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Respiração

O termo **respiração**, em Biologia, pode se relacionar a dois processos: à **respiração celular**, que envolve a quebra (oxidação) de moléculas orgânicas para a geração de energia, e à respiração como mecanismo de **trocias gasosas** entre as estruturas respiratórias e o ambiente, que corresponde aos sistemas de obtenção de oxigênio e eliminação de gás carbônico. Os dois processos estão relacionados entre si, pois a participação do oxigênio nas reações da respiração celular depende de sua absorção nas vias respiratórias.

O sistema respiratório tem como função conduzir o ar para os locais onde são realizadas as trocas gasosas, sendo também responsável pela oxigenação sanguínea, pela retirada do CO_2 proveniente do metabolismo celular do sangue para o meio exterior e pela passagem de ar por meio das cordas vocais, propiciando a fala.

TROCAS GASOSAS

As trocas gasosas são realizadas pelo processo de **difusão**, isto é, o gás passa do meio onde está em maior concentração para onde sua concentração é menor. Assim, nos organismos aquáticos, como os peixes, o oxigênio é difundido da água para as brânquias, e o gás carbônico, das brânquias para a água. Nos animais terrestres pulmonados, o oxigênio é difundido do ar para os pulmões, e o gás carbônico, dos pulmões para o ar.

As trocas gasosas podem ocorrer em células ou em órgãos adaptados, mas todos os locais de troca gasosa apresentam superfície permanentemente úmida, ricamente vascularizada e com grande superfície de contato, que são fatores essenciais para o processo de respiração.

Comparação entre os sistemas de respiração dos animais

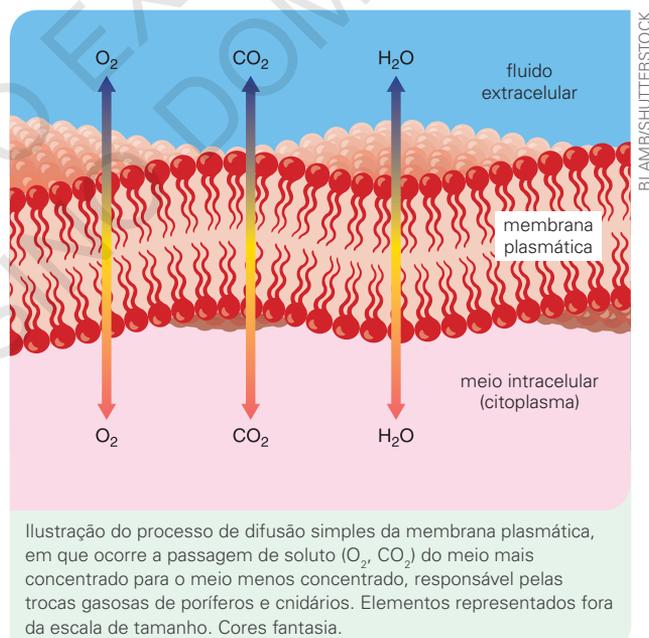
O sistema respiratório sofreu muitas adaptações ao longo da evolução das espécies e apresenta grande eficiência nos mecanismos de trocas gasosas com o ambiente.

A transição dos répteis da vida aquática para a terrestre representou uma revolução na maneira como esses animais realizam suas trocas gasosas, já que o ar é mais rico em oxigênio que a água. Na atmosfera atual, cerca de 21% do ar é oxigênio; na água, mesmo saturada de oxigênio, essa proporção não passa de 0,4%. Além disso, a água é muito mais densa que o ar, de modo que processá-la requer maior gasto energético.

Componentes do ar atmosférico atual

Gases atmosféricos	Quantidade aproximada
Nitrogênio (N_2)	78%
Oxigênio (O_2)	21%
Gases nobres	0,91%
Gás carbônico (CO_2)	0,03%

Os poríferos e os cnidários não têm órgãos especializados para a respiração e realizam, portanto, as trocas gasosas entre as células e o meio por **difusão simples**, processo pelo qual recebem oxigênio e eliminam gás carbônico diretamente para o ambiente na superfície corporal. Platelminhos e nematódeos, mesmo sendo em sua maioria anaeróbios, também realizam suas trocas gasosas por meio da difusão simples. Em animais com maior atividade metabólica ou de maior tamanho, o processo de difusão simples não é capaz de atender à demanda energética por ser um processo muito lento.



Os anelídeos apresentaram as primeiras estruturas respiratórias. Esses animais fazem suas trocas gasosas por meio da **respiração cutânea**, que difere da difusão simples por utilizar o sangue como veículo de transporte para os gases associado aos pigmentos sanguíneos, como a hemoglobina.

No filo dos artrópodes, os insetos têm corpos revestidos por quitina, substância com função impermeabilizante que impede a difusão de gases pela superfície corpórea e, por isso, a respiração é **traqueal**. Assim, a comunicação com o exterior é feita por meio dos espiráculos, tornando a respiração independente do sistema circulatório, uma vez que permite o contato direto do ar atmosférico com as células sem a presença de pigmentos, o que torna esse processo mais eficiente.

Alguns animais que fazem parte desse grupo apresentam adaptações de acordo com o ambiente e a estrutura corporal, como é o caso dos aracnídeos, cujos pulmões foliáceos caracterizam a **respiração filotraqueal**. Já os crustáceos, por serem animais aquáticos, apresentam brânquias, o que caracteriza a **respiração branquial** com transporte de gases no sangue.

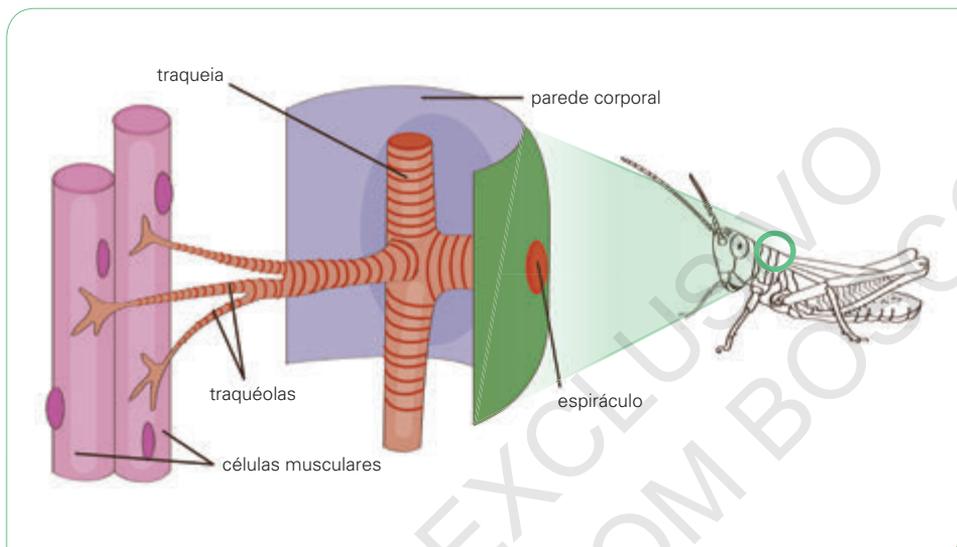


Imagem ilustrativa da respiração traqueal de insetos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

A maioria dos moluscos realiza **respiração branquial**, com exceção de alguns gastrópodes terrestres (lesmas e caracóis), que, ao se adaptarem ao ambiente terrestre, tiveram a cavidade de seu manto transformada em **saco pulmonar**, tipo primitivo de pulmão. São considerados primitivos porque não contam com mecanismos de renovação do ar interior. Moluscos bivalves, como os mexilhões, têm brânquias revestidas de muco que servem como mecanismo de captura de alimentos, além de realizarem trocas gasosas. Nesses animais desprovidos de pigmentos respiratórios, os gases são dissolvidos no sangue.

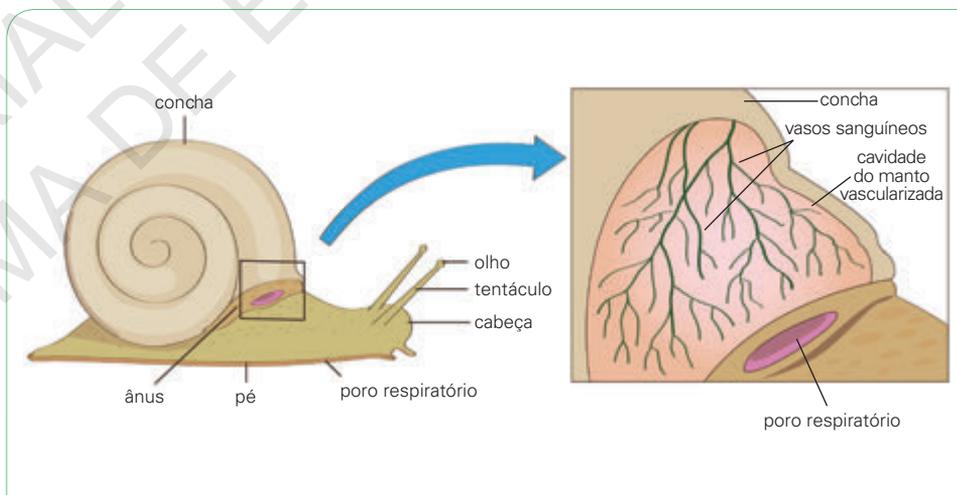


Ilustração da anatomia do saco pulmonar de moluscos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os equinodermos respiram por meio de **brânquias dérmicas** ou **pápulas** – pequenas e delicadas projeções para fora do corpo, entre os espinhos. As pápulas são estruturas do sistema hidrovascular, também chamado de ambulacral, formado por conjuntos de canais por onde circula a água com função de trocas gasosas e locomoção; as pápulas também são responsáveis pela excreção.

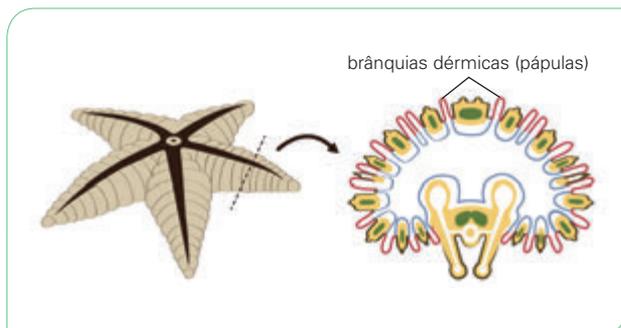


Ilustração esquemática da respiração branquial de equinodermos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

As brânquias são formadas por uma grande quantidade de filamentos permeáveis aos gases, os filamentos branquiais, que permitem as trocas gasosas em ambientes aquáticos e, em alguns casos, também a respiração aérea, por estarem localizados em cavidades recobertas, que evitam a desidratação. As brânquias estão presentes em animais como poliquetas, tatuzinhos-de-jardim e crustáceos. São recobertas por **opérculos**, nos peixes ósseos, e por **câmaras branquiais**, nos caranguejos.

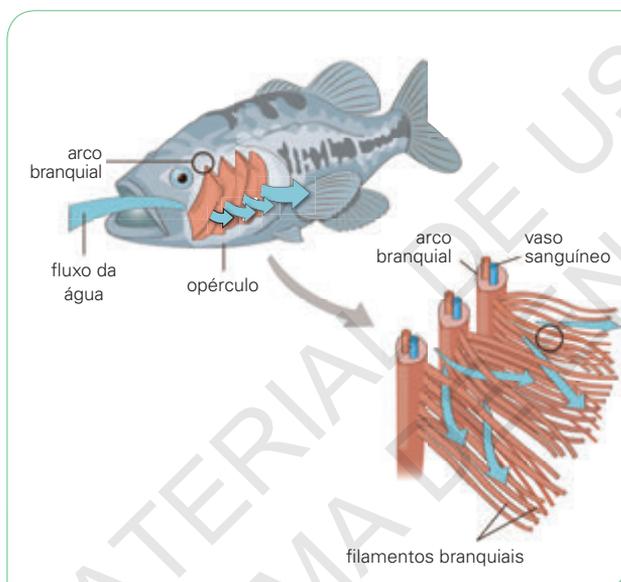
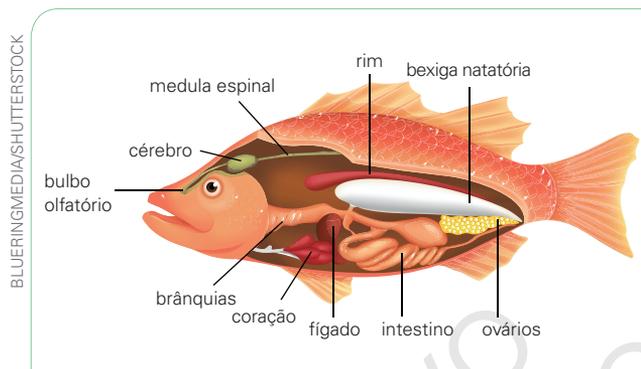


Ilustração esquemática da anatomia das brânquias de peixes. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Nos peixes, a água com oxigênio entra pela boca, passa pelas brânquias e sai pelo opérculo. O sangue e a água fluem em sentidos opostos para permitir melhor oxigenação, o que é chamado de **mecanismo contracorrente**. Fora da água, os peixes morrem asfixiados porque os filamentos branquiais se aglutinam, impossibilitando as trocas gasosas. A maioria dos peixes tem uma estrutura anexa chamada **bexiga natatória**, formada de uma evaginação do trato digestivo, responsável por armazenar gases provenientes do sistema respiratório para promover sua flutuabilidade na coluna de água.



Anatomia do sistema respiratório de peixe ósseo fêmea. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os **pulmões** são encontrados em anfíbios adultos, répteis, aves e mamíferos. São cavidades internas, para as quais o O_2 é lançado. Nos vertebrados pulmonados existe um tubo condutor de ar, a **traqueia**, dotado de um mecanismo valvular, a **glote**. A presença de **narinas** possibilita que os animais respirem com a boca fechada. Os anfíbios adultos têm pulmões simples, com pequena superfície interna, que emergem diretamente da faringe. Nesses animais, as trocas gasosas também ocorrem intensamente através da pele, que é delgada e bastante vascularizada – **respiração cutânea**. A participação relativa da respiração pulmonar e da respiração cutânea na oxigenação do sangue dos anfíbios depende de fatores ambientais e aumenta com a elevação da temperatura e da umidade relativa do ar.

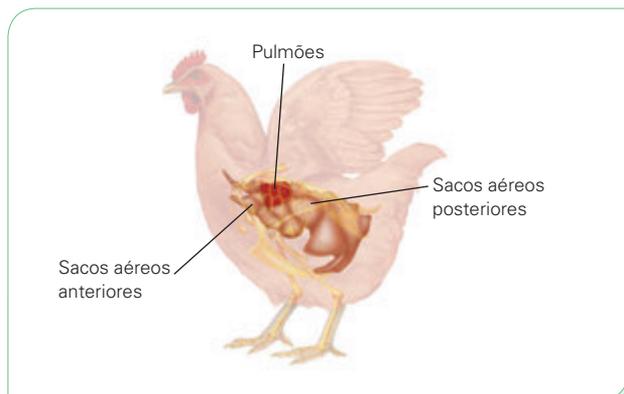
BIOSPHOTO / ALAMY STOCK PHOTO



Axolotes (*Ambystoma mexicanum*) são anfíbios endêmicos do México que apresentam três pares de brânquias externas, o que aumenta sua área de trocas gasosas.

Os répteis dependem exclusivamente da **respiração pulmonar**, com exceção dos quelônios (tartarugas, cágados e jabutis), cuja cloaca é ricamente vascularizada e contribui para o processo de trocas gasosas. Os pulmões deles são internamente segmentados e maiores que os pulmões lisos dos anfíbios. As aves apresentam pulmões desprovidos de alvéolos e formados por milhões de **parabronquíolos** – túbulos pelos quais o ar circula e onde são realizadas as trocas gasosas. Em mamíferos, a área de troca gasosa é ampliada pela presença de milhões de **alvéolos pulmonares**, localizados nos sacos aéreos anteriores e posteriores.

Evolutivamente, desde a bexiga natatória dos peixes até o pulmão alveolado dos mamíferos, houve expansões de superfície dessas estruturas e aumento na eficiência das trocas gasosas. Os pulmões dos vertebrados podem encher e esvaziar, renovando o ar interior, por isso são chamados de **pulmões de ventilação**. Esse processo elimina o ar saturado de CO_2 e obtém o ar rico em O_2 , que os torna mais eficazes que os pulmões de difusão dos gastrópodes terrestres.



Estruturas do sistema respiratório da galinha. Em vermelho, os pulmões associados aos sacos aéreos. Além de reduzir sensivelmente o peso da ave, os sacos aéreos asseguram a ingestão de oxigênio necessária para o voo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

BSIP SA / ALAMY STOCK PHOTO

Sistema respiratório humano

No sistema respiratório humano, o ar segue o trajeto pelos seguintes órgãos: entra pelo nariz, atinge a cavidade nasal, passa pela laringe, faringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e chega aos alvéolos pulmonares, onde ocorrem, de fato, as trocas gasosas.

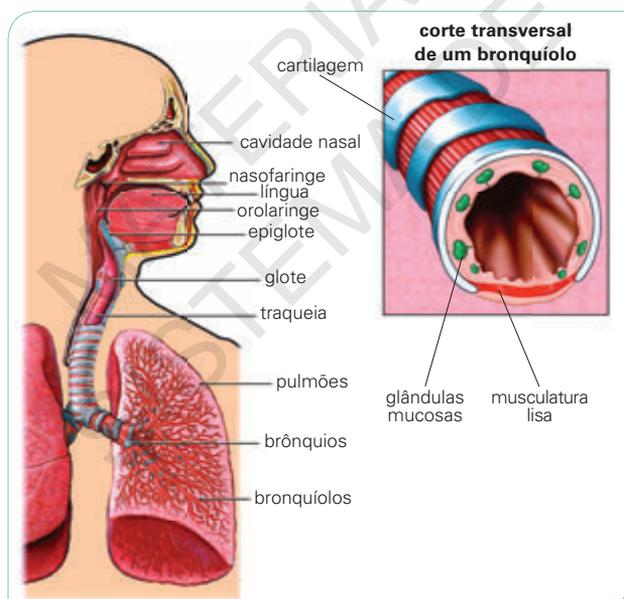


Ilustração dos componentes do sistema respiratório humano com destaque para as estruturas internas dos bronquíolos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

NUCLEUS MEDICAL MEDIA INC / ALAMY STOCK PHOTO

Na **cavidade nasal** estão presentes terminações nervosas especializadas na captação de odores, além de pelos, cílios e muco, que umedecem, aquecem e filtram o ar. Os microrganismos presentes no ar são parcialmente barrados por muco e pelos nasais. Da cavidade nasal, o ar vai para a **faringe**, estrutura comum ao tubo digestório, passa para a **laringe**, onde estão presentes a **epiglote** (lâmina que fecha a ligação da laringe com a **glote** durante a deglutição de alimentos) e as **pregas vocais** (chamadas de cordas vocais na terminologia antiga), estruturas responsáveis pela produção de voz. A fala depende da passagem do ar pela laringe. A entrada de ar faz vibrar as pregas vocais, produzindo o som.

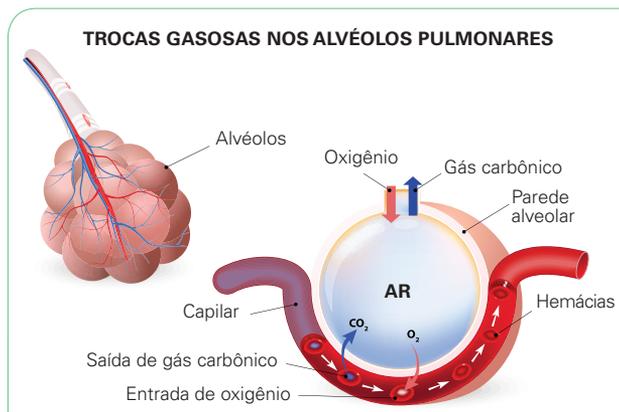
Depois de passar pela laringe, o ar se direciona para a traqueia, um tubo que termina em bifurcações chamadas de **brônquios**. Essas estruturas são protegidas por anéis cartilagosos que impedem seu colapso na entrada do ar. Os brônquios, por sua vez, ramificam-se no interior dos pulmões em **bronquíolos**, formando a chamada **árvore respiratória** ou **bronquial**.

Os **pulmões** são os maiores órgãos do sistema respiratório, ocupando praticamente toda a cavidade torácica. São revestidos pela **pleura**, uma membrana dupla. Nas extremidades dos bronquíolos estão mais de 350 milhões de **alvéolos pulmonares**, formados por camadas finas de células envoltas por capilares, nos quais ocorre a oxigenação sanguínea.

HEMATOSE

Nos humanos, assim como nos demais vertebrados, os sistemas respiratório e circulatório atuam em conjunto. O sistema respiratório é responsável pelas trocas gasosas e pela oxigenação do sangue, enquanto o sistema circulatório é responsável pelo transporte desses gases pela corrente sanguínea.

O processo de oxigenação do sangue nos órgãos respiratórios é denominado **hematose**. Nos animais pulmonados, esse processo ocorre nos alvéolos pulmonares, onde o sangue rico em gás carbônico é oxigenado. O sangue oxigenado é direcionado ao coração para que seja enviado ao resto do corpo. Os órgãos, por sua vez, encaminham ao coração sangue rico em gás carbônico, que será mandado aos pulmões para sua oxigenação.



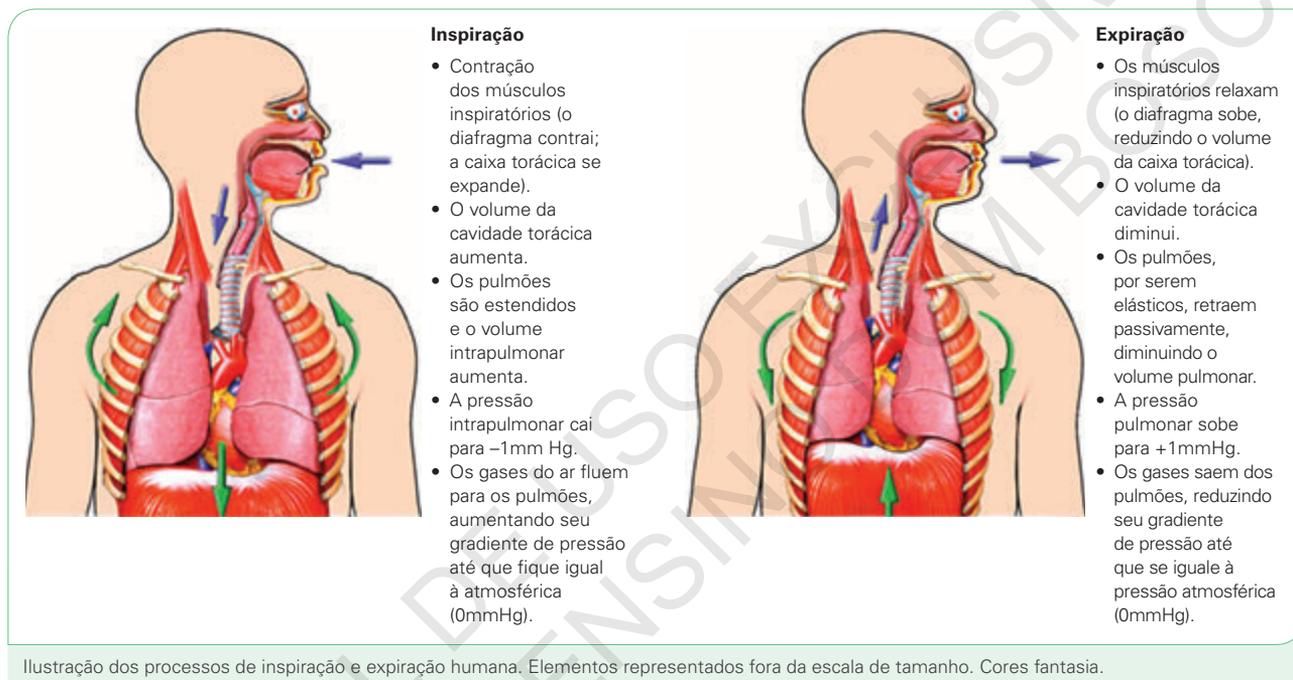
Na ilustração, notam-se as trocas gasosas nos alvéolos pulmonares. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

TTSZ/STOCKPHOTO.COM

VENTILAÇÃO PULMONAR

A renovação do conteúdo aéreo dos pulmões é chamada de **ventilação pulmonar** e se faz de diferentes maneiras. Nos anfíbios, o ar é insuflado para dentro dos pulmões pela contração dos músculos da boca e da faringe, estando as narinas fechadas e a glote aberta. Nos demais vertebrados pulmonados, a **inspiração** (fase de enchimento dos pulmões) e a **expiração** (fase de esvaziamento) resultam da modificação do volume da cavidade torácica, produzida pela contração dos músculos intercostais. Além disso, os mamíferos dispõem do diafragma – músculo que separa a cavidade torácica da abdominal.

A inspiração e a expiração movimentam músculos próximos aos pulmões e ao diafragma, tornando possível a entrada e a saída do ar no sistema respiratório.

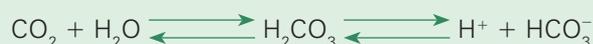


Controle da respiração

Ao contrário dos batimentos cardíacos, a respiração pode estar parcialmente sob controle voluntário. Somos capazes de prender a respiração para fazer um mergulho curto em apneia, por exemplo. Entretanto, a frequência e a amplitude da respiração são controladas por um grupo de neurônios localizados no bulbo raquidiano (constituente do centro respiratório), de onde são transmitidos sinais para nervos de origem na medula espinal que controlam o diafragma e os músculos intercostais.

Três parâmetros permanentemente monitorados pelo centro respiratório podem interferir na atividade respiratória: pH do plasma sanguíneo, concentração de gás carbônico no sangue (também chamada de pressão parcial de CO_2) e concentração de oxigênio no sangue (pressão parcial de O_2). Em indivíduos normais, o pH do plasma sanguíneo oscila em torno de 7,4, levemente alcalino. A queda para níveis inferiores a 7,36 chama-se **acidose**; a elevação acima de 7,44, **alcalose**.

Uma das mais importantes causas de acidose é o aumento da concentração de gás carbônico no sangue, que se associa à água e produz ácido carbônico (H_2CO_3), que, ao se dissociar, forma H^+ , principal fator de alteração do pH sanguíneo.



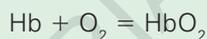
Impacto do pH sanguíneo e da concentração de gases na respiração

Parâmetro		Ação sobre o centro respiratório	Ação sobre a frequência e a amplitude respiratória
Concentração de CO ₂	Alta	Excita	Aumenta
	Baixa	Deprime	Diminui
Concentração de O ₂	Alta	Deprime	Diminui
	Baixa	Excita	Aumenta
pH do plasma	Acidose (pH < 7,36)	Excita	Aumenta
	Alcalose (pH > 7,44)	Deprime	Diminui

Transporte de gases

Com a melhor adaptação do sistema respiratório dos animais ao longo da evolução, surgiram os **pigmentos respiratórios**, como a **hemoglobina (Hb)**, presente no interior das hemácias do sangue dos vertebrados, e a **hemocianina**, dissolvida na hemolinfa dos artrópodes. Essas substâncias são capazes de se ligar aos gases envolvidos na respiração e transportá-los pelo corpo.

A hemoglobina é uma proteína cuja estrutura contém o grupo heme, que acomoda ferro. Quando as hemácias alcançam os pulmões, o oxigênio do ar alveolar se difunde para o interior dos capilares. Cada molécula de hemoglobina se liga com quatro moléculas de oxigênio, formando a **oxiemoglobina (HbO₂)**, que segue pela corrente sanguínea e oxigena os tecidos.



Nos mamíferos placentários (girafa, golfinhos, humanos etc.), o feto tem hemoglobina F, que apresenta mais afinidade com o oxigênio que a hemoglobina A, presente no adulto. Por isso, o sangue fetal consegue retirar o oxigênio do sangue materno que chega à placenta. Após o nascimento, a hemoglobina A substitui gradualmente a F. Nos seres humanos, o CO₂ pode estar sob três formas: 7% dissolvidos no plasma, 23% ligados à hemoglobina (HbCO₂) e a maior parte, cerca de 70%, na forma de íons bicarbonato (HCO₃⁻), estes últimos produzidos em duas etapas. Primeiro, o gás carbônico se combina à água e forma o ácido carbônico por reação catalisada pela enzima anidrase carbônica – ácido fraco que dissocia e produz íons bicarbonato e H⁺.

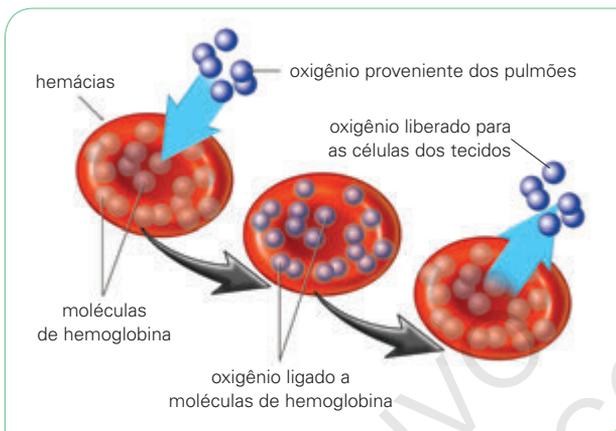


Ilustração do transporte de oxigênio pela hemoglobina dos pulmões para as células e tecidos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os compostos oxiemoglobina e carbohemoglobina são pouco estáveis, propriedade que lhes possibilita ligar e desligar o pigmento respiratório onde o pH for favorável.

Enzima anidrase carbônica



O processo de formação de íons bicarbonato com CO₂ e H₂O funciona como um sistema tampão, evitando variações bruscas do pH sanguíneo, cujo valor deve se manter em torno de 7,4.

Intoxicação por monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, sem gosto e não irritativo proveniente da queima de combustíveis, como o óleo diesel, a gasolina e o carvão. Esse composto apresenta afinidade 210 vezes maior com a hemoglobina que o gás oxigênio (O₂) e, portanto, liga-se intensamente a ela para formar o composto estável carboxihemoglobina (HbCO).

Caso o ar inspirado contenha grande quantidade de monóxido de carbono, este compete com o oxigênio pelos sítios de ligação na hemoglobina, dificultando o transporte de oxigênio dos pulmões para os tecidos, causando tontura, desmaio, asfixia e até morte.

Curva de dissociação do oxigênio da hemoglobina

A afinidade da hemoglobina com o oxigênio pode variar conforme a concentração desse gás. Assim, quando a concentração de O₂ é alta, a hemoglobina une-se mais fortemente a ele. Quando a concentração de O₂ diminui, a afinidade da hemoglobina com o oxigênio diminui e esse gás é liberado (dissociado). Quando o sangue passa pelos capilares pulmonares, o gradiente alvéolo-capilar gera fluxo, aumentando a pressão parcial de oxigênio (PO₂) no plasma, o que causa aumento na afinidade da hemoglobina com o O₂.

Essa é a relação entre a pressão parcial de oxigênio e o grau de saturação da hemoglobina.

Essa relação entre a afinidade da hemoglobina e a concentração de oxigênio é mostrada em uma **curva de dissociação do oxigênio da hemoglobina**, conforme o gráfico ao lado.

Nos pulmões, a hemoglobina fica 98% saturada com a molécula de oxigênio. Ao atingir os tecidos, libera cerca de 28% do oxigênio ligado a ela. Quando o tecido está metabolicamente ativo, como músculos durante exercícios, a hemoglobina pode liberar maior quantidade de O_2 . Conseqüentemente, a taxa respiratória aumenta junto com a liberação de gás carbônico. Isto reduz o pH do meio, induzindo a hemoglobina do sangue a liberar mais oxigênio. Assim, a redução do pH aciona a diminuição da afinidade da hemoglobina pelo oxigênio.

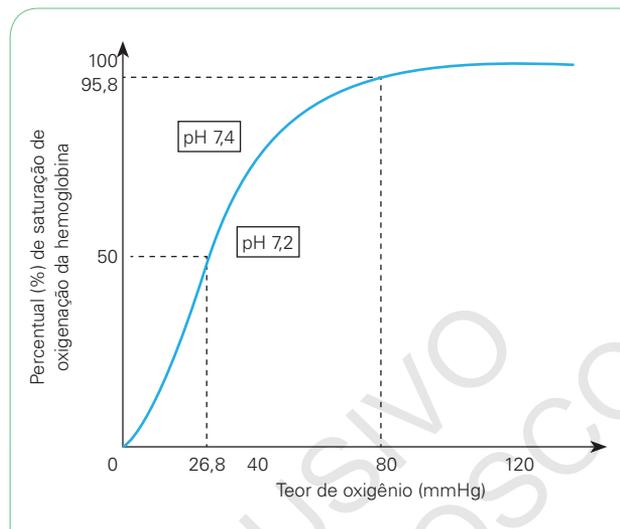


Gráfico que representa a concentração de oxigênio em relação à hemoglobina.

LEITURA COMPLEMENTAR

Em locais de elevada altitude, o ar é mais rarefeito, ou seja, tem menor concentração de O_2 em decorrência da menor pressão atmosférica. Ao viajar para esses locais, é normal uma pessoa sentir alguns sintomas incômodos, como mal-estar, dor de cabeça, náuseas, tonturas, entre outros. Esses sintomas são provocados pela redução da capacidade de produção de ATP pelo processo de respiração celular.

Nosso organismo é capaz de se adaptar em alguns dias a essa nova situação atmosférica. Os principais mecanismos adaptativos são o aumento da frequência respiratória e o aumento na produção de hemácias, a fim de otimizar a capacidade do transporte de oxigênio, possibilitando, assim, a produção de ATP adequada para as atividades celulares em elevadas altitudes.



TARAS KUSHNIR/SHUTTERSTOCK

O metabolismo celular consome oxigênio e nutrientes, e produz gás carbônico e outros resíduos. Em animais pequenos, as necessidades celulares são atendidas pelo processo de difusão. O surgimento de um sistema de transporte eficiente foi um dos fatores evolutivos que possibilitaram que muitos vertebrados atingissem grande porte. Na ausência de um sistema eficiente de transporte, o mecanismo de difusão é lento e eficaz apenas em distâncias muito pequenas. Em animais maiores, as necessidades são supridas por um sistema circulatório, também chamado de sistema cardiovascular. Esse sistema é formado pelo coração e pelos vasos sanguíneos, por meio dos quais o sangue flui e ocorre o transporte de substâncias, hormônios, anticorpos, fatores de coagulação, entre outros.

Apesar de o coração ter a função fisiológica de bombear o sangue para os tecidos, seu tamanho, capacidade de contração e número de cavidades variam entre os grupos animais. O coração pode ser único e chegar a 180 kg, como o das baleias-azuis, ou múltiplos, como o das minhocas, seres que apresentam de 2 a 15 pares de corações ao longo do seu corpo segmentado.

Sistema circulatório: características gerais

O sistema circulatório é responsável pela manutenção da estabilidade celular. A constante circulação de líquido pelo corpo por meio da corrente sanguínea torna presentes os líquidos intersticiais (líquidos entre as células corpóreas) em todas as regiões e auxilia na manutenção de temperatura relativamente uniforme.

Os animais têm dois tipos de circulação: aberta e fechada. Na **circulação aberta**, o líquido circulatório é denominado **hemolinfa** e é bombeado pelo coração. Periodicamente, abandona os vasos e cai em lacunas corporais, onde as trocas ocorrem por difusão de substâncias entre ele e as células. Vagarosamente, o líquido retorna para o coração, que novamente o bombeia para os tecidos. Na **circulação fechada**, o sangue nunca sai dos vasos nem tem contato com as células do corpo, que se situam no **líquido intersticial**. No lugar das lacunas corporais, esses animais apresentam uma rede de **capilares**, vasos de paredes finas por onde ocorrem, de fato, as trocas de substâncias entre o sangue e os tecidos.

A circulação também pode ser classificada de acordo com a quantidade de vezes que o sangue passa pelo coração. Na **circulação simples**, presente nos animais que realizam respiração branquial, o sangue passa uma única vez, e na **circulação dupla**, presente em animais pulmonados, passa duas vezes em uma volta completa. Por fim, a circulação pode ser **incompleta** quando ocorre a mistura de sangue arterial e venoso e **completa** quando o sangue arterial, rico em O_2 , não sofre mistura com o sangue ainda não oxigenado.

Sistema circulatório comparado

CIRCULAÇÃO DOS INVERTEBRADOS

Poríferos (esponjas), cnidários (água-viva), platelmintos (planária) e nematódeos (lombrigas) não possuem sistema circulatório. As trocas de gases, de nutrientes e de excretas, nesses animais, são realizadas pelo processo de difusão. Os cnidários apresentam uma **cavidade gastrovascular** central que atua na digestão e na distribuição de substâncias para todo o corpo do animal.

Artrópodes (insetos, crustáceos, aracnídeos etc.) e a maioria dos moluscos (mariscos, caracóis), com exceção dos cefalópodes, apresentam **sistema circulatório aberto**, também chamado de **lacunar**. Nesse tipo de circulação, os vasos são abertos nas extremidades, permitindo que o coração atue como uma bomba e force a hemolinfa a circular na **hemocele**, cavidade corpórea onde ocorrem as trocas entre o sangue e as células. O relaxamento do coração faz com que a hemolinfa retorne. Os movimentos corpóreos desses animais pressionam periodicamente as cavidades, auxiliando a circulação da hemolinfa.

A **circulação aberta** é eficiente apenas em animais de pequeno porte. O processo de difusão é lento e a falta de estruturas anatômicas de distribuição resulta em baixa pressão, suficiente apenas para alcançar pequenas distâncias. Nos insetos, o sistema circulatório é um **tubo dorsal com múltiplas câmaras**, localizado em posição posterior, e a aorta, vaso de calibre largo, encontra-se em posição anterior. Bombeada pelo coração, a hemolinfa flui pela aorta, ao fim da qual cai na hemocele, entrando em contato com os tecidos do corpo. Retorna ao coração por meio de pequenas aberturas, os **ostíolos**, para ser novamente bombeada. Nesses animais, o sistema circulatório é responsável por mediar as diversas trocas químicas entre os órgãos do corpo, transportando nutrientes, hormônios e metabólitos (excretas).

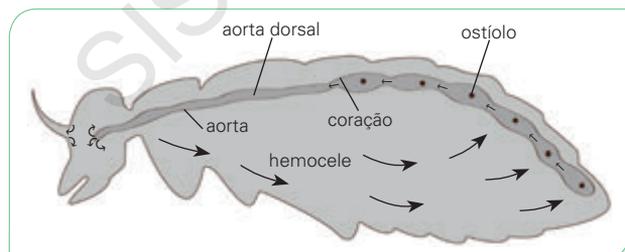


Ilustração da anatomia circulatória de um inseto (artrópode). As setas representam o fluxo de distribuição da hemolinfa. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

No **sistema circulatório fechado**, presente em todos os anelídeos, moluscos cefalópodes e vertebrados, o líquido circulatório é denominado **sangue** e circula exclusivamente em vasos, promovendo maior pressão e rapidez para o fluxo, atingindo grandes distâncias e tornando-o muito mais eficiente no transporte de substâncias. Esses animais possuem um ou mais corações que bombeiam o sangue para dentro de vasos grandes, os quais são ramificados em vasos menores até se infiltrarem nos órgãos.

Os anelídeos possuem hemoglobina, porém não têm hemácias. Cada minhoca tem entre dois e 15 pares de corações para permitir a distribuição do sangue por todo seu corpo. Apresentam grande vaso dorsal, que conduz o sangue para sua parte anterior, e dois vasos ventrais, que conduzem o sangue no sentido oposto. Conectando os vasos dorsal e ventral, algumas espécies têm vasos sanguíneos laterais, conhecidos como corações laterais pela propriedade de contração rítmica. O vaso dorsal e os ventrais também se ramificam em rede de capilares que irrigam e nutrem as diversas regiões do corpo do animal. O sangue que circula nos capilares próximos ao tegumento é capaz de absorver oxigênio e liberar gás carbônico. O sangue também recolhe os metabólitos e as excretas produzidos pelos tecidos internos.

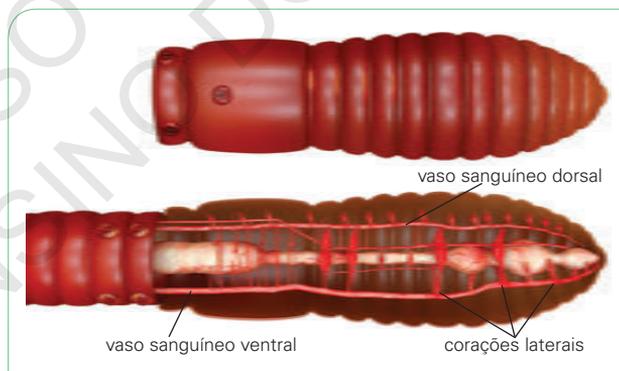


Ilustração do sistema circulatório fechado da minhoca. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os equinodermos não apresentam sistema circulatório. A distribuição de substâncias se faz por meio do **líquido celomático**, líquido incolor que circula pelos canais localizados ao longo do corpo, e também pelo **sistema ambulacral**.

Sistema circulatório dos invertebrados

Filo	Sistema circulatório
Poríferos	Ausente
Cnidários	
Platelmintos	
Nematelmintos	
Artrópodes	Aberto (lacunar)
Moluscos (exceto cefalópodes)	
Anelídeos	Fechado
Moluscos cefalópodes	
Equinodermos	Ausente

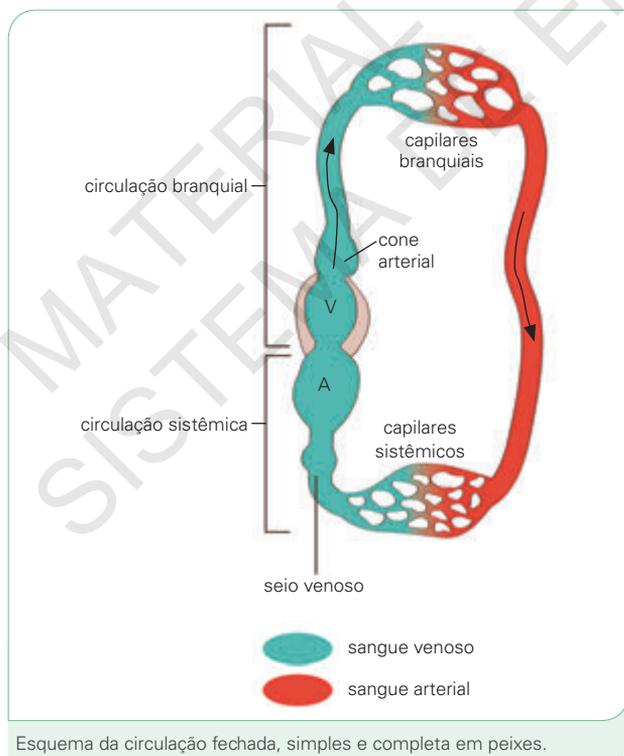
CIRCULAÇÃO NOS VERTEBRADOS

O anfíoxo (subfilo de cordados marinhos) apresenta o **sistema circulatório intermediário**, isto é, entre o aberto e o fechado. Apesar de ter vasos eferentes e aferentes, não possui capilares e o sangue tem o contato direto com as células do corpo. Esses animais não têm coração, apenas um vaso pulsátil localizado em uma região central no corpo do animal.

Peixes

A circulação nos peixes é **simples e completa**, portanto, faz apenas um circuito (coração – brânquias – tecidos do corpo – coração). Em nenhum local ocorre mistura de sangue arterial com o venoso. O coração desses animais é **bicavitário**, formado por duas câmaras, um átrio e um ventrículo, por onde passa apenas sangue venoso, rico em gás carbônico e pobre em oxigênio. O **átrio**, ou **aurícula**, é uma câmara que recebe o sangue vindo dos tecidos, mediante estrutura anterior denominada **seio venoso**, onde várias veias provenientes dos tecidos se encontram e formam uma pequena dilatação. O **ventrículo** (câmara com parede muscular espessa) bombeia o sangue que vem do átrio para a região denominada **cone**, em peixes cartilaginosos, ou para um **espessamento da aorta**, em peixes ósseos.

Por meio da aorta ventral, o sangue é bombeado então para os arcos aórticos, que originam os capilares das brânquias (capilares respiratórios). À medida que flui pelas brânquias, o sangue realiza trocas gasosas com a água, recolhendo oxigênio e liberando gás carbônico, o qual é denominado sangue arterial. Recolhido pela aorta dorsal, o sangue é distribuído para todas as partes do corpo, por meio de vários ramos. Na passagem pelos capilares das brânquias, a pressão é dissipada, tornando relativamente lento o fluxo de sangue pelo corpo.

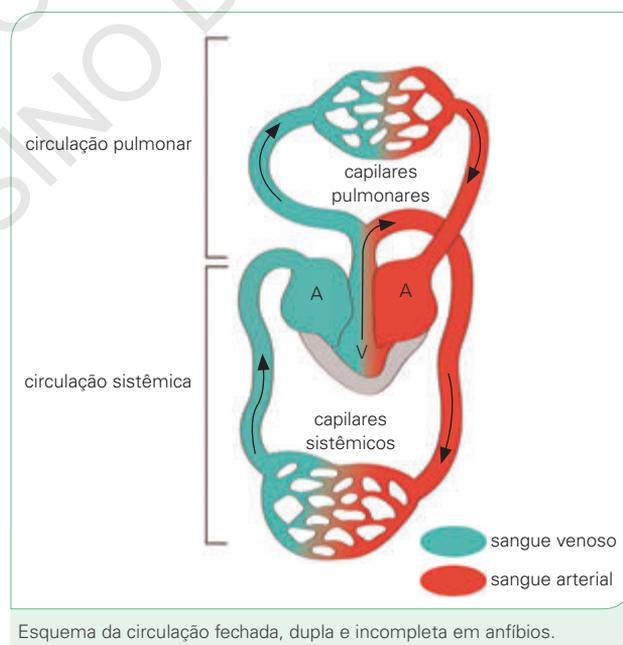


Anfíbios

Simultaneamente ao desaparecimento das brânquias e ao surgimento dos pulmões, ocorreram várias modificações no coração e nos vasos sanguíneos dos anfíbios em relação aos seus ancestrais.

O coração é **tricavitário**, com dois átrios – um que recebe sangue arterial dos pulmões e outro que recebe o sangue venoso dos tecidos. Os dois átrios desembocam no **único ventrículo**, onde o sangue misturado é bombeado pelos troncos arteriais simultaneamente para os pulmões e o restante do corpo. Portanto, a circulação dos anfíbios é dupla e incompleta, ou seja, consiste em uma **pequena circulação** (coração – pulmão – coração) e uma **grande circulação** (coração – tecidos do corpo – coração).

No ventrículo único ocorre mistura dos sangues venoso e arterial. No entanto, ao contrário do que se pode pensar, a mistura de sangue no ventrículo não é tão danosa por dois motivos: **1)** o sangue que vem do corpo é parcialmente oxigenado ao passar pela pele (respiração cutânea); **2)** fatores hidrodinâmicos fazem com que a mistura no ventrículo seja apenas parcial.

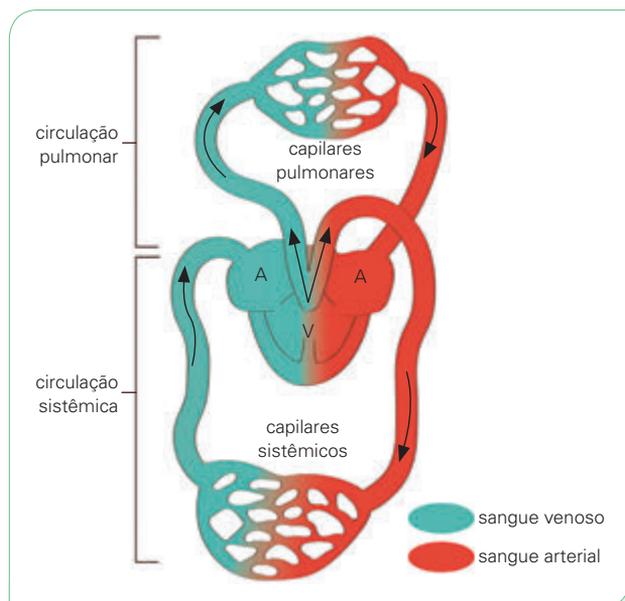


Répteis

Nos répteis, a circulação é dupla e incompleta. É dupla, porque o sangue passa duas vezes (arterial e venoso) pelo coração, e incompleta, porque há mistura de sangue venoso e arterial no ventrículo. O coração dos répteis, em geral, tem dois átrios e um ventrículo parcialmente dividido pelo **septo interventricular** (septo de Sabatier), o qual impede que haja maior mistura entre os sangues arterial e venoso.

Uma exceção a esse padrão ocorre nos répteis crocodylianos, cujo coração tem quatro câmaras, dois

átrios e dois ventrículos, embora haja mistura de sangue no forame de Panizza, intercomunicação entre as artérias aorta e pulmonar. Ocorre a mistura de sangue nas artérias que saem do coração.

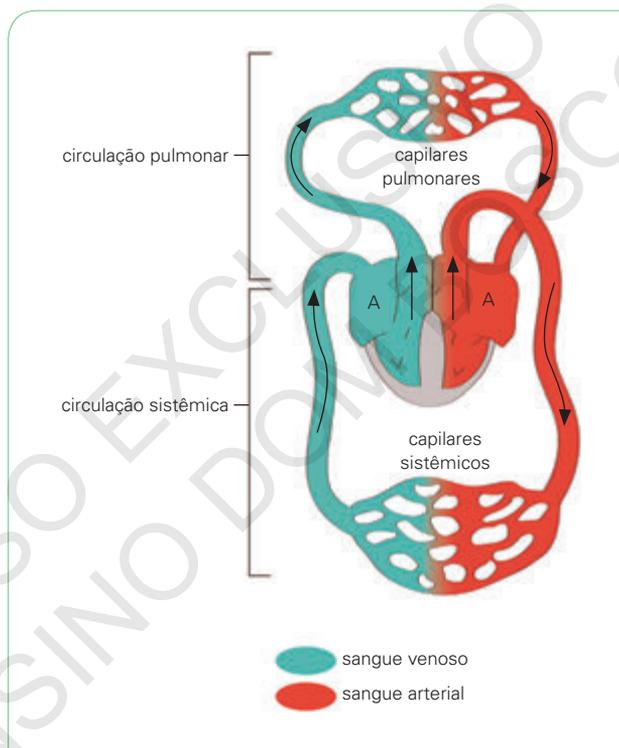


Esquema da circulação fechada, dupla e incompleta em répteis (exceto crocodylianos).

Aves e mamíferos

Aves e mamíferos apresentam circulação dupla e completa. Assim como acontece na circulação dos répteis, o sangue passa duas vezes (arterial e venoso) pelo coração. No entanto, trata-se de uma circulação completa, porque não há mistura de sangue arterial com venoso, uma vez que há dois átrios e dois ven-

trículos no coração desses animais. O sangue venoso proveniente dos tecidos chega ao átrio direito e segue para o ventrículo direito, onde é bombeado para os pulmões. Uma vez oxigenado nos pulmões, o sangue é levado até o átrio esquerdo e, em seguida, ao ventrículo esquerdo, onde é, então, bombeado com plena pressão para os tecidos. Trata-se de um processo bastante diferente do que acontece nos demais padrões de circulação mostrados anteriormente.



Esquema da circulação fechada, dupla e completa em aves e mamíferos.

ROTEIRO DE AULA

RESPIRAÇÃO

TIPOS DE RESPIRAÇÃO

Poríferos, cnidários, platelmintos e nematelmintos

Difusão

Anelídeos

Cutânea

Artrópodes

Insetos

Traqueal

Crustáceos

Branquial

Aracnídeos

Filotraqueal

Moluscos

Maioria

Branquial

Gastrópodes terrestres

Pulmonar

Equinodermos

Pápulas

Branquial

Peixes

Branquial

Anfíbios

Fase larval: brânquias

Branquial

Fase adulta: pele e pulmão

Pulmonar

Répteis

Pulmão

Pulmonar

Aves

Alvéolos

pulmonares

Oxigenação do sangue

Mamíferos

Sistema Respiratório Humano

Hematose

Transporte

Controle

Mecânica

Hemoglobina

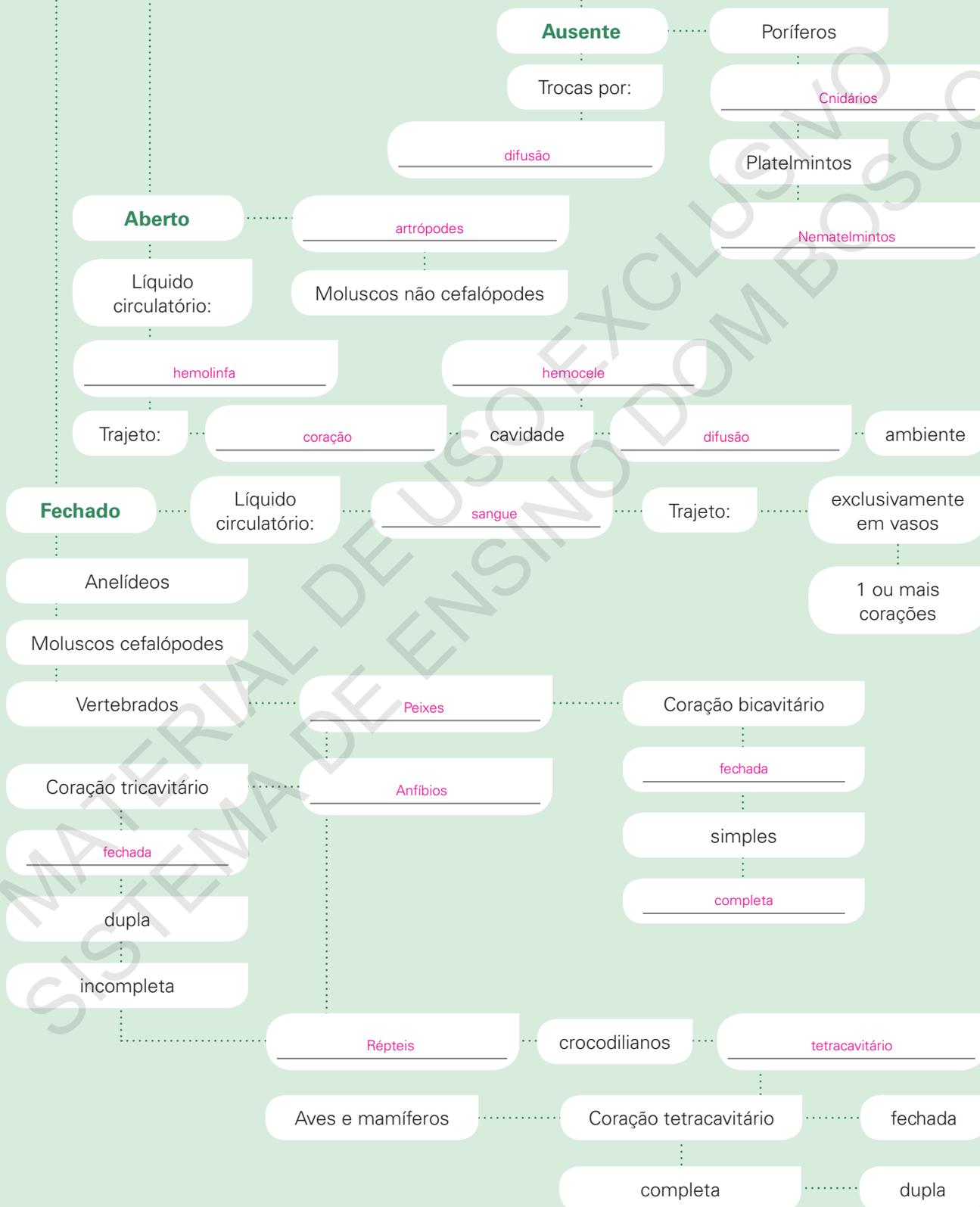
Bulbo

Inspiração

Expiração

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA CIRCULATÓRIO



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. FGV-SP

C4-H13

A tabela mostra a composição gasosa no ar inspirado e no ar expirado por uma pessoa.

Gases	% no ar inspirado	% no ar expirado
Nitrogênio (N ₂)	79,0	79,0
Oxigênio (O ₂)	20,9	14,0
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,03	5,6

Fonte: José Mariano Amabis e Gilberto Rodrigues Martho. *Biologia*. Editora Moderna, 2009.

Com base na fisiologia humana, é correto afirmar que

- as porcentagens de gás nitrogênio inspirado e expirado são iguais, pois o consumo e a produção desse gás são equivalentes no metabolismo celular.
- a maior porção do gás oxigênio inspirado é utilizada como fonte de energia no metabolismo respiratório mitocondrial.
- o aumento da porcentagem de dióxido de carbono no ar expirado decorre do metabolismo celular para produção de energia.
- as diferenças das porcentagens no ar inspirado e no ar expirado são justificadas devido à conversão de gás oxigênio em gás carbônico na respiração celular.
- a diminuição da porcentagem de gás oxigênio no ar expirado se relaciona com a utilização dos átomos de oxigênio para a síntese de biomoléculas.

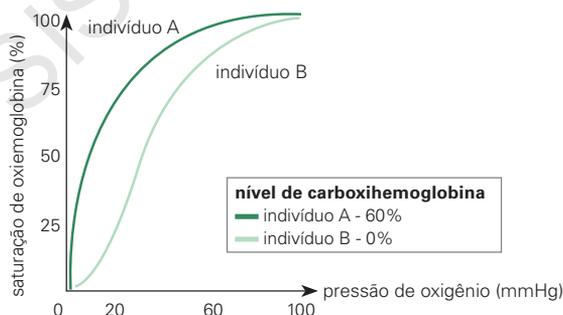
O aumento da taxa de dióxido de carbono no ar expirado decorre da produção desse gás durante o processo de produção de energia pela respiração celular.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

- 2. UERJ (adaptado)** – Em todo o mundo, o tabagismo é considerado a principal causa de morte evitável. Além dos prejuízos causados pela nicotina e outros componentes, os fumantes apresentam um acúmulo de monóxido de carbono (CO) no sangue, que pode levar à hipóxia, ou seja, menor oxigenação dos tecidos.

Considere, no gráfico a seguir, as curvas de saturação da oxiemoglobina de dois indivíduos, A e B, de mesmo sexo, idade, peso e altura. Um desses indivíduos não fuma e o outro é fumante crônico.



Com base na análise das curvas, identifique o indivíduo fumante. Explique, ainda, por que o acúmulo de CO pode levar à hipóxia nos tecidos.

O indivíduo A é fumante. A formação da carboxihemoglobina aumenta

a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio e diminui sua liberação para

os tecidos.

- 3. Fuvest-SP (adaptado)** – Uma pessoa que vive numa cidade ao nível do mar pode ter dificuldade para respirar ao viajar para La Paz, na Bolívia (cerca de 3.600 m de altitude). Ao nível do mar, a pressão barométrica é de 760 mmHg e a de La Paz, 490 mmHg. Qual é o efeito da pressão parcial de oxigênio, em La Paz, sobre a difusão do oxigênio do pulmão para o sangue em comparação com o que ocorre ao nível do mar? Como o sistema de transporte de oxigênio para os tecidos responde a esse efeito após uma semana de aclimação do viajante?

Em La Paz, a pressão parcial do oxigênio é menor do que ao nível do mar,

dificultando a difusão de O₂ para o sangue. Como mecanismo compen-

satório, em grandes altitudes, há um aumento do número de hemácias

pelo tecido hematopoiético mieloide da medula óssea vermelha.

- 4. UTFPR** – Em muitos animais, o sistema respiratório e o sistema circulatório apresentam relação funcional entre si. Em relação aos dois sistemas, considere as proposições a seguir.

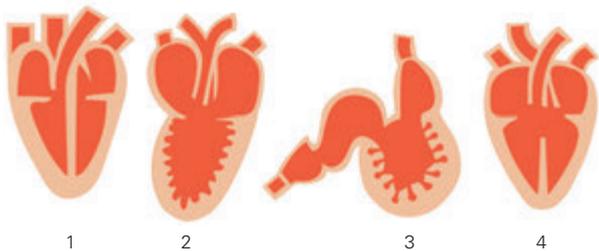
- Hematose é a transformação do sangue venoso em arterial.
- O sangue que chega aos pulmões é sangue arterial e rico em oxigênio.
- A veia pulmonar transporta sangue venoso do pulmão ao coração.
- A artéria pulmonar transporta sangue venoso até o pulmão.

Estão corretas apenas:

- I e II.
- II e III.
- II e IV.
- III e IV.
- I e IV.

A proposição II está incorreta, porque o sangue que chega aos pulmões é venoso, pobre em oxigênio. A proposição III está incorreta, porque a veia pulmonar transporta sangue arterial (rico em oxigênio) dos pulmões para o átrio esquerdo do coração.

5. Fuvest-SP – Os quatro esquemas representam cortes longitudinais de corações de vertebrados.



a) Identifique os grupos de vertebrados cujos corações estão representados pelos esquemas 1, 2, 3 e 4.

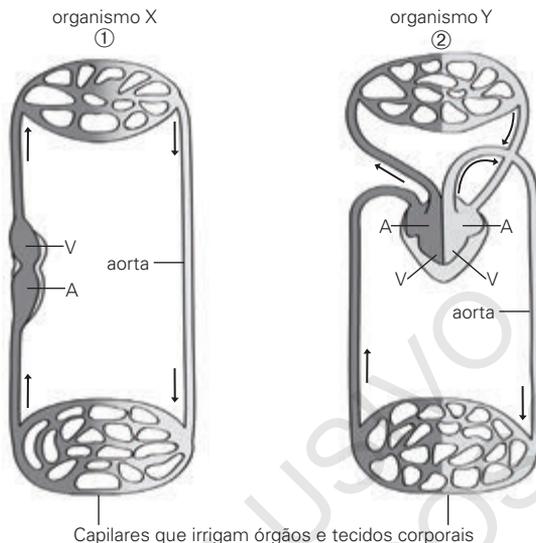
1. aves e mamíferos; 2. anfíbios;

3. peixes; 4. répteis não crocodilianos.

b) Descreva o sentido do fluxo sanguíneo no interior de cada um desses corações e indique se neles ocorre mistura de sangue arterial e venoso.

No coração de aves e mamíferos, o sangue venoso passa do átrio direito para o ventrículo direito, de onde segue aos pulmões. O sangue arterial passa do átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo, de onde segue para os tecidos. Não há mistura de sangue arterial com venoso. No coração dos anfíbios, há mistura de sangue arterial e venoso no único ventrículo. O átrio direito envia sangue venoso para o ventrículo, enquanto o átrio esquerdo envia sangue arterial para o ventrículo. No coração dos peixes, o sangue venoso passa do átrio para o ventrículo e é lançado nas brânquias. No coração dos répteis não crocodilianos, há mistura de sangue arterial com venoso. O sangue venoso passa do átrio direito para o ventrículo direito e o sangue arterial passa do átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo e, então, para os tecidos corpóreos.

6. UEL-PR – Além do transporte de gases, a circulação sanguínea transporta outros solutos, calor e nutrientes. Cada classe de vertebrados tem um tipo muito uniforme de circulação, mas as diferenças entre as classes são substanciais, principalmente quando se comparam os vertebrados aquáticos com os terrestres. As figuras a seguir representam dois tipos de circulação sanguínea observados em vertebrados. A letra V representa os ventrículos e a letra A representa os átrios. As setas indicam a direção do fluxo sanguíneo.



Com base na figura e nos conhecimentos sobre circulação sanguínea, responda aos itens a seguir.

a) Que órgãos são representados pelos números 1 e 2? Cite uma classe animal à qual pode pertencer o organismo X e outra à qual pode pertencer o organismo Y.

O número 1 representa as brânquias e o número 2 representa os pulmões. O organismo X pode ser um peixe ou um anfíbio e o organismo Y pode ser uma ave ou um mamífero.

b) Que vantagens apresenta a circulação dupla completa, no organismo Y, em relação à circulação encontrada no organismo X?

Maior disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, aquisição de níveis metabólicos mais elevados.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UNESP – Na figura, uma demonstração feita com garrafa PET, tubos e balões de borracha simula o funcionamento do sistema respiratório humano.



Sobre o sistema respiratório humano e as estruturas que o representam na demonstração, é correto afirmar que

- o movimento da mão esticando a borracha corresponde ao relaxamento do diafragma, em resposta a estímulos de quimiorreceptores localizados no bulbo, que detectam a baixa concentração de O_2 no sangue e promovem a inspiração.
- o movimento da mão esticando a borracha corresponde à contração do diafragma por ação do bulbo quando o pH do sangue circulante diminui em razão da formação de ácido carbônico no plasma.
- a garrafa PET corresponde à pleura, membrana dupla que envolve os pulmões e que apresenta quimiorreceptores sensíveis a variações de O_2 e CO_2 nos capilares alveolares, desencadeando os movimentos de inspiração e expiração.
- a garrafa PET corresponde à parede da caixa torácica, que, ao manter o volume torácico constante, permite que os pulmões, representados pelos balões, se inflam na inspiração e se esvaziam na expiração, expulsando o ar rico em CO_2 .
- os tubos que penetram na garrafa correspondem à traqueia e aos brônquios, que, embora não apresentem movimentos de contração e relaxamento, favorecendo a movimentação do ar nas vias respiratórias, possuem válvulas que impedem a mistura do ar rico em O_2 com o ar rico em CO_2 .

8. Fuvest-SP – Analise as três afirmações sobre o controle da respiração em humanos.

- Impulsos nervosos estimulam a contração do diafragma e dos músculos intercostais, provocando a inspiração.
- A concentração de dióxido de carbono no sangue influencia o ritmo respiratório.
- O ritmo respiratório pode ser controlado voluntariamente, mas na maior parte do tempo tem controle involuntário.

Está correto o que se afirma em

- I, apenas.
- I e III, apenas.
- III, apenas.
- II e III, apenas.
- I, II e III.

9. USCS-SP – Em um acidente de trabalho, um homem teve seu tórax perfurado e o ferimento permaneceu aberto até que o ferido fosse levado ao hospital. Ao chegar ao hospital, constatou-se que nenhum órgão vital fora atingido e que os músculos respiratórios res-

pondiam aos estímulos para inspirar e expirar. Ainda assim, o ar que chegava aos pulmões era insuficiente e o homem apresentava quadro característico de asfixia.

a) Quais são os músculos que participam dos movimentos que levam à ventilação pulmonar?

b) Explique por que, no acidente descrito, a perfuração no tórax comprometeu a ventilação pulmonar.

10. IFSP – “Asma é o estreitamento dos bronquíolos (pequenos canais de ar dos pulmões), que dificulta a passagem do ar, provocando contrações ou broncoespasmos. As crises comprometem a respiração, tornando-a difícil. Quando os bronquíolos inflamam, segregam mais muco, que aumenta o problema respiratório. Na asma, expirar é mais difícil do que inspirar, uma vez que o ar viciado permanece nos pulmões, provocando sensação de sufoco.”

Disponível em: drauziovarella.com.br/doencas-e-sintomas/asma. Acesso em: 22.10.2012.

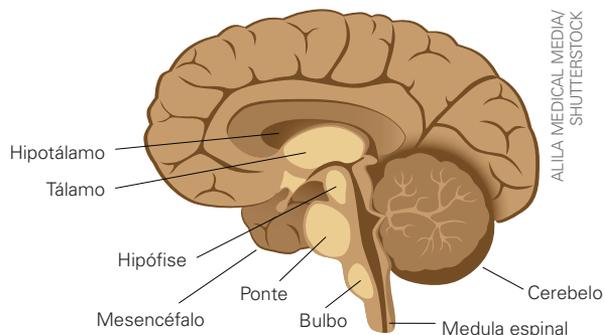
Leia atentamente as seguintes afirmativas sobre o processo de respiração no corpo humano.

- No processo de inspiração, o ar percorre o seguinte caminho pelos órgãos do sistema respiratório: cavidades nasais – faringe – laringe – traqueia – brônquios – bronquíolos – alvéolos pulmonares (pulmões).
- A sensação de sufoco provocada pela asma decorre do fato de a expiração não ser realizada adequadamente, ficando o pulmão carregado com ar rico em CO_2 , o que limita o processo de trocas gasosas adequadas para o organismo.
- O muco e os cílios presentes no epitélio dos bronquíolos têm um papel fundamental na respiração, pois promovem a retenção de partículas e microrganismos do ar, que serão “varridos” em direção à garganta.
- No processo de inspiração, a musculatura intercostal se contrai e o diafragma se eleva, aumentando o volume da caixa torácica, o que permite a entrada de ar nos pulmões.

Está(ão) correta(s) apenas a(s) alternativa(s)

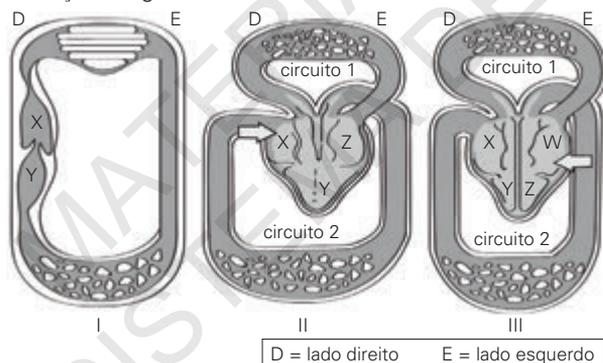
- I.
- I e III.
- II e IV.
- I, II e III.
- II, III e IV.

11. Unisa-SP (adaptado) – A figura ilustra alguns órgãos do sistema nervoso central humano.



O excesso de gás carbônico no sangue desencadeia um mecanismo de controle que, com a participação de um importante órgão do sistema nervoso central (SNC), reduz a concentração desse gás. Explique esse mecanismo de controle e cite o nome do importante órgão do SNC que participa dessa autorregulação.

12. Fuvest-SP – As figuras I, II e III esquematizam a circulação sanguínea em diferentes vertebrados.



a) Analise a Figura II. A partir da cavidade apontada pela seta, ordene as demais cavidades cardíacas e os circuitos 1 e 2, na sequência correspondente à circulação do sangue.

b) Faça o mesmo em relação à Figura III.

c) Qual(is) das três figuras mostra(m) o coração em que há mistura de sangue arterial e sangue venoso?

d) Dê um exemplo de grupo de vertebrados para o tipo de circulação esquematizado em cada uma das três figuras.

13. UEM-PR – Todas as células de um animal precisam receber substâncias nutrientes e gás oxigênio (O₂). O transporte dessas e de outras substâncias pelo corpo do animal ocorre de diversas maneiras. Sobre isso, assinale a(s) alternativa(s) correta(s).

- 01)** A distribuição de substâncias pelo corpo, de célula a célula, conhecida como difusão, é um processo lento, sendo o único mecanismo de transporte em animais pequenos, como poríferos, cnidários e platelmintos.
- 02)** Nos nematóides e turbelários, o gás oxigênio absorvido pela superfície do corpo e os nutrientes assimilados pela parede do tubo digestório difundem-se para o líquido do celoma, atingindo todas as partes do corpo.
- 04)** Os artrópodes têm sistema circulatório aberto e seus vasos fluem um líquido chamado hemolinfa.
- 08)** Em um animal com sistema circulatório fechado, o sangue circula a partir do coração para as artérias, capilares, veias, hemoceles e coração.
- 16)** A distribuição de nutrientes e de gás oxigênio no corpo de uma minhoca é feita pelo sangue.

14. PUC-RJ – Descreva as principais diferenças entre os sistemas circulatórios de peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

15. UDESC – Analise as proposições abaixo, em relação à circulação dos vertebrados e dos invertebrados.

- I. O coração dos peixes possui duas dilatações principais: um átrio e um ventrículo. O sangue com gás carbônico é levado pelas veias para o seio venoso, logo, o sangue é levado para o átrio. O átrio bombeia o sangue para o ventrículo e este o bombeia para o cone arterial ou bulbo arterioso.
- II. Os anfíbios possuem uma circulação fechada e completa, que passa por um coração com duas cavidades (um átrio e um ventrículo).
- III. Nos anelídeos e nos moluscos cefalópodes, a circulação é fechada. O sangue tem um fluxo de circulação que ocorre no interior dos vasos sanguíneos.
- IV. Os répteis possuem um coração com três cavidades. Em alguns répteis, o ventrículo é parcialmente dividido pelo septo de Sabatier.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.

16. UERJ – Os capilares são vasos sanguíneos que permitem, por difusão, as trocas de substâncias, como nutrientes, excretas e gases, entre o sangue e as células.

Essa troca de substâncias é favorecida pela seguinte característica dos capilares:

- a) camada tecidual única.
- b) presença de válvulas móveis.
- c) túnica muscular desenvolvida.
- d) capacidade de contração intensa.

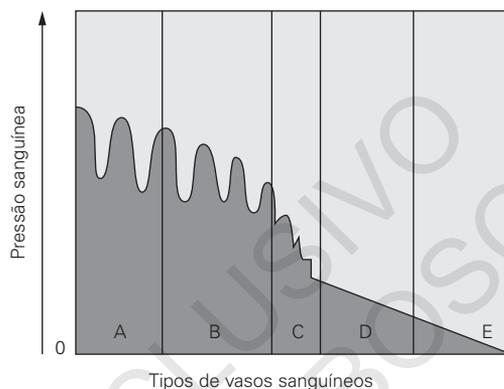
17. Fuvest-SP (adaptado)

A aorta da baleia é de diâmetro maior do que o cano principal do sistema hidráulico da Torre de Londres, e a água

que passa por ali tem menos ímpeto e velocidade do que o sangue que jorra do seu coração.

Herman Melville, *Moby Dick*.

A figura representa a pressão do sangue em seu percurso ao longo do sistema circulatório da baleia. As letras A, B, C, D e E correspondem a diferentes vasos sanguíneos.



Quais são as letras que correspondem, respectivamente, à aorta e às grandes veias?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H14

Hipóxia ou mal das alturas consiste na diminuição de oxigênio (O_2) no sangue arterial do organismo. Por essa razão, muitos atletas apresentam mal-estar (dores de cabeça, tontura, falta de ar etc.) ao praticar atividade física em altitudes elevadas. Nessas condições, ocorrerá uma diminuição na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO_2) em equilíbrio no sangue, conforme a relação:



Mal da montanha. Disponível em: www.feng.pucrs.br. Acesso em: 11. fev. 2015 (adaptado).

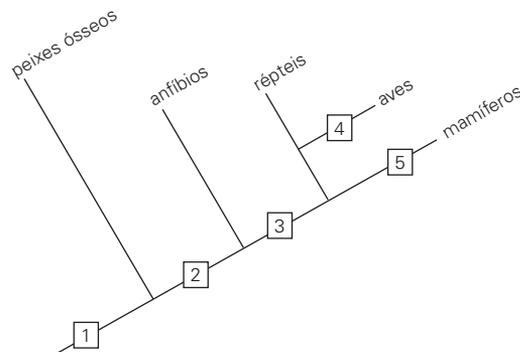
A alta concentração de hemoglobina oxigenada no sangue ocorre por causa do(a)

- a) elevação da pressão arterial.
- b) aumento da temperatura corporal.
- c) redução da temperatura do ambiente.
- d) queda da pressão parcial de oxigênio.
- e) diminuição da quantidade de hemácias.

19. Enem (adaptado)

C5-H17

O cladograma representa, de forma simplificada, o processo evolutivo de diferentes grupos de vertebrados.



O surgimento da característica da respiração pulmonar em todas as fases do desenvolvimento está representado, no cladograma, pelo número

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

20. Sistema Dom Bosco

C4-H14

Não é de hoje que o coração é associado às mais profundas emoções humanas – na verdade, esse conceito é bastante antigo. Existem relatos que comprovam que Aristóteles já se referia ao órgão como o centro das atividades emocionais do corpo humano. Bonito, não? Daí para a representação do amor, foi um pulo. Falando em outras culturas, os egípcios acreditavam que o coração era uma parte do corpo na qual residiam nosso espírito e intelecto. Era o único órgão não retirado dos cadáveres nos processos de mumificação. Já os gregos usavam a mesma simbologia para falar de regeneração – quando

o assunto era o amor mais carnal, a representação era feita pelo deus Eros.

Disponível em: <<https://www.megacurioso.com.br/historia-e-geografia/37031-por-que-o-simbolo-do-coracao-tem-esse-formato-.html>>. Acesso em: jan. 2019.

A estrutura do coração dos animais vertebrados é distinta. Assinale a alternativa correta.

- a) Aves e répteis são tricavitários.
- b) Anfíbios e peixes são bicavitários.
- c) Mamíferos e aves são tetracavitários.
- d) Répteis crocódilianos são tricavitários.
- e) Peixes e anfíbios são tricavitários.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO E SISTEMA URINÁRIO

10

A circulação é um processo vital para nós, humanos. Graças a ela, oxigênio, hormônios, nutrientes e outras substâncias chegam a todas as células de nosso corpo.

O coração é o principal elemento desse sistema. Ele atua como uma bomba, exercendo pressão para que o sangue circule na complexa rede de artérias, arteríolas, veias, vênulas e capilares do corpo.

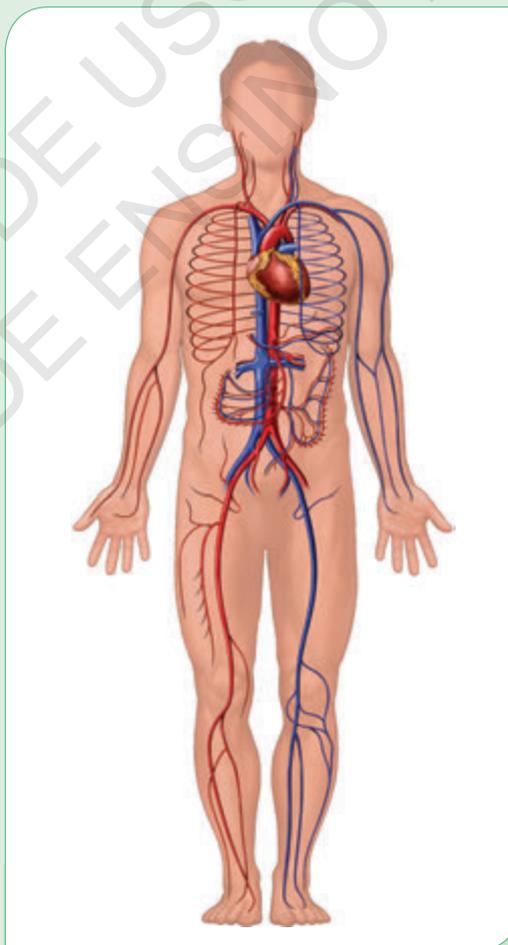
Ao se contrair, o coração impulsiona o sangue para as artérias. É possível perceber esse fluxo pela expansão daquelas próximas à pele, como no pescoço e no punho. Podemos notar os batimentos cardíacos em virtude do processo chamado **pulsção** ou **pulso arterial**. O número de pulsações por minutos corresponde à quantidade de batimentos do coração durante esse mesmo período. A isso chamamos de **frequência cardíaca**.

Se quisermos aferir o pulso de outra pessoa, é importante não usarmos nosso polegar. Como esse dedo tem pulsação própria, sentimos, portanto, nosso pulso.

Uma pessoa em repouso, em geral, apresenta frequência cardíaca de 60 a 80 batimentos por minuto. Em atletas, esse número pode ser menor. Somente um profissional da saúde pode avaliar se valores fora desse intervalo são de fato um problema. Após a prática de exercícios intensos ou sob forte emoção, a frequência da pulsação aumenta, porque o coração bate mais rápido e mais forte. Embora tenha um sistema autônomo, o coração é influenciado pelo sistema nervoso e por alguns hormônios, como a adrenalina.

Sistema cardiovascular

Os principais componentes desse sistema são o sangue, o coração e os vasos sanguíneos.



Esquema do sistema circulatório humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

- Sistema cardiovascular
- Sistema linfático
- Sistema urinário humano
- Controle da função renal
- Formação da urina

HABILIDADES

- Identificar os componentes do sistema circulatório humano e sua relação com o sistema respiratório.
- Reconhecer as diferenças morfológicas entre artérias, veias e capilares.
- Conhecer as principais doenças cardiovasculares humanas.
- Compreender a estrutura do sistema linfático e suas funções.
- Identificar as estruturas e as funções do sistema urinário.
- Compreender o processo de formação da urina e os mecanismos hormonais que controlam essa produção.

VASOS SANGÜÍNEOS

Os diferentes vasos sanguíneos formam uma rede de tubos que conduzem o sangue pelo corpo humano.

As **artérias** são vasos que apresentam três camadas:

- a mais externa é rica em fibras elásticas e colágenas, formada por tecido conectivo;
- a intermediária é composta de musculatura lisa e fibras colágenas;
- a mais interna é originada pelo endotélio (células epiteliais).

Essas camadas espessas, ricas em fibras musculares lisas e elásticas, são responsáveis por conduzir o sangue sob alta pressão do coração para os diversos tecidos e órgãos corporais. A contração e o relaxamento arterial, por sua vez, controlam a pressão sanguínea.

As **veias**, assim como as artérias, são formadas por três camadas:

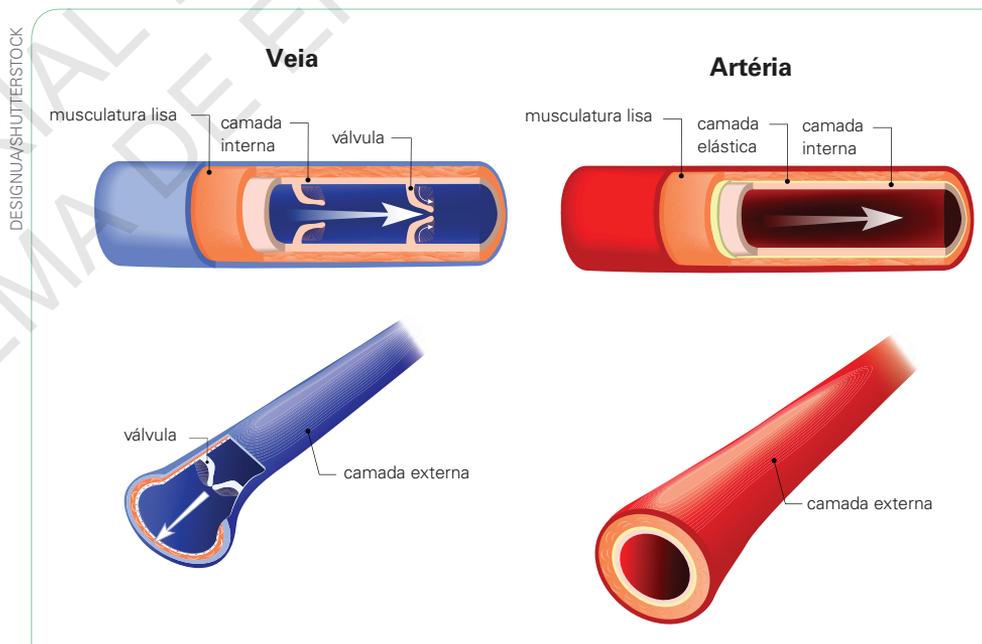
- a interna é composta de células planas sobre uma membrana basal fina de tecido conectivo (endotélio);
- a intermediária é mais resistente, formada por tecido muscular e conectivo;
- a mais externa é menos espessa, com fibras elásticas ausentes.

As paredes musculares das veias são mais finas que as das artérias, porque não auxiliam no impulso do sangue.

O fluxo sanguíneo sob baixa pressão retorna de tecidos e órgãos corporais até o coração. Por também atuarem contra a gravidade, as veias contam com válvulas no interior de suas paredes, e a movimentação da musculatura das regiões inferiores impede o refluxo sanguíneo.

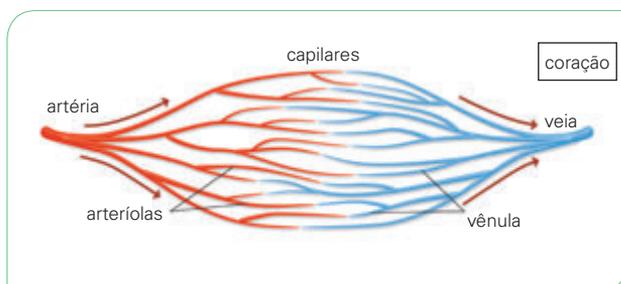
É importante perceber que o fator diferencial entre artérias e veias é a direção do fluxo sanguíneo, e não seu conteúdo (sangue rico em oxigênio ou em gás carbônico). Quando o fluxo sai do coração em direção aos órgãos e tecidos, sempre com muita pressão, o vaso responsável é uma artéria. Quando retorna dos tecidos para o coração, com menos pressão, o vaso responsável é a veia.

No entanto, a veia porta hepática é a exceção desse sistema, porque transporta sangue dos leitos dos capilares do sistema digestório para os leitos capilares do fígado.



Esquema comparando a morfologia de veias e artérias humanas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os **capilares** são as ramificações mais finas dos vasos. Apresentam um pequeno calibre que se interpõe entre artérias e veias. Suas paredes são bem delgadas, e o endotélio tem uma única camada de células, através da qual o sangue e os tecidos efetuam trocas de gases.



Esquema do sentido do fluxo sanguíneo. Nas artérias (em vermelho), o sangue é transportado do coração para os capilares. Nas veias (em azul), vai dos capilares para o coração. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ANATOMIA DO CORAÇÃO

Esse órgão está localizado no meio da caixa torácica, atrás do osso esterno, ligeiramente deslocado para a esquerda. O coração humano é revestido externamente por uma membrana serosa chamada **pericárdio** e internamente pelo **endocárdio**. É um órgão muscular, com uma cavidade interna, constituído por uma musculatura estriada cardíaca, chamada **miocárdio**, cujas contrações são involuntárias.

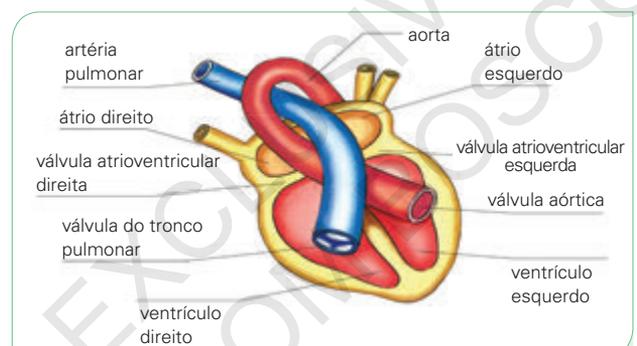
O coração humano é tetracavitário, composto de quatro câmaras ou cavidades: dois átrios (direito e esquerdo) e dois ventrículos (direito e esquerdo). Essa constituição cardíaca também ocorre em crocodilianos, aves e outros mamíferos.

Pelo lado direito do coração, passa apenas sangue venoso. Pelo esquerdo, somente sangue arterial. Não há comunicação entre os átrios direito e esquerdo. O mesmo acontece com os ventrículos direito e esquerdo. Isso ocorre porque essas estruturas são separadas entre si pelo septo atrial e pelo septo ventricular, respectivamente. Essa divisão impede que o sangue venoso, pobre em oxigênio, misture-se ao sangue arterial oxigenado.

O átrio direito comunica-se com o ventrículo direito por meio da válvula atrioventricular direita (também chamada de tricúspide). O átrio esquerdo, por sua vez, comunica-se com o ventrículo esquerdo por meio da válvula atrioventricular esquerda (também denominada de bicúspide ou mitral). Conjuntamente, ambas impedem o retorno do sangue para os átrios. Isso acontece inclusive no momento da passagem

do sangue dos ventrículos para as artérias: a válvula do tronco pulmonar e a válvula aórtica (chamadas de semilunares) impedem o refluxo de sangue durante o relaxamento da musculatura cardíaca, conhecida como diástole.

O sangue que passa pelas câmaras cardíacas não realiza troca com os tecidos do coração. A nutrição do miocárdio ocorre por um conjunto de vasos sanguíneos chamados de circulação coronariana. A artéria coronária tem sua raiz em uma ramificação do início da aorta, e a veia coronária desemboca no átrio direito.



Estrutura interna do coração humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

MECANISMO DA CIRCULAÇÃO SANGUÍNEA

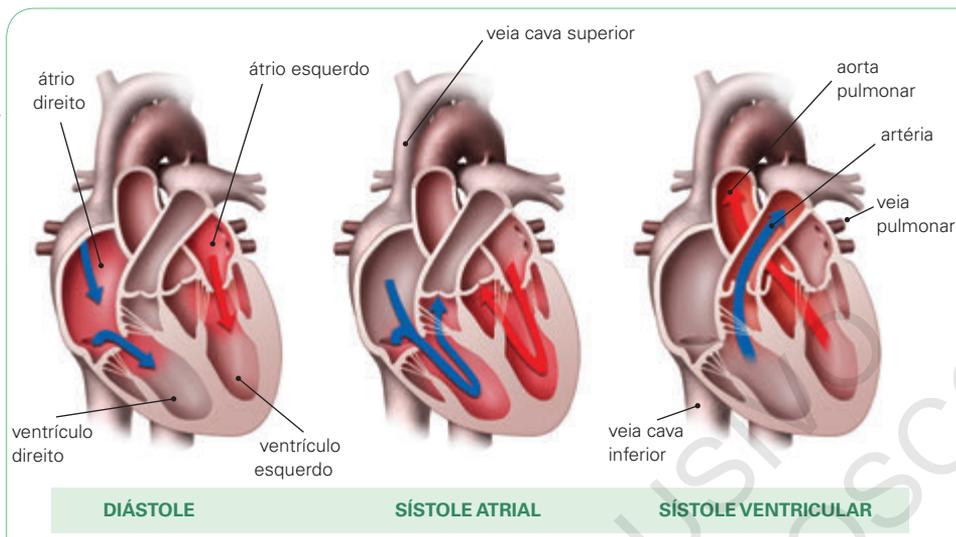
O estímulo para que a musculatura cardíaca se contraia origina-se no próprio coração, por meio do **nó** ou **nódulo sinoatrial**. Essa estrutura atua como um marca-passo natural. Situada na parede do átrio direito, é composta de um aglomerado de células musculares especializadas. As células do nódulo sinoatrial emitem um sinal elétrico que se propaga pela musculatura dos átrios, provocando sua contração – a chamada sístole atrial e ventricular. O processo completo de contrações e relaxamentos é denominado **ciclo cardíaco**.

Podemos dividir o mecanismo de circulação sanguínea humana em dois circuitos: **pequena circulação (pulmonar)** e **grande circulação (sistêmica)**.

Na pequena circulação, o sangue venoso sai do ventrículo direito e, pela artéria pulmonar, chega ao pulmão, em que se transforma em sangue arterial. Depois de deixar o pulmão pelas veias pulmonares, chega ao ventrículo esquerdo.

Na grande circulação, o sangue arterial sai do ventrículo esquerdo e é distribuído para todo o organismo por meio da artéria aorta. Os tecidos corporais recebem, então, o aporte de oxigênio. O sangue, em contrapartida, fica rico em gás carbônico e torna-se venoso. As veias cavas superior e inferior direcionam o sangue de volta ao coração pelo átrio direito.

HENNING DALHOFF / SCIENCE PHOTO LIBRARY / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



Esquema da entrada do sangue pela veia cava no átrio direito (circulação pulmonar) e pelas veias pulmonares no átrio esquerdo (circulação sistêmica). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PRESSÃO SANGUÍNEA E DOENÇAS CARDIOVASCULARES

Quando circula pelo corpo humano, o sangue exerce uma pressão nas paredes arteriais. Por esse motivo, o coração bate sistematicamente em intervalos regulares.

Há dois tipos de pressão: uma decorrente da força imposta pelo coração e outra imposta pelo calibre arterial. A força realizada pelo coração para impulsionar o sangue é denominada **sistólica** (pressão máxima), medida durante a sístole ventricular. Já a resistência exercida pelas paredes arteriais ao sangue impulsionado é chamada de **diastólica** (pressão mínima), medida durante a diástole ventricular.

A pressão sanguínea nas artérias durante a sístole cai de 120 mmHg para 80 mmHg, em diástole. Por isso, a pressão arterial normal de uma pessoa adulta é 12 por 8. À medida que as artérias se ramificam, a pressão diminui. Ela então se torna insuficiente para trazer o sangue de volta ao coração. O retorno se deve, principalmente, à ação dos músculos esqueléticos. Estes, ao se contraírem, impulsionam o sangue pelas veias de volta no sentido do coração.

O esfigmomanômetro é o aparelho utilizado para medir a pressão arterial. Quando, por exemplo, são detectados valores de 11 por 7, a informação é de que a pressão máxima é de 110 mmHg, e a resistência da parede arterial, de 70 mmHg. Esse valor é considerado o de uma pressão sanguínea normal.

Doenças cardiovasculares

Recebem esse nome os problemas que acometem o coração e os vasos sanguíneos.

A arteriosclerose é uma patologia que provoca espessamento e redução da elasticidade das paredes arteriais. A principal causa é a deposição de placas de gordura, chamadas de **ateromas**. Estas, ao longo do tempo, calcificam-se e promovem um estreitamento das paredes arteriais, comprometendo a irrigação sanguínea em órgãos e tecidos (isquemia). Os sintomas e as consequências principais são: dores no peito que se irradiam para o ombro ou o braço esquerdo; aumento das chances de coágulos; dor nos membros inferiores; infarto; e acidente vascular cerebral, mais conhecido como AVC.

Hipertensão é uma doença crônica considerada um problema de saúde pública. É caracterizada pelos níveis elevados da pressão sanguínea nas artérias. Essa patologia acontece quando os valores das pressões máxima e mínima são iguais ou ultrapassam os 140/90 mmHg (14 por 9).

A pressão alta faz com que o coração tenha de exercer um esforço maior que o normal para que o sangue seja distribuído corretamente no corpo. Isso aumenta as chances de ocorrência de acidente vascular cerebral, enfarte, aneurisma arterial e insuficiência renal e cardíaca. Os pacientes hipertensos apresentam sintomas, como dores no peito; dor de cabeça; tonturas; zumbido no ouvido; fraqueza; visão embaçada; e sangramento nasal.

Os principais fatores de risco para a hipertensão incluem: herança genética; tabagismo; consumo de bebidas alcólicas; obesidade; consumo excessivo de sal; níveis

elevados de colesterol, além de sedentarismo e estresse. A pressão alta não tem cura, mas tem tratamento e pode ser controlada. O uso de medicamentos receitados por um médico e a adoção de um estilo de vida saudável são imprescindíveis.

Sistema linfático humano

A **linfa** é formada de parte do fluido extravasado dos capilares sanguíneos. Além disso, apresenta na composição o plasma, rico em leucócitos. O sistema linfático é caracterizado como uma via acessória, pois, por meio do processo de difusão, a linfa retornará ao sistema cardiovascular. Suas principais funções são: remover os fluidos em excesso dos tecidos corporais; absorver ácidos graxos; transportar a gordura para o sistema circulatório; e produzir células imunes (linfócitos, monócitos e plasmócitos).

Por não apresentar um órgão bombeador, a linfa depende de agentes externos para dar pressão ao sistema, como contrações musculares, pulsação de artérias próximas e movimento das extremidades. Os vasos linfáticos têm válvulas unidirecionais que impedem o refluxo da linfa. Durante todo o trajeto dos vasos linfáticos, existem pequenas estruturas denominadas **linfonodos** (também chamados de gânglios linfáticos). Estes atuam na filtração e retenção de restos celulares, células mortas e microrganismos.

Outros componentes do sistema linfático são:

- **timo** – responsável pela maturação dos linfócitos;
- **baço** – que desempenha diversas funções, desde a detecção de substâncias estranhas e resíduos celulares até a destruição de hemácias envelhecidas;
- **tonsilas palatinas** (adenóide) e **tonsilas faríngeas** (amígdalas) – que atuam no reconhecimento e combate de microrganismos que penetram a entrada das vias respiratória e digestória.

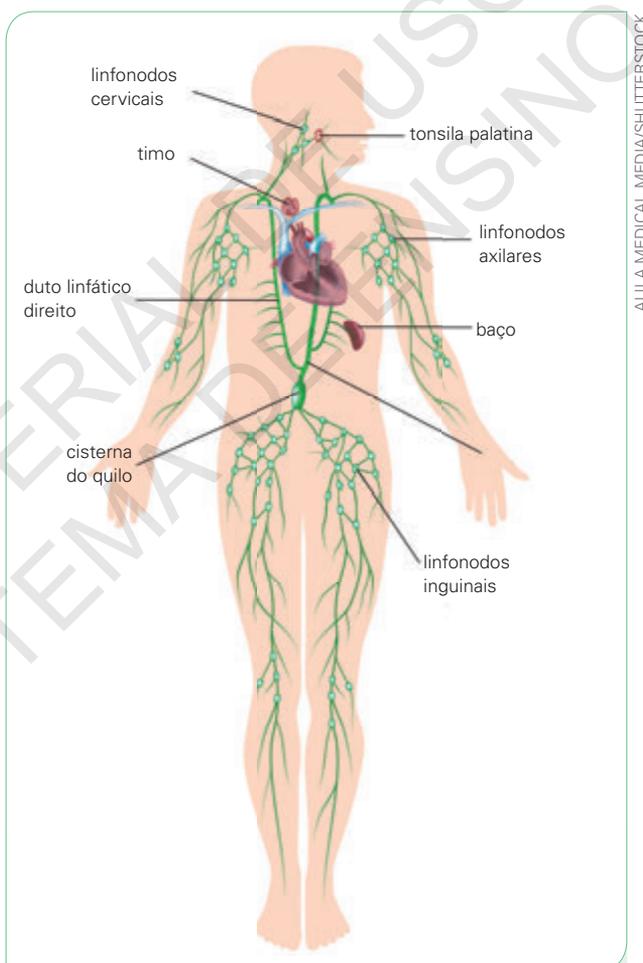
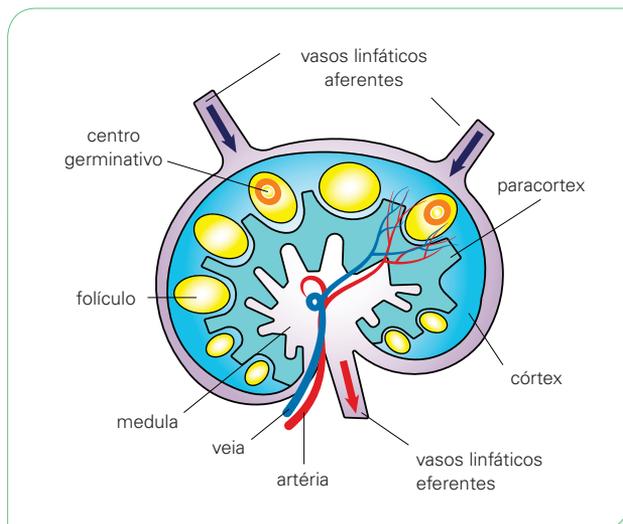


Ilustração do sistema linfático no corpo humano e suas estruturas. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.



Esquema do sentido do fluxo sanguíneo. Nas artérias (em vermelho), o sangue é transportado do coração para os capilares. Nas veias (em azul), vai dos capilares para o coração. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

CLUSTERX/ALAMY STOCK VECTOR

Sistema urinário humano

A urina humana é um líquido formado e eliminado pelo sistema urinário. É composta de água, ureia e outras substâncias dispensáveis ao organismo, como fosfatos, sulfatos, amônia e ácido úrico. A quantidade de urina eliminada por dia depende de diversos fatores, como a quantidade de líquidos ingerida, a atuação hormonal, o uso de anti-diuréticos etc. Em média, uma pessoa adulta saudável produz de 1 L a 1,5 L de urina por dia.

A cor amarelada da urina é resultado da presença de uroglobulina, substância originada principalmente da degradação da hemoglobina de hemácias velhas. Outras cores e tonalidades podem ocorrer conforme a hidratação do indivíduo e a ingestão de medicamentos, alimentos com pigmentos (beterraba, cenoura, entre outros). A coloração da urina também pode indicar a manifestação de certas doenças.

Cores que divergem do normal, como marrom ou azul, podem ser sintomas de alguns distúrbios renais ou da ação de medicamentos. No entanto, o diagnóstico adequado deve ser realizado somente por um médico.

Para realizar todas as funções metabólicas, nosso organismo tem uma concentração de solutos muito diferente da encontrada no ambiente. Tal concentração é mantida pela **osmorregulação**, que é o processo que regula a quantidade de água no interior do organismo. O sistema urinário humano também é responsável por controlar a concentração de sais no sangue (Na^+ , K^+ , Cl^- , entre outros) e por eliminar a ureia produzida no fígado, de modo a impedir que essas substâncias nocivas atinjam níveis elevados no sangue.

O sistema urinário é formado por dois rins e por vias uriníferas, constituídas por dois ureteres, a **be-**

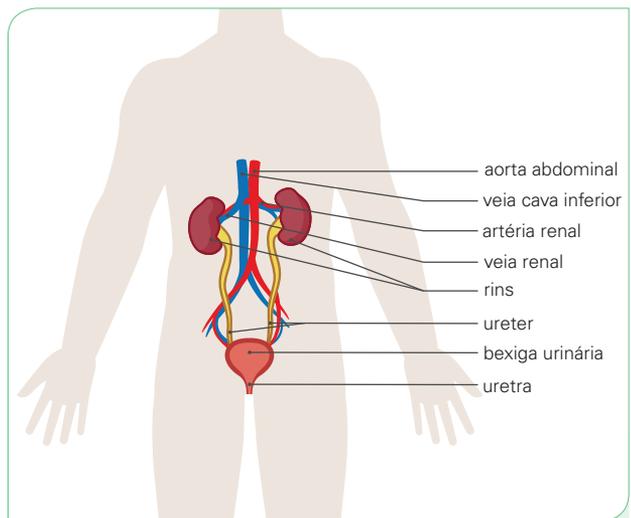
ga urinária e a **uretra**. O formato dos rins humanos lembra grãos de feijão. Situados na cavidade abdominal (altura da cintura), atrás do estômago e do fígado, os rins são revestidos externamente por uma cápsula de tecido conectivo. São formados por duas camadas: uma cortical (ou córtex renal – mais externa) e uma medular (ou medula renal – mais interna).

Na camada cortical, estão os **glomérulos** – unidades filtradoras do sangue. Pela camada medular, passam os túbulos dos néfrons, pelos quais circula o líquido filtrado nos glomérulos.

A unidade funcional dos rins é o **néfron**. Ele é constituído por:

- **corpúsculo renal**, que é a porção globular na qual o sangue é filtrado. Localizado no córtex renal, constitui-se de **cápsula glomerular** ou cápsula de Bowman – um revestimento externo – e **glomérulo renal**, ou túbulo de Malpighi – um aglomerado de capilares delgados e enovelados.
- **túbulo néfrico**, porção tubular na qual se forma a urina. Subdivide-se em quatro regiões contínuas distintas: túbulo contorcido proximal, alça néfrica (antes chamada de Henle), túbulo contorcido distal, tubos e ductos coletores.

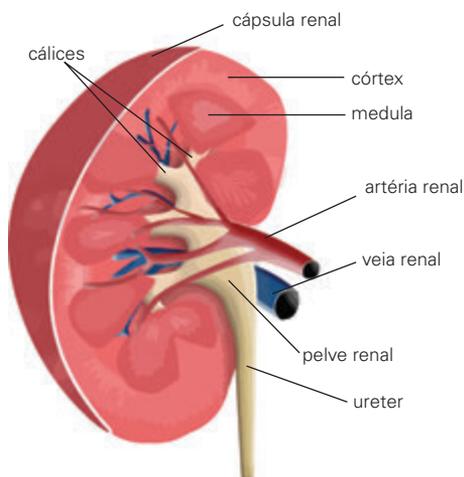
Em cada rim humano, existem aproximadamente 1 milhão de néfrons. Cada néfron é abastecido de sangue por uma arteríola aferente, a qual é um desdobramento da artéria renal, que se ramifica e forma os capilares do glomérulo. Os capilares convergem à medida que deixam o glomérulo e formam uma arteríola eferente. As ramificações desses vasos formam os capilares peritubulares, que circundam os túbulos proximal e distal. Outras ramificações prolongam-se para baixo e formam os vasos retos, capilares em forma de grampo que servem a medula renal, incluindo a longa alça néfrica.



Esquema do sistema urinário. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ELENABSL/DREAMSTIME

Anatomia do rim

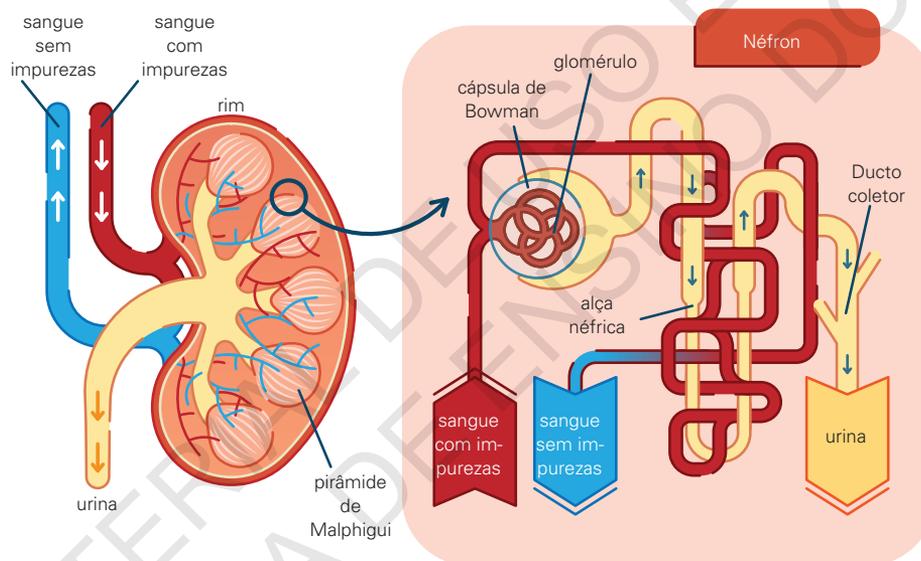


DUCU59UJ/SHUTTERSTOCK

Esquema ilustrado da anatomia do rim humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Anatomia do néfron

NORMAALS/STOCK



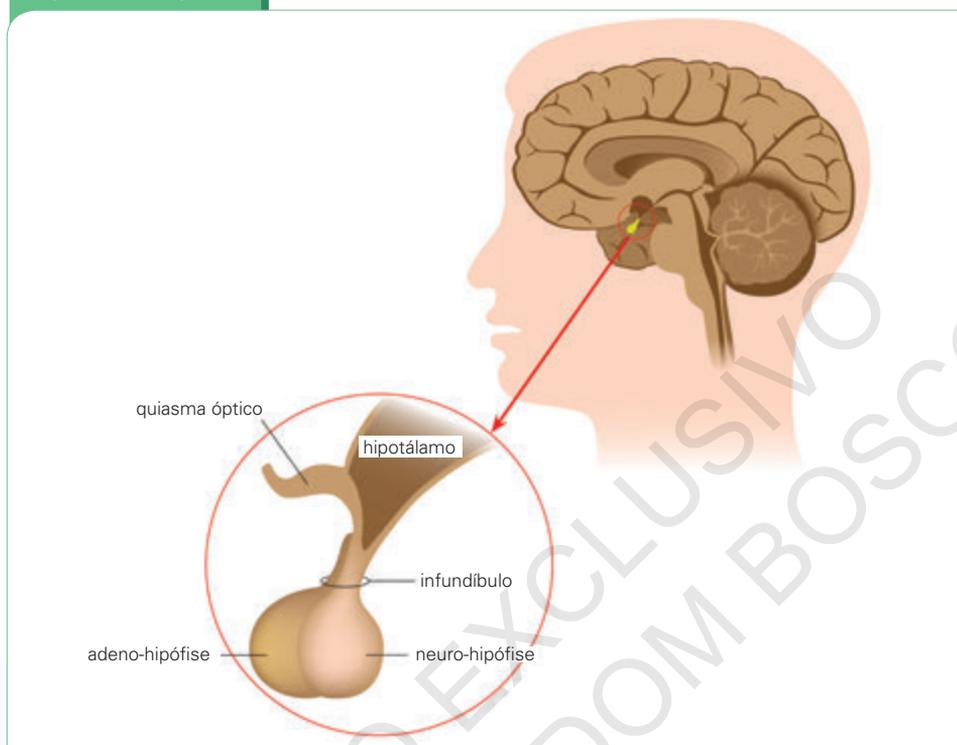
Esquema ilustrando a morfologia do néfron humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Controle da função renal

O funcionamento do controle renal acontece pela combinação dos controles nervosos e hormonais. Ao regular a quantidade de urina formada, essa ação conjunta contribui para a homeostase da pressão e do volume do sangue.

Em um adulto normal, a perda urinária é de, aproximadamente, 1L a 1,5 L de urina por dia, embora o volume total de água do corpo não varie mais do que 1%. Os ajustes que determinam o equilíbrio hídrico dependem principalmente do **hipotálamo**, região do encéfalo sensível às variações da concentração de partículas do plasma sanguíneo. A ação do hipotálamo está diretamente associada à liberação do hormônio antidiurético (ADH) na circulação, por meio da glândula hipófise, mais especificamente pela **neuro-hipófise**.

Hipotálamo e hipófise



Localização das glândulas hipófise e hipotálamo. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

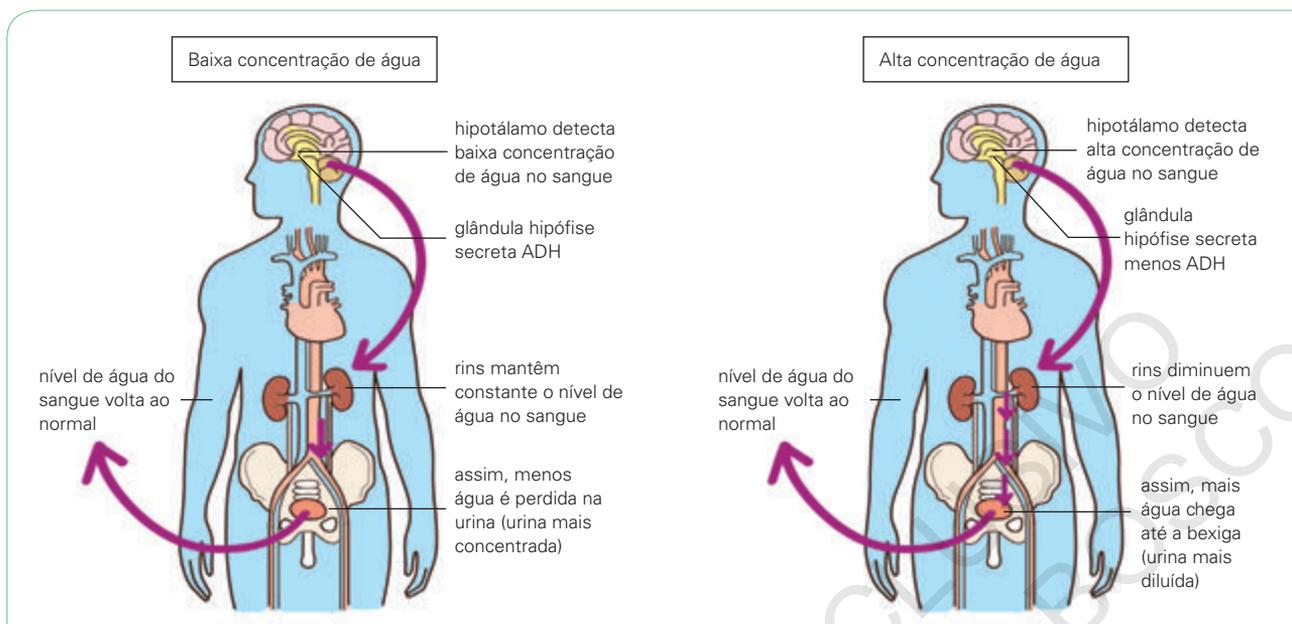
O **ADH** aumenta a permeabilidade dos túbulos dos néfrons à água, de modo a ampliar consideravelmente sua **reabsorção**. Dessa forma, o rim aumenta a reabsorção de líquidos e passa a produzir urina muito mais concentrada e menos volumosa. Portanto, o ADH é um hormônio **poupador** de água, secretado quando a concentração de partículas do plasma está elevada, evitando a deficiência hídrica.

Uma pessoa submetida à privação de água perde esse líquido através da pele e por meio da respiração, o que torna o plasma mais concentrado. O hipotálamo, sensível a essa variação, aumenta a produção de ADH, tornando a urina escassa e muito concentrada. A queda acentuada na pressão arterial por ocorrência de uma hemorragia maciça, por exemplo, também estimula a produção de ADH, o que auxilia a retenção de água no corpo e a manutenção do volume de líquido circulante.

Por outro lado, se houver excedente hídrico, a secreção de ADH diminui. Consequentemente, o rim tem sua capacidade de reabsorção de água reduzida e libera grandes volumes de urina bastante diluída. O álcool tem ação antagônica ao ADH, o que diminui a absorção de água e aumenta o volume da urina. Assim, bebidas alcoólicas têm ação diurética, o que explica a sede intensa que caracteriza a sensação desagradável de ressaca. Pessoas com diabetes insípido têm baixo ADH e, por isso, podem perder até 15 L de urina por dia.

A **aldosterona** é um hormônio secretado pelo córtex das glândulas suprarrenais ou adrenais, o qual estimula a reabsorção de íon de sódio (Na^+) pelos túbulos renais. Dessa forma, ocorre maior reabsorção de água. Consequentemente, a pressão arterial se eleva. Quando a concentração sanguínea de sódio diminui, a aldosterona regula a reabsorção desse íon e aumenta a reabsorção de água por osmose. Assim, a ação desse hormônio regula a produção de urina.

O hormônio **fator natriurético atrial (FNA)** é secretado pela parede dos átrios cardíacos quando a pressão do sangue está elevada. Entre outros efeitos, o FNA dilata a arteríola aferente e contrai a arteríola eferente, o que faz crescer a pressão do sangue nos capilares dos glomérulos. Com isso, aumentam-se a filtração glomerular e a eliminação de urina. Isso determina a diminuição da pressão arterial. O FNA também aumenta a eliminação urinária do cloreto de sódio (NaCl), o que contribui para diminuir a pressão arterial.



Esquema simplificado da ação do controle hormonal do ADH na concentração de água na urina. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Além dos hormônios citados anteriormente, o volume de líquido ingerido, a variação da temperatura e a umidade do ar influenciam na produção da urina. Em climas quentes e secos, há maior transpiração, logo, o volume de urina produzida será menor que em climas frios e úmidos.

Formação da urina

A urina se forma no interior dos néfrons, em três processos consecutivos: filtração glomerular, reabsorção tubular e secreção tubular.

1ª etapa: filtração glomerular

O sangue a ser filtrado, proveniente das artérias renais, chega ao néfron pelas arteríolas aferentes. Ao passar sob alta pressão pelos capilares do glomérulo, perde para a cápsula renal água e pequenas moléculas dissolvidas no plasma (como ureia, sais e moléculas orgânicas simples).

As proteínas presentes no plasma e os elementos figurados do sangue, por serem moléculas muito grandes, não atravessam a parede dos capilares do glomérulo. No restante, todas as substâncias presentes no plasma são encontradas no fluido filtrado que se formou, conhecido como filtrado glomerular ou urina inicial, que se concentra no interior da cápsula renal. Moléculas de pequeno tamanho dissolvidas em água, tais como glicose, sais, aminoácidos e ureia, constituem o fluido envolvido no processo de filtração glomerular.

2ª etapa: reabsorção

O filtrado glomerular tem composição química muito semelhante à do plasma sanguíneo. Até se transformar em urina, o filtrado glomerular passa por modificações durante sua passagem pelos **túbulos renais**, processo que envolve o túbulo contorcido proximal, a alça néfrica, o túbulo contorcido distal e o ducto coletor. Em 24 horas, cerca de 180 litros de filtrado glomerular e apenas 1 L a 1,5 L de urina são produzidos. Aproximadamente 99% do líquido filtrado é reabsorvido, à medida que ele segue pelos túbulos renais. Água, sais, glicose, aminoácidos e outras substâncias reabsorvidas voltam à circulação.

Esse é um processo ativo pelo qual a rede de capilares recolhe partículas do líquido filtrado e as devolve à corrente sanguínea. Há reabsorção quase total de certos solutos, como glicose, aminoácidos e outras substâncias úteis para o organismo,

principalmente no túbulo contorcido proximal. Com a reabsorção dessas substâncias, o sangue fica mais concentrado. Torna-se necessária, assim, a reabsorção de água para regular sua osmolaridade. A água é reabsorvida principalmente na alça néfrica e no ducto coletor – por osmose, um processo passivo de reabsorção tubular.

3ª etapa: secreção

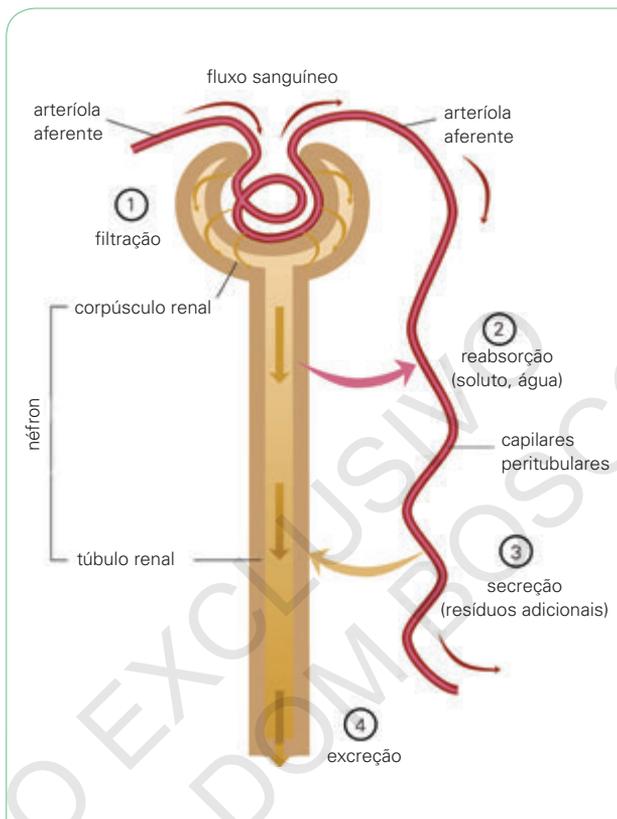
Podemos entender a etapa de secreção como complementar à da formação de urina. Nesse processo, as células da parede do túbulo contorcido distal secretam as substâncias indesejáveis, como ácido úrico e amônia, etapa considerada inversa à da reabsorção tubular.

Após passar pelo **túbulo do néfron**, o filtrado glomerular transforma-se em urina – líquido de cor amarelada que contém, principalmente, ureia, creatinina e pequenas quantidades de amônia, ácido úrico e sais.

Creatinina é uma substância derivada da degradação da creatina fosforilada (produzida por fígado, rins e pâncreas e transportada aos músculos). Tal processo ocorre durante a atividade de contração muscular. Filtrada livremente nos rins, a creatinina não sofre reabsorção renal.

A urina é a soma do conteúdo filtrado nos glomérulos e o conteúdo secretado pelos túbulos, menos o conteúdo reabsorvido.

$$\text{Urina} = \text{Conteúdo filtrado} + \text{Conteúdo secretado} - \text{Conteúdo reabsorvido}$$



As principais etapas de formação da urina. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

O que é hemodiálise?

Trata-se de um procedimento médico realizado em hospitais, por meio do qual uma máquina faz a limpeza e a filtração do sangue. Ou seja, o aparelho atua como um rim artificial em pacientes com insuficiência renal grave. A indicação para o procedimento é feita por um médico nefrologista (especialista nas funções renais).

O paciente, na hemodiálise, é submetido a um acesso vascular, em que seu sangue é bombeado até o dialisador (filtro de diálise). Neste, o sangue entra em contato com uma solução (dialisato), a qual, por meio de uma membrana semipermeável, filtra toxinas e resíduos do sangue, que retorna limpo ao paciente via acesso vascular. De maneira geral, os pacientes são submetidos à diálise de 3 a 5 horas, de 2 a 4 vezes por semana.

Na maioria dos casos, a insuficiência renal é irreversível. Isso torna o paciente dependente da diálise por toda a vida. No entanto, a melhora dos sintomas (falta de apetite, indisposição, cansaço, náuseas etc.) e da qualidade de vida do paciente é sentida desde o início do tratamento.

Mesmo sendo um procedimento eficiente, a hemodiálise não substitui por completo a função renal, porque os rins têm diversos outros papéis além da filtração sanguínea. Eles agem, por exemplo, no controle osmótico e de sais no organismo, na regulação da pressão arterial e na síntese de hormônios. Portanto, o paciente com insuficiência renal, mesmo submetido à hemodiálise, precisa seguir à risca o tratamento completo, que inclui dieta alimentar, para que não haja sobrecarga ainda maior do sistema renal.

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO

SISTEMA CARDIOVASCULAR

componentes

vasos sanguíneos

sangue

coração

sistema linfático

componentes

linfa

vasos linfáticos

movimentos

contração

sístole

diástole

relaxamento

linfonodos

pequena circulação

ventrículo

direito

artérias pulmonares

pulmão

veias

pulmonares

átrio

esquerdo

grande circulação

ventrículo

esquerdo

aorta

tecidos

veia

cava

átrio

direito

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO DOMBOSCO
SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA URINÁRIO HUMANO

componentes

2 rins

2 ureteres

vias uriníferas

bexiga

uretra

unidade funcional

néfron

túbulo néfrico

porção tubular

porção globular

corpúsculo renal

componentes

túbulo contorcido proximal

revestido

alça néfrica

túbulo de Malpighi

túbulo contorcido distal

cápsula de Bowman

tubos e ductos coletores

formação da urina

controle

etapas

hipotálamo

sistema nervoso central

filtração

ADH

hormonal

reabsorção

fator natriurético atrial

secreção

aldosterona

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Fuvest-SP

C4-H15

No sistema circulatório humano,

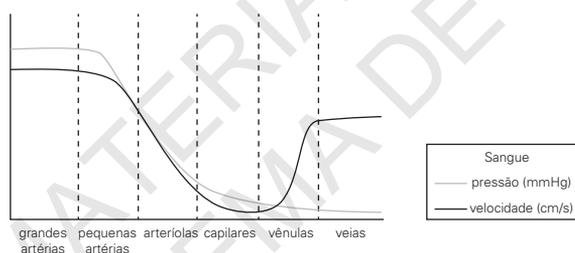
- a) a veia cava superior transporta sangue pobre em oxigênio, coletado da cabeça, dos braços e da parte superior do tronco, e chega ao átrio esquerdo do coração.
- b)** a veia cava inferior transporta sangue pobre em oxigênio, coletado da parte inferior do tronco e dos membros inferiores, e chega ao átrio direito do coração.
- c) a artéria pulmonar transporta sangue rico em oxigênio, do coração até os pulmões.
- d) as veias pulmonares transportam sangue rico em oxigênio, dos pulmões até o átrio direito do coração.
- e) a artéria aorta transporta sangue rico em oxigênio para o corpo, por meio da circulação sistêmica, e sai do ventrículo direito do coração.

A alternativa A está incorreta, porque a veia cava superior leva sangue para o átrio direito do coração. A alternativa C está incorreta, pois a artéria pulmonar transporta sangue pobre em oxigênio do corpo para ser oxigenado nos pulmões. A alternativa D está incorreta, porque o sangue rico em oxigênio vindo dos pulmões é levado ao átrio esquerdo do coração. A alternativa E está incorreta, pois o sangue rico em oxigênio transportado pela aorta provém do ventrículo esquerdo do coração.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

2. UERJ – O sistema circulatório humano apresenta características estruturais específicas para suportar a grande pressão do sangue bombeado pelo coração, no caso das artérias, bem como para manter a velocidade do fluxo em direção ao coração, mesmo sob baixa pressão, no caso das veias. Observe no gráfico as principais variações nesse sistema.



Indique duas características da composição da parede das artérias que possibilitam a passagem do sangue sob grande pressão. Indique, também, dois fatores que possibilitam a passagem do sangue pelas veias em velocidade quase tão alta quanto a verificada nas artérias.

Em um sistema circulatório fechado, a pressão sanguínea nas grandes

artérias é garantida pelos seguintes fatores: impulso do sangue pela

sístole (contração) do ventrículo esquerdo do coração e presença de es-

pessa musculatura lisa em suas paredes. A contração e o relaxamento

dessa musculatura, realizados pelas terminações nervosas do sistema

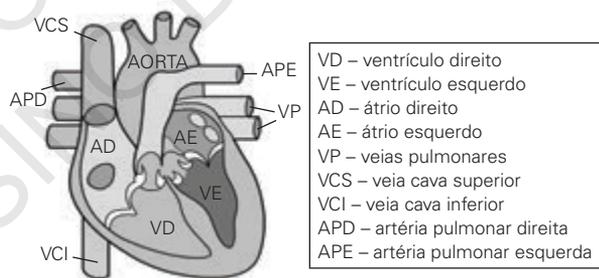
nervoso autônomo, mantêm a pressão arterial adequada às diversas

atividades humanas. O transporte do sangue pelas vias é rápido, pois a

musculatura esquelética comprime as paredes de veias, e válvulas em

seu interior impedem o retorno venoso dos tecidos do corpo.

3. UDESC – A figura representa o esquema de um coração humano, no qual estão indicadas algumas de suas estruturas.



Analise as proposições em relação a este órgão.

- O sangue arterial circula dentro das artérias e o venoso, dentro das veias.
- As artérias pulmonares esquerda e direita conduzem o sangue venoso aos pulmões.
- O ventrículo direito do coração possui paredes mais espessas do que o ventrículo esquerdo, pois tem que impulsionar o sangue rico em oxigênio para todo o corpo.
- As veias cavas trazem o sangue venoso dos pulmões ao átrio direito do coração.
- As paredes das veias possuem músculos que auxiliam na impulsão do sangue.

Assinale a alternativa correta:

- Somente as afirmativas II, III, e IV são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- c)** Somente a afirmativa II é verdadeira.
- Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.

As artérias pulmonares e umbilicais transportam sangue venoso. A veia umbilical e as veias pulmonares transportam sangue arterial. O ventrículo esquerdo do coração tem paredes mais espessas que as do ventrículo direito, pois impulsionam o sangue arterial para todo o corpo. As veias cavas trazem o sangue venoso do corpo para o átrio direito do coração. As paredes das artérias apresentam uma túnica muscular mais espessa que a da parede das veias, fato que auxilia o transporte do sangue rico em oxigênio para todo o corpo.

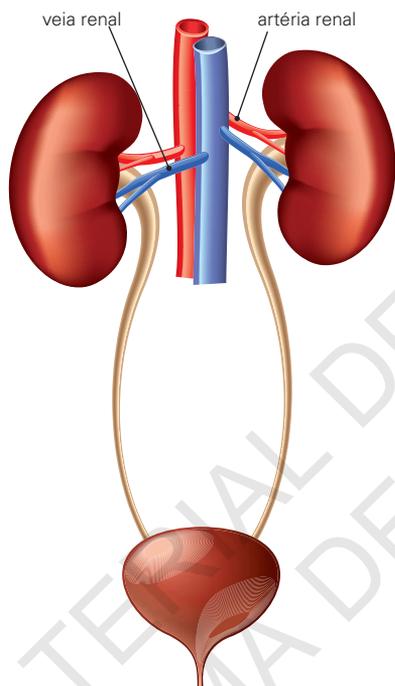
4. UFP-RS – No sistema urinário do corpo humano, são _____ que realizam a filtração do sangue. O processo de eliminação de urina acontece em duas etapas: primeiro a urina trazida _____ acumula-se _____; depois, ocorre a micção, com a eliminação da urina através _____.

As informações que completam corretamente os espaços estão na alternativa:

- a) os rins/ pela uretra/ na bexiga/ dos ureteres
- b) os arteríolos/ pelos ureteres/ na bexiga/ da uretra
- c) os rins/ pelas veias/ na bexiga/ dos ureteres
- d) os ureteres/ pela uretra/ na bexiga/ das arteríolas
- e) os rins/ pelos ureteres/ na bexiga/ da uretra**

São os néfrons, presentes nos rins, que realizam a filtração do sangue. A urina trazida pelos ureteres acumula-se na bexiga para ser eliminada pela uretra no processo chamado micção.

5. Famema-SP (adaptado) – A figura ilustra os rins e seus próprios vasos sanguíneos. As artérias renais levam sangue aos rins e as veias renais conduzem o sangue dos rins ao coração.



LA GORDA/SHUTTERSTOCK

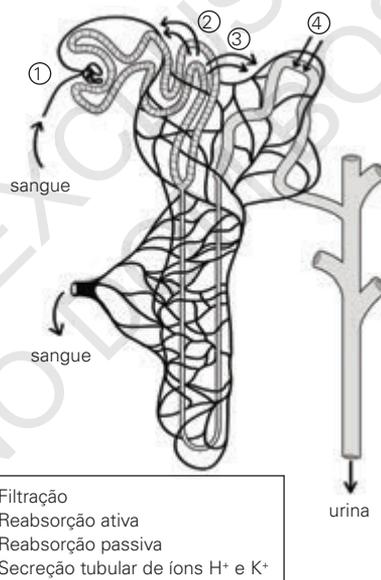
- a) Associe a concentração de gás carbônico, ureia e gás oxigênio com o sangue contido nas artérias renais e com o sangue contido nas veias renais.

O sangue contido nas artérias renais é pobre em dióxido de carbono e rico em ureia e oxigênio. Ao contrário, o sangue contido na veia renal é rico em dióxido de carbono e pobre em ureia e oxigênio.

- b) Caso haja aumento da pressão sanguínea na artéria renal durante um período de 4 horas, o que ocorrerá com o volume de urina produzido pelo organismo? Justifique sua resposta com base na atividade que ocorre no interior do néfron.

O aumento de pressão arterial provoca elevação do volume de urina produzida pelo organismo, porque nos néfrons haverá aumento no processo de filtração glomerular que produz a urina inicial.

6. Fuvest-SP – Logo após a realização de provas esportivas, parte da rotina dos atletas inclui a ingestão de água e de bebidas isotônicas; também é feita a coleta de urina para exames *antidoping*, em que são detectados medicamentos e drogas, eventualmente ingeridos, que o corpo descarta. As bebidas isotônicas contêm água, glicose e sais minerais, apresentando concentração iônica semelhante à encontrada no sangue humano. No esquema abaixo, os números de 1 a 4 indicam processos, que ocorrem em um néfron do rim humano.



- a) Qual(is) número(s) indica(m) processo(s) pelo(s) qual(s) passa água?

1 e 3

- b) Qual(is) número(s) indica(m) processo(s) pelo(s) qual(is) passam as substâncias dissolvidas, detectáveis no exame *antidoping*?

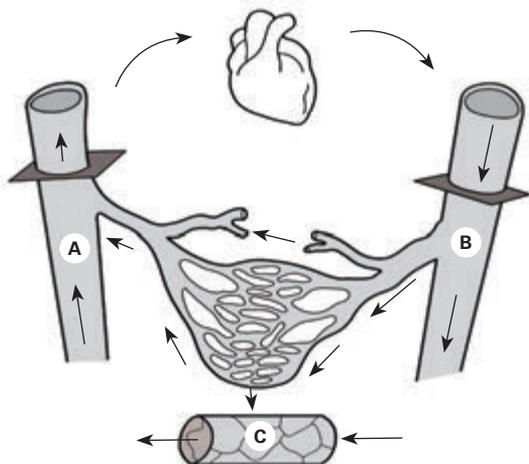
1 e 4

- c) Após uma corrida, um atleta, em boas condições de saúde, eliminou muito suor e muita urina e, depois, ingeriu bebida isotônica. Entre os componentes da bebida isotônica, qual(is) **não** será(ão) utilizado(s) para repor perdas de substâncias eliminadas pela urina e pelo suor? Justifique sua resposta.

Os monossacarídeos consumidos pelo atleta durante a corrida não são eliminados pela urina ou pelo suor. Os açúcares são oxidados com a finalidade de fornecer energia ao corredor.

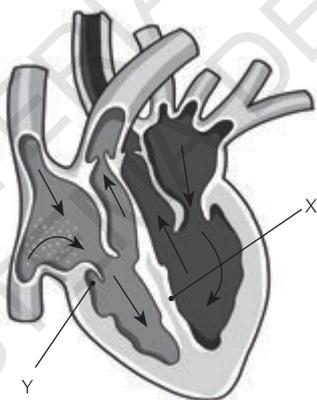
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Mackenzie-SP – No esquema, as setas indicam o sentido de circulação do sangue. Assinale a alternativa correta.



- Todos os vasos A apresentam, na sua parede, uma camada muscular mais reforçada do que os vasos B.
- Se os vasos C forem os dos pulmões, o vaso A será uma artéria, porque transporta sangue arterial vindo dos pulmões.
- A pressão do sangue no vaso A é menor que no vaso B.
- O vaso B apresenta inúmeras válvulas para impedir o refluxo do sangue.
- No vaso C, as substâncias somente passam para o meio externo, não sendo possível a passagem de substâncias para dentro do sangue nessa estrutura.

8. Uninove-SP – A figura mostra uma representação do coração humano.



- Qual a importância da estrutura apontada pela seta Y? Qual cavidade cardíaca recebe sangue proveniente dos pulmões, por meio das veias pulmonares?

- Qual o nome da estrutura apontada pela seta X? Explique qual a sua importância para o metabolismo humano.

9. UFRN – O coração humano tem sido alvo de estudos da engenharia para a produção de dispositivos alternativos que ajudem a resolver as dificuldades decorrentes dos transplantes naturais. Embora existam hoje corações artificiais, nenhum deles substituiu o original à altura no seu funcionamento. Alguns detalhes mecânicos são fundamentais para o seu perfeito funcionamento. Assim, na construção de um protótipo mais parecido com o coração humano, é necessário considerar que

- as válvulas devem impedir o retorno do sangue dos ventrículos para os átrios.
- o lado direito deve possuir maior capacidade de bombeamento de sangue.
- o lado direito da bomba deve ter a capacidade de aspirar, e o esquerdo, de impelir o sangue.
- os conectores de entrada e saída devem ser 4, um para cada átrio e um para cada ventrículo.

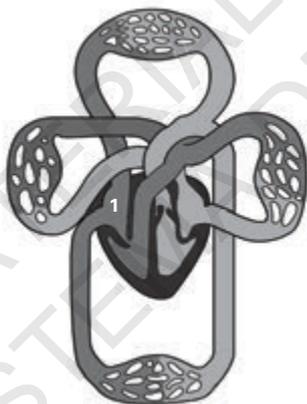
10. UEPG-PR – Além de transportar alimentos, gases, excreções e hormônios, a circulação sanguínea tem ainda função de defesa contra agentes infecciosos e manutenção da temperatura corporal. Assinale o que for correto sobre os componentes e características do sistema cardiovascular.

- As paredes do coração humano são constituídas por tecido muscular estriado cardíaco (miocárdio). O coração apresenta duas câmaras superiores, denominadas de átrios cardíacos, e duas inferiores, os ventrículos cardíacos.
- O átrio cardíaco esquerdo recebe sangue rico em gás oxigênio proveniente dos pulmões, enquanto o átrio cardíaco direito recebe sangue rico em gás carbônico, proveniente do resto do corpo.
- O sistema cardiovascular humano é fechado, com circulação dupla: (i) circulação pulmonar ou pequena circulação (trajeto: coração – pulmões – coração); e (ii) circulação sistêmica ou grande circulação (trajeto: coração – sistemas corporais – coração).
- O relaxamento de uma câmara cardíaca, chamado de diástole, é quando a câmara se enche de sangue; já na sístole, a câmara se contrai e ocorre o bombeamento de sangue para fora do coração.

16) Quando o sangue é bombeado pelos ventrículos, ele penetra nas artérias sob alta pressão, as paredes arteriais então relaxam-se e aumentam de volume, diminuindo a pressão em seu interior. Caso não haja este relaxamento das artérias, a pressão sanguínea pode subir, com risco de ruptura de suas paredes.

11. UEMA – A velocidade de circulação do sangue nos vasos varia dependendo do seu diâmetro. Quanto maior o diâmetro e mais próximo do coração, menor será a velocidade de circulação de sangue por ele, como no caso da aorta. De outra forma, quanto menor o diâmetro e mais longe do coração, maior será a velocidade de circulação do sangue. Com base no texto, justifique a taxa alta de mortalidade em indivíduos com rompimento da aorta.

12. Fepar-SC (adaptado) – A imagem a seguir apresenta um esquema ilustrativo da circulação humana. Observe-a atentamente e faça o que se pede.



a) Levando em consideração que não ocorre perfusão do sangue para as paredes das cavidades cardíacas, explique como ocorre a nutrição e a oxigenação adequada do miocárdio.

b) Como o coração impede o fluxo de sangue das cavidades inferiores para as superiores?

13. FMP-RJ (adaptado) – Os rins podem excretar grande quantidade de urina diluída ou pequeno volume de urina concentrada sem grandes alterações nas excreções de solutos, como sódio e potássio. As ações do hormônio antidiurético (ADH) têm papel fundamental no controle do grau de diluição ou concentração da urina. A secreção de ADH pode ser aumentada ou diminuída por estímulo no sistema nervoso central, bem como por diversos fármacos e hormônios.

A liberação de ADH é estimulada pelo

- a)** consumo de álcool.
- b)** aumento do volume de sangue.
- c)** vômito seguido de náusea.
- d)** aumento da pressão sanguínea.
- e)** decréscimo da osmolaridade plasmática.

14. PUC-SP (adaptado) – A prática de esportes promove modificações orgânicas significativas no corpo dos atletas, o que leva à necessidade de ajustes metabólicos e fisiológicos que atendam à grande demanda por energia e permitam a rápida remoção de metabólitos desnecessários. O organismo de um atleta que apresenta bom condicionamento físico realiza tais ajustes de modo eficiente, mesmo em condições de esforço intenso, como no caso das longas provas de maratona.

As alterações nas concentrações sanguíneas de lipídios apresentadas na tabela abaixo são condizentes com vários outros estudos que apontam os efeitos benéficos do exercício físico na prevenção de doenças cardiovasculares, especialmente o infarto do miocárdio.

Um estudo realizado com maratonistas revelou substâncias bioquímicas decorrentes do esforço. Neste estudo, foi solicitado a vinte maratonistas de sexo masculino que percorressem os 21 km equivalentes a uma meia maratona. Amostras de sangue e urina desses atletas foram coletadas antes e depois da prova, a partir das quais foram medidos parâmetros bioquímicos. Alguns resultados estão dispostos na tabela a seguir.

Tipos de amostra	Parâmetros bioquímicos	Antes da prova (valores médios)	Após a prova (valores médios)
SANGUE	Triglicérides (mg/dL)	86	69
	Colesterol LDL (mg/dL)	155	110
	Colesterol HDL (mg/dL)	43	47
	Ácido úrico sanguíneo (mg/dL)	5	3,5
URINA	Ácido úrico urinário (mg/mg de creatinina)	0,3	0,6
	Aspecto/ turbidez da urina*	0,0	1,0

Dados obtidos a partir de Siqueira e cols. (2009). Análise de parâmetros bioquímicos séricos e urinários em atletas de meia maratona. *Arq. Bras Endocrinol Metab.* 53(7): 844-52.

Explique o mecanismo fisiológico responsável pela variação na concentração (turbidez) da urina nos atletas durante a prova de meia maratona mencionada no texto. Considere, em sua resposta, a intensa sudorese dos atletas ocorrida durante a prova e a ação do hormônio ADH.

15. UEM-PR – Sobre a estrutura e o funcionamento do sistema excretor humano, é correto afirmar que

- 01)** a unidade funcional do rim é o néfron, que se apresenta envolvido por uma extensa rede de capilares sanguíneos.
- 02)** em condições normais, a urina é composta por água, amônia, glicose e sais.
- 04)** na medida em que o filtrado glomerular percorre o túbulo proximal, ocorre a reabsorção de algumas substâncias, como glicose, aminoácidos e vitaminas, que voltam para a corrente sanguínea.
- 08)** elimina excretas nitrogenadas e mantém o equilíbrio hidrossalino do organismo.
- 16)** uma pessoa, com dieta balanceada, passará a excretar maior quantidade de ureia se aumentar em sua dieta a quantidade de proteínas.

16. Famerp-SP – Os rins humanos atuam no controle da homeostase, eliminando ou reabsorvendo substâncias nos néfrons.

- a)** A principal substância excretada pelos néfrons é a ureia. De qual composto orgânico contido nos alimentos a ureia é originada? Qual órgão humano produz a ureia?

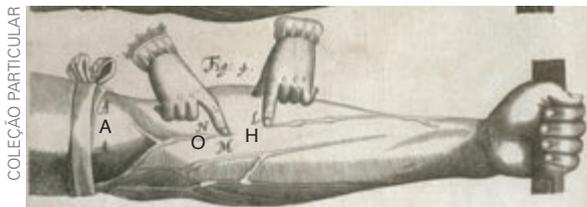
- b)** Os rins controlam a volemia (volume de sangue) e o equilíbrio ácido-base do sangue. De que forma os néfrons atuam para aumentar a volemia e para reduzir a acidez sanguínea?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H15

A imagem representa uma ilustração retirada do livro *De Motu Cordis*, de autoria do médico inglês William Harvey, que fez importantes contribuições para o entendimento do processo de circulação do sangue no corpo humano. No experimento ilustrado, Harvey, após aplicar um torniquete (A) no braço de um voluntário e esperar alguns vasos incharem, pressionava-os em um ponto (H). Mantendo o ponto pressionado, deslocava o conteúdo de sangue em direção ao cotovelo, percebendo que um trecho do vaso sanguíneo permanecia vazio após esse processo (H-O).



A demonstração de Harvey permite estabelecer a relação entre circulação sanguínea e

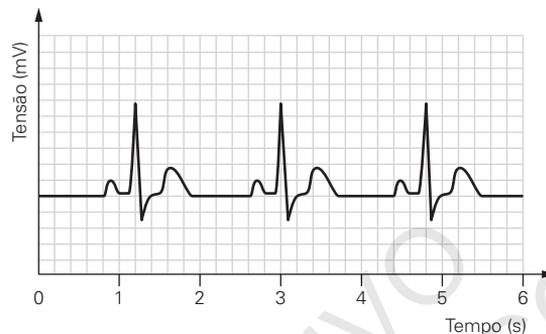
- a) pressão arterial.
- b) válvulas venosas.
- c) circulação linfática.
- d) contração cardíaca.
- e) transporte de gases.

19. Enem

C4-H15

O eletrocardiograma, exame utilizado para avaliar o estado do coração de um paciente, trata-se do registro da atividade elétrica do coração ao longo de um certo intervalo de tempo. A figura representa o eletrocardiograma de um paciente adulto, descansado, não fumante, em um ambiente com temperatura agradável.

Nessas condições, é considerado normal um ritmo cardíaco entre 60 a 100 batimentos por minuto.



Com base no eletrocardiograma apresentado, identifica-se que a frequência cardíaca do paciente é

- a) normal.
- b) acima do valor ideal.
- c) abaixo do valor ideal.
- d) próxima do limite inferior.
- e) próxima do limite superior.

20. Enem

C4-H14

Durante uma expedição, um grupo de estudantes perdeu-se de seu guia. Ao longo do dia em que esse grupo estava perdido, sem água e debaixo de sol, os estudantes passaram a sentir cada vez mais sede. Consequentemente, o sistema excretor desses indivíduos teve um acréscimo em um dos seus processos funcionais.

Nessa situação o sistema excretor dos estudantes

- a) aumentou a filtração glomerular.
- b) produziu maior volume de urina.
- c) produziu urina com menos ureia.
- d) produziu urina com maior concentração de sais.
- e) reduziu a reabsorção de glicose e aminoácidos.

11

- Excreção e homeostase
- Sistema urinário comparado
- Órgãos linfoides
- Imunização

HABILIDADES

- Compreender o processo de homeostase e o papel da excreção para manter tal condição.
- Reconhecer os diversos padrões de sistemas urinários dos animais (excreção comparada).
- Compreender o mecanismo específico de defesa como parte da estrutura do sistema imune.
- Conceituar termos específicos como imunidade celular, imunidade humoral, antígeno e anticorpo.
- Reconhecer os processos de imunizações ativa e passiva e a importância deles para a atividade do sistema imunitário humano.

EXCREÇÃO, HOMEOSTASE E SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

A conquista do ambiente terrestre pelos animais foi um processo evolutivo que envolveu diversas adaptações fisiológicas: surgimento de um sistema ósseo e muscular resistente, mudança gradual de respiração branquial para pulmonar, controle da perda de água e, sobretudo, um sistema urinário com órgãos especializados.

O surgimento dos rins como órgãos excretadores e a possibilidade de transformar a amônia em excretas nitrogenadas menos tóxicas, como ureia e ácido úrico, reduzindo a necessidade de diluição, resultaram em uma economia significativa de água.

Excreção e homeostase

A homeostase é a capacidade de controlar o equilíbrio intracelular. Para mantê-la, é fundamental que o organismo receba oxigênio e nutrientes e elimine resíduos metabólicos. O dióxido de carbono (CO_2), derivado dos processos de oxigenação de compostos orgânicos, particularmente de glicose, é liberado pelos pulmões ou outros órgãos respiratórios (brânquias, pele etc.). Na maioria dos animais, os resíduos nitrogenados derivados do metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos são eliminados por órgãos especializados do sistema urinário, a exemplo dos rins dos vertebrados, no processo de excreção.

Manter a homeostase também requer outros três processos distintos associados à função da excreção:

- **osmorregulação** – processo que regula a concentração de água e sais minerais, para manter o equilíbrio osmótico do organismo;
- **regulação do equilíbrio ácido-base** – importante para manter o potencial hidrogeniônico (pH) do plasma sanguíneo;
- **controle na concentração de íons** – elementos fundamentais para o funcionamento de muitos processos fisiológicos, a exemplo da geração de potenciais de ação no sistema nervoso.

EXCRETAS NITROGENADAS

Além do gás carbônico, outro resíduo gerado em maior quantidade no corpo são os excretas nitrogenados, formados na degradação, sobretudo, dos aminoácidos – componentes estruturais das proteínas. A decomposição dos aminoácidos retira deles o agrupamento amina (NH_2), convertido em outro composto antes de ser excretado. Nos vertebrados, essa conversão ocorre geralmente no fígado, e a eliminação do resíduo nitrogenado acontece nos rins.

Veja a seguir o tipo de classificação animal conforme o excreta nitrogenado produzido.

Amoniotélicos

Animais que eliminam resíduos nitrogenados na forma de **amônia**. Entre os vertebrados, pertencem a esse grupo os peixes ósseos e as larvas de anfíbios – animais aquáticos que contam com oferta abundante de água para diluição da amônia (NH_3). Esta é uma substância bastante tóxica, cuja eliminação acontece na própria superfície corporal, por meio de brânquias ou rins.

A eliminação de amônia apresenta como vantagem pequeno gasto energético na conversão do grupo amina. Além disso, eliminar amônia é um processo econômico, mas que depende de grande disponibilidade de água.

Com suprimento mais restrito de água, os animais terrestres precisam converter amônia em produtos menos tóxicos, como ureia e ácido úrico, que demandam menor perda de água.

Ureotélicos

Animais que excretam **ureia**. Em função da tonicidade (concentração de solutos no meio) do ambiente ou em virtude da menor disponibilidade de água, precisam converter o grupo amina, retirado dos aminoácidos, em ureia, substância menos tóxica e solúvel.

Embora demande maior gasto energético, esse processo promove maior economia de água, já que a necessidade de diluição da ureia é menor. Anelídeos, moluscos aquáticos, peixes cartilagosos, répteis aquáticos (tartaruga) e mamíferos são animais ureotélicos.

Durante a metamorfose, os anfíbios passam por profundas transformações morfológicas e fisiológicas, as quais os capacitam a mudar do ambiente aquático para o úmido. Os girinos, formas larvais, excretam amônia. No entanto, durante a metamorfose, passam a gradativamente excretar ureia na fase adulta.

Mamíferos também excretam ureia como principal resíduo nitrogenado, pois é uma substância solúvel em água e bastante difusível através das membranas vivas, podendo atravessar a placenta. Embriões dos mamíferos desenvolvem-se no útero materno e trocam materiais permanentemente com a mãe. Do organismo materno, pela placenta, recebem nutrientes, água, oxigênio e anticorpos e enviam para a mãe gás carbônico e outros resíduos metabólicos – como a ureia, produzida no fígado por meio de uma série de reações que caracteriza o ciclo da ureia ou da ornitina.

Uricotélicos

Animais que têm o **ácido úrico** como resíduo nitrogenado. Insetos, aves e répteis eliminam essa substância, insolúvel em água e ainda menos tóxica que a ureia. Em aves e répteis, o ácido úrico (na forma de cristais) mistura-se aos restos alimentares não digeridos, sendo que tudo é eliminado pela cloaca, em forma de pasta semissólida. Diante da evidente economia de água, a eliminação de ácido úrico adiciona vantagens importantes a aves e répteis, pois seus embriões se desenvolvem no interior de ovos dotados de casca calcária. Isso impede o dessecamento e a eliminação de resíduos diretamente no meio. Assim, aves e répteis armazenam essas substâncias no interior do ovo, em compartimento separado do embrião.

O ácido úrico pode ser armazenado com o embrião em desenvolvimento, sem representar risco de intoxicação. De todos os processos de excreção de resíduos nitrogenados, a do ácido úrico, mesmo que necessite de pouquíssima água para diluição, representa maior gasto energético. Esse fato é plenamente compatível com a vida em ambiente escasso de líquidos e se relaciona à permanência dos embriões no interior de ovos adaptados ao desenvolvimento.

Guanina

Esta é uma base nitrogenada constituinte das moléculas dos ácidos nucleicos. Os aracnídeos são um grupo de animais que excretam esse resíduo, sendo uma exceção quando comparados aos outros seres vivos, em especial os artrópodes.

MECANISMO DE OSMORREGULAÇÃO

No curso da evolução, os vertebrados se adaptaram à osmorregulação de maneiras diferentes para sobreviver em diversos ambientes.

A água salgada é um meio muito mais concentrado (hipertônico) do que o meio interno dos peixes ósseos marinhos. Essa diferença de concentração faz com que esses animais percam água por osmose, através das brânquias e da superfície corporal. Por apresentarem rins pouco desenvolvidos, a excreção é feita na forma de amônia. O excesso de sais é, então, eliminado por transporte ativo em glândulas presentes nas brânquias.

Os peixes cartilagosos marinhos, como os tubarões, toleram elevadas concentrações sanguíneas de ureia, o que os torna **isotônicos**, ou seja, apresentam a mesma concentração que o ambiente – adaptação chamada **uremia fisiológica**.

Os peixes ósseos de água doce estão em meio hipotônico (de menor concentração) em relação ao seu meio interno. Por serem mais concentrados osmoticamente que o meio, esses animais recebem água do ambiente pelo processo de osmose e perdem íons por difusão. Sendo assim, os peixes ósseos de água doce ingerem somente a água presente nos alimentos e eliminam muita urina diluída por meio dos rins. Como a perda de íons pelas brânquias não é compensada na reabsorção renal, aumentam a concentração do sangue ao realizarem a reabsorção iônica nas próprias brânquias, por transporte ativo.

Aves e répteis marinhos têm a **glândula de sal**, localizada acima dos olhos. Tal estrutura os tornam capazes de eliminar o excesso de sal obtido dos alimentos. Assim, o nível dessa substância na corrente sanguínea é reduzido.

Um dos maiores problemas dos mamíferos na adaptação aos diferentes ambientes é a retenção de água. Trata-se de questão particularmente complexa para os que vivem em ambientes muito secos (como os desertos) e para os mamíferos marinhos, como as baleias. Um tegumento relativamente impermeável revestido por queratina envolve os mamíferos, que podem produzir urina mais concentrada que os fluidos corporais, representando uma forma de eliminar solutos sem perder muita água. Os rins desses animais têm considerável capacidade de reabsorção de água.

Regulação do equilíbrio ácido-base

Esse processo é essencial para regular a homeostase e está associado ao sistema urinário. Consiste no ajuste do pH para estabelecer o equilíbrio do organismo, relacionado principalmente ao efeito tamponante dos íons bicarbonato.

Além disso, a excreção de urina ácida ou alcalina auxilia a manutenção do pH corporal. O pH do plasma humano está, habitualmente, entre 7,36 e 7,44 e o da urina, por sua vez, oscila entre 4,5 e 8,0. Se o pH do sangue tende à alcalose (pH > 7,44), o rim elimina urina alcalina e retém H^+ . Em caso de acidose (pH < 7,36), o rim produz urina ácida e retém íons bicarbonato.

Controle na concentração de íons

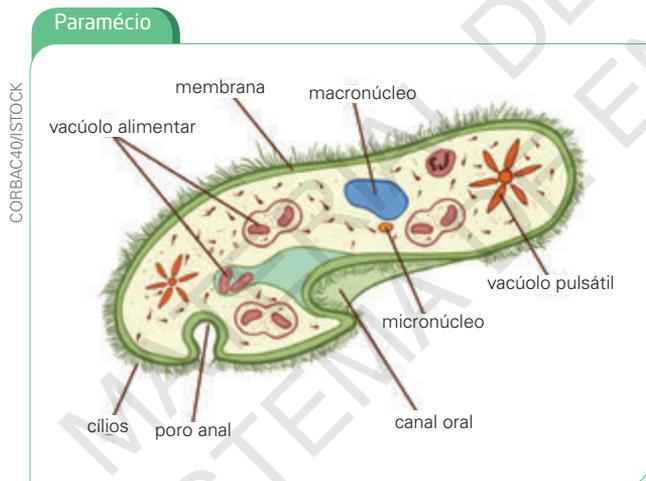
Os rins de vertebrados atuam no controle das concentrações de íons, como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- . Esses órgãos são de extrema importância, porque participam de processos bioquímicos fundamentais, como potencial de membrana de células eletricamente excitáveis, contração muscular, coagulação sanguínea e diversos outros processos metabólicos e celulares.

Sistema urinário comparado

Os mecanismos de excreção nos diversos grupos animais variam de acordo com a complexidade de suas atividades metabólicas e com a substância nitrogenada a ser excretada.

PROTOZOÁRIOS

Nesses organismos, a eliminação de resíduos ocorre por meio da difusão do interior das células para o meio externo. Nos protozoários de água doce, o vacúolo pulsátil (contrátil) elimina a água e os resíduos tóxicos. Quanto mais hipotônico o meio, maior é a frequência de pulsações do vacúolo, a fim de eliminar o excedente hídrico e evitar a destruição da estrutura celular.



Esquema da morfologia do *Paramecium saudatum*, espécie de protozoário que apresenta vacúolo pulsátil. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

PORÍFEROS E CNIDÁRIOS

Estes animais não contam com sistema urinário estruturado e eliminam resíduos para o meio externo por difusão.

PLATELMINTOS

Apresentam sistema urinário formado por órgãos tubulares com uma extremidade aberta e outra fecha-

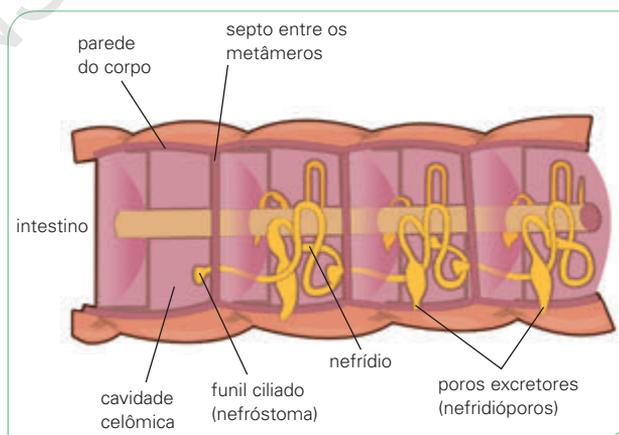
da, chamadas de **protonefrídeos**. O batimento dos flagelos das células-flama desses animais faz as excretas percorrerem os tubos excretores que desembocam na epiderme. Assim, a eliminação das excretas nitrogenadas desses seres ocorre principalmente por meio dos nefridióporos presentes na parede corporal.

NEMATELMINTOS

Esses seres realizam excreção por meio de dois mecanismos: as excretas nitrogenadas são eliminadas por difusão, e as demais, incluindo íons e água, pelos **renetes**. Estes são células grandes em formato de "H", compostas de dois canais que se estendem longitudinalmente pelo corpo do nematódeo e se unem por um canal transversal na região anterior. As substâncias a serem excretadas difundem-se para esses canais e são eliminadas por um poro ventral anterior, próximo à boca.

ANELÍDEOS E MOLUSCOS

A excreção desses animais acontece pelos **metanefrídios**. Trata-se de estruturas presentes aos pares em cada segmento do corpo, constituídas de longos e delgados túbulos que funcionam como pequenos rins. Uma de suas extremidades, a **nefróstoma** (em forma de funil de borda ciliada), abre-se na cavidade corporal (celoma). Esta estrutura tem a função de filtrar as excreções a partir do líquido celomático circulante, sendo direcionadas para o interior dos túbulos. Na outra extremidade dos metanefrídios, o **nefridióporo**, orifício de eliminação das excreções, abre-se para fora do corpo.



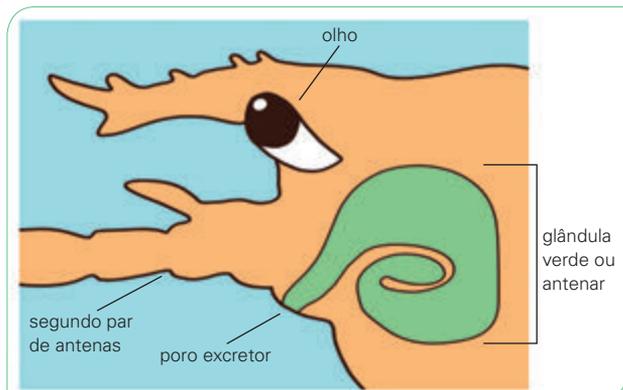
Sistema urinário da minhoca (anelídeo). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

ARTRÓPODES

As estruturas excretoras desses animais são bastante diversas entre os diferentes grupos. Insetos, diplópodes e quilópodes apresentam como órgão excretor os **túbulos de Malpighi**, estruturas delgadas que partem do intestino médio e ficam imersos na hemocele. A união dos túbulos de Malpighi com o intestino desses animais faz as excretas nitrogenadas serem lançadas ao ambiente com as fezes.

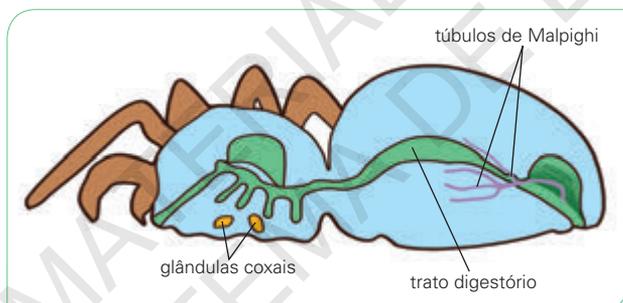
Esses animais excretam principalmente **ácido úrico**, substância insolúvel e pastosa que reduz a perda de água. Esse processo consiste em uma adaptação desses seres à vida terrestre.

A excreção dos crustáceos depende de glândulas localizadas na cabeça – as **glândulas verdes** (também chamadas de antenas) e as **glândulas mandibulares**. Essas estruturas filtram a hemolinfa e removem suas excretas, que são, por fim, eliminados no ambiente pelos poros presentes nas antenas.



Localização das glândulas verdes – estruturas que compõem o sistema urinário dos crustáceos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Os **aracnídeos** apresentam como órgãos de excreção túbulos de Malpighi e **glândulas coxais**. Estas estão localizadas na região do cefalotórax e realizam filtração das excreções a partir da hemolinfa circulante. Elas são posteriormente eliminadas para o meio externo por meio de poros associados às glândulas coxais. Nesses seres, os túbulos de Malpighi atuam da mesma forma que nos insetos.



Glândulas coxais e túbulos de Malpighi, componentes do sistema urinário dos aracnídeos. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

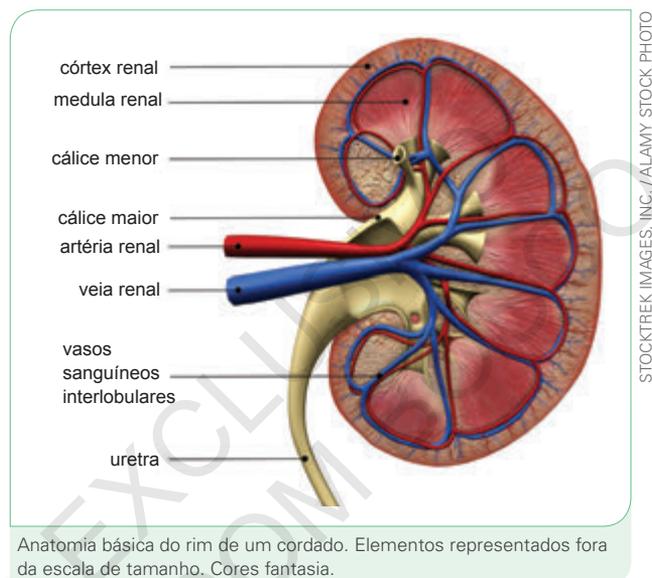
EQUINODERMOS

Esses animais não apresentam estrutura especializada para excreção, a qual se realiza por difusão através de toda a superfície do corpo. Além disso, parte da excreção ocorre com o auxílio do sistema ambulacral.

CORDADOS

Os túbulos excretórios desses seres concentram-se em órgãos chamados **rins**. As extremidades coletoras

dos túbulos não são abertas como nos nefrídios e estão associadas aos vasos sanguíneos. A unidade funcional dos rins é o néfron, porção que participa da filtração sanguínea, da reabsorção de nutrientes e da secreção de excretas para formar a urina.



Anatomia básica do rim de um cordado. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Sistema imunitário humano

Todos os dias, nosso organismo é exposto a milhares de microrganismos e, se não houvesse um sistema especializado de defesa, ficaríamos sujeitos a muitas doenças. Nosso corpo conta com dois mecanismos principais de defesa: os inespecíficos, comuns a todos os indivíduos, e os específicos, que são próprios de cada agente patogênico.

A maioria das doenças gera sintomas no organismo. A febre, por exemplo, é um sintoma de grande importância para nosso sistema imunitário, pois o aumento da temperatura corporal facilita a ação das células de defesa que atuam em temperaturas acima de 37,5 °C. A temperatura normal humana varia de 36 °C a 37 °C e é por isso que normalmente os medicamentos antitérmicos são recomendados quando a febre é associada a outros sintomas ou quando supera a temperatura de 39 °C.

Órgãos linfoides

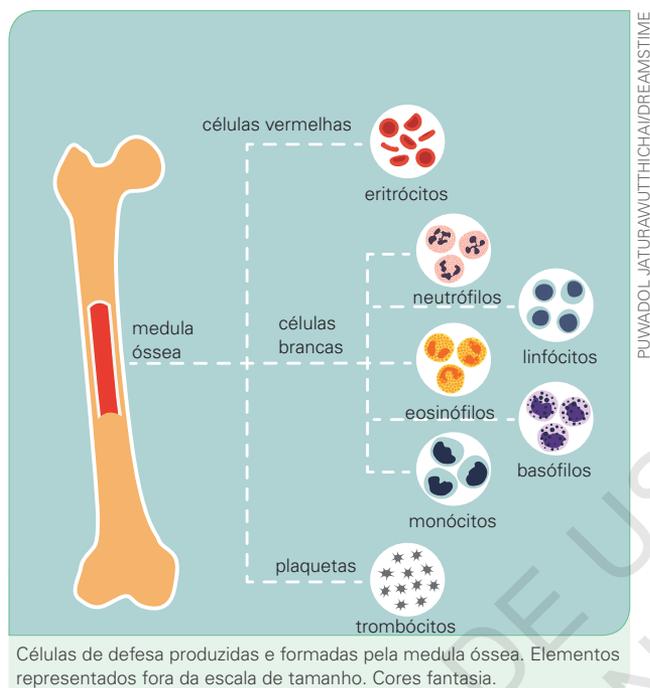
O sistema imunitário, também chamado de sistema imune ou imunológico, é formado pelos órgãos linfoides associados a uma rede de vasos. Essas estruturas reconhecem os agentes externos e patógenos a fim de produzir uma resposta imune específica. Os órgãos linfoides são divididos em **primários** e **secundários**.

ÓRGÃOS PRIMÁRIOS

São aqueles que apresentam como principal função a maturação das células de defesa, representados pelo **timo** e pela **medula óssea**. Os leucócitos são as

células de defesa produzidos na medula, de modo que alguns são maturados no timo.

A medula óssea, além da função sustentadora, é responsável pela hematopoiese (formação das células sanguíneas), pelo armazenamento de ferro para a síntese de hemoglobina pela formação dos **pró-linfócitos** e **linfoblastos T**. Essas células não são capazes de gerar uma resposta imune, mas os pró-linfócitos se direcionam para o timo para formar os linfócitos T, e os pró-linfócitos para os órgãos secundários para se desenvolverem.



PUWADOL JATURAWUTTHICHA/DREAMSTIME

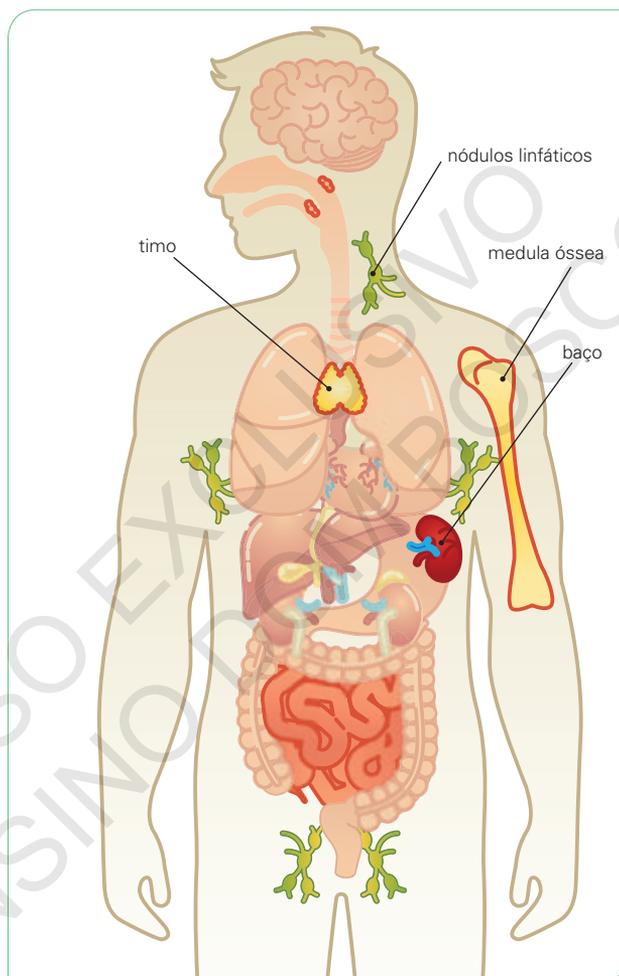
ÓRGÃOS SECUNDÁRIOS

São aqueles que recebem células geradas nos órgãos primários e neles ocorrem sua proliferação e transporte. São eles que efetivamente participam do processo de elaboração da resposta imune: os linfonodos, tonsilas, baço, gânglios linfáticos e o apêndice.

No córtex dos linfonodos estão localizados os **nodos linfáticos**, estruturas ricas em **linfócitos B** em processo de maturação, e pode-se até mesmo encontrar macrófagos e plasmócitos. Os nodos linfáticos são pequenos órgãos em formato de feijão, perfurados por canais existentes em diversos pontos da rede linfática (rede de ductos que faz parte do sistema linfático). Sua principal função é filtrar a linfa, eliminando bactérias, vírus, restos celulares e diversas outras substâncias.

Com a função de drenar o líquido intersticial que não retornou às vênulas e coletar microrganismos e resíduos celulares dos tecidos, os **vasos** desembocam em ductos principais, o ducto linfático torácico e o ducto linfático direito. Outros constituintes do sistema imunitário são o **baço**, que participa do processo de hematopoiese, hemocaterese (renovação de hemácias) e da liberação de células linfoides maduras, com capaci-

dade de direcionar a resposta imune para o sangue. As **tonsilas** (anteriormente chamadas de amígdalas), são conjuntos de nódulos linfáticos localizados na cavidade bucal (tonsilas palatinas e linguais e nasofaríngeas).



Na ilustração notam-se os principais órgãos do sistema imune. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

VECTORMINE/SHUTTERSTOCK

Defesas inespecíficas

As defesas inespecíficas **não diferenciam o tipo exato do agente invasor** e atuam sempre da mesma maneira em todos os indivíduos. Esses mecanismos são os primeiros sistemas de defesa utilizados pelo nosso organismo para combater agentes invasores por meio de barreiras físicas e químicas.

A pele e as mucosas do sistema digestório, respiratório e urogenital são formadas por epitélios, constituídos de células firmemente aderidas umas às outras, as quais atuam como **barreiras físicas** à entrada de microrganismos e outros agentes estranhos ao organismo.

Na superfície de contato com o ambiente, a pele contém uma camada espessa de queratina, cuja propriedade impermeabilizante dificulta o acesso de organismos patogênicos. Além disso, secreções químicas produzidas por glândulas sudoríparas e sebáceas são lançadas na superfície da pele, tornando seu pH ácido (entre 3 e 5). Esse conjunto de fatores atua como **barreiras químicas**,

uma vez que reduzem a viabilidade e a capacidade de proliferação de muitas bactérias e outros microrganismos. O suor, por exemplo, contém grande quantidade da enzima denominada lisozima, capaz de fragmentar a parede celular de bactérias; as lágrimas e a saliva encerram moléculas que auxiliam na destruição de microrganismos; as secreções mucosas (muco) sintetizadas e liberadas pelas células caliciformes presentes no epitélio respiratório da traqueia, por exemplo, retêm agentes invasores posteriormente expelidos pela cavidade nasal; e o ácido clorídrico liberado por células do epitélio do estômago auxilia na morte de microrganismos ingeridos com os alimentos, uma vez que o potencial de hidrogênio (pH) ácido estabelecido inviabiliza a sobrevivência deles.

Se a pele, as mucosas e as secreções forem vencidas, o agente invasor se depara com células que, em conjunto, são chamadas de **fagócitos**. Essas células realizam o processo de **fagocitose**, emitindo pseudópodes (prolongamentos da membrana celular) que englobam os agentes estranhos para serem digeridos intracelularmente.

KATERYNA KONISHUTTERSTOCK

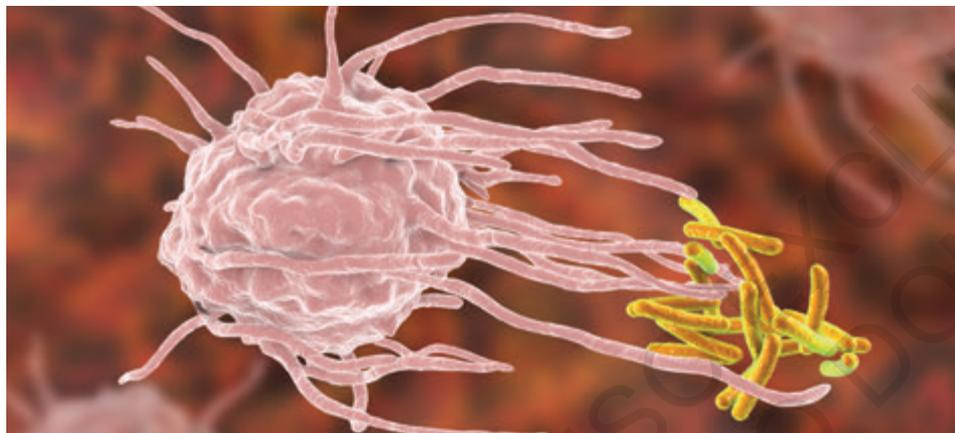


Ilustração de um macrófago fagocitando bactérias da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*). Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

Observe no quadro a seguir os principais tipos de fagócitos.

Principais tipos de fagócitos	
Fagócitos	Funções
Basófilos	Liberam histamina e heparina em infecções.
Eosinófilos	Produzem histaminas em infecção.
Neutrófilos	Realizam fagocitose e digestão dos microrganismos.
Mastócitos	Liberam histamina quando o tecido é lesado.
Monócitos	Diferenciam-se em macrófagos.
Macrófagos	Fagocitam patógenos e apresentam antígenos.
Células dendríticas	Apresentam antígenos e linfócitos T; produzem anticorpos e diferenciam-se em plasmócitos.

Dependendo do grau de invasão dos agentes estranhos, pode acontecer não somente a ativação dos fagócitos, mas a deflagração de uma resposta mais intensa e complexa, a **resposta inflamatória**. A inflamação do tecido lesado ocorre de imediato, independentemente da presença de bactérias na região, e é provável que isso aconteça como procedimento preventivo.

RESPOSTA INFLAMATÓRIA

O processo inflamatório é a segunda etapa da atuação do sistema imunitário. Esse mecanismo ocorre em decorrência da presença de um agente externo ou de um dano nos tecidos. Tem como principal função conter a infecção local, impedindo que os microrganismos se espalhem pelo corpo.

A resposta inflamatória tem início com os sinais enviados por células da área próxima ao tecido lesado pelo microrganismo. Várias células percebem os sinais, a exemplo dos mastócitos no tecido conectivo. Elas participam da reação inflamatória,

liberando várias das moléculas acumuladas no seu citoplasma (grânulos citoplasmáticos) para a matriz, como a histamina, que atua sobre capilares sanguíneos próximos, os quais dilatam e se tornam mais permeáveis às células oriundas do sangue. Com a **vasodilatação** e consequente **aumento do fluxo sanguíneo local**, a área torna-se avermelhada. O aumento da permeabilidade vascular dá maior acesso a células vindas do sangue que vão participar da resposta inflamatória, além de responder pelo **inchaço local** decorrente do extravasamento do plasma através dos vasos dilatados. As substâncias liberadas no local inflamado provocam uma irritação nas terminações nervosas e esta é a principal causa de dor nas regiões inflamadas.

O passo seguinte é a migração das células de defesa (leucócitos na **diapedese**) através dos capilares sanguíneos até o local da lesão. Os **leucócitos neutrófilos** são os leucócitos atraídos para o local da inflamação com a percepção de sinais químicos liberados pelo tecido lesado. O pus que se forma nos processos de infecção bacteriana constitui-se de neutrófilos mortos que foram mobilizados para combater a inflamação, bactérias, proteínas e plasma extravasado. Já os monócitos, durante o evento inflamatório, podem realizar diapedese e se transformar em macrófagos, auxiliando no combate aos agentes invasores e na limpeza do local onde haja infecção, uma vez que essas células fagocitam restos celulares e neutrófilos que morreram durante o evento inflamatório.

Defesas específicas

Caso a defesa inespecífica não seja suficiente, os mecanismos de defesa específicos que formam o **sistema imunológico adaptativo** entram em atividade.

IMUNIDADE

Durante o desenvolvimento do indivíduo, o sistema imunitário sofre especializações, como a capacidade de produzir anticorpos. A imunidade pode ser dividida em dois tipos: a celular e a humoral.

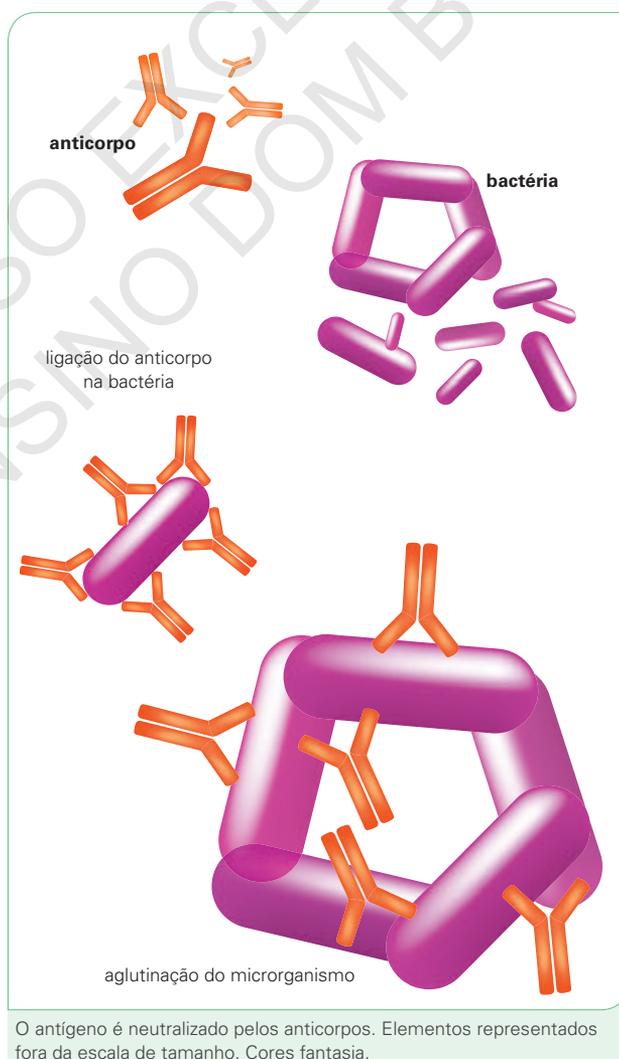
Imunidade celular

Na resposta imunitária, **antígeno** é o elemento reconhecidamente estranho ao organismo (exemplo: proteínas de membrana, parede celular de bactérias e fungos, pólen inalado etc.). O organismo responde por meio da produção e secreção de **anticorpos**, glicoproteínas que se ligam diretamente ao antígeno correspondente, neutralizando-o.

A imunidade celular é realizada principalmente por meio da atuação dos **linfócitos T**. Quando um antígeno invade o organismo, os macrófagos são capazes de reconhecer, sinalizar e fagocitar o invasor. Esses são identificados por células denominadas **linfócitos T auxiliares (CD4)**, também conhecidos como **células apresentadoras de antígenos**. Com o reconhecimento do antígeno, os **linfócitos T citotóxicos killer (ma-**

tador CD8) são ativados para combater diretamente o microrganismo invasor. Os linfócitos T citotóxicos não realizam fagocitose, mas secretam por exocitose moléculas que causam perfurações na membrana, levando à entrada de água e consequente lise (quebra) desse agente invasor.

O vírus da imunodeficiência humana (HIV, na sigla em inglês), causador da síndrome da imunodeficiência adquirida (sida ou aids), destrói células pertencentes a uma subclasse de linfócitos T, o que inviabiliza a resposta contra infecções. Isso torna os portadores dessa doença suscetíveis à infecção por agentes oportunistas, como a bactéria da tuberculose e *Pneumocystis carinii*, bactéria que reside inofensivamente nos pulmões de pessoas soronegativas para o HIV. Falhas no sistema imunitário podem também estar diretamente relacionadas com o desenvolvimento de câncer em alguns órgãos, como o sarcoma de Kaposi, tumor que afeta o tecido linfático.



GRAPHIC_BKK1979/ISTOCK

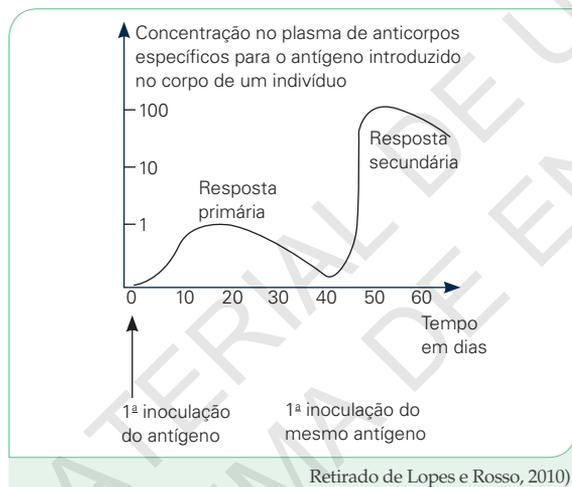
Imunidade humoral

A imunidade humoral está relacionada aos **linfócitos B**. Trata-se de células especializadas na produção de anticorpos (imunoglobulinas) produzidas na medula óssea vermelha, onde também são maturadas. Os

linfócitos B podem ser estimulados pelos linfócitos T auxiliares, desencadeando a diferenciação dos linfócitos B ativados em células denominadas plasmócitos, os quais vão produzir anticorpos específicos contra antígeno específico. Ao mesmo tempo que muitos linfócitos B se diferenciam em plasmócitos, outros se transformam em **linfócitos B de memória** (células de memória). Essas células se replicam quase indefinidamente, originando toda uma linhagem de células idênticas capazes de reconhecer o antígeno.

Caso a pessoa entre em contato com o mesmo agente infeccioso, essas células diferenciam-se em plasmócitos e desencadeiam rápida e intensa produção de anticorpos. Por isso, o organismo cria resistência contra certas doenças infecciosas.

A **resposta secundária**, aquela desencadeada na segunda exposição aos mesmos antígenos, é muito mais rápida e intensa que a resposta primária. Em geral, o sistema imunitário de uma pessoa leva cerca de uma semana para produzir anticorpos em nível suficiente para neutralizar determinados antígenos quando expostos a eles pela primeira vez. Na segunda exposição, o organismo é capaz de alcançar esse nível no prazo de apenas 6 a 12 horas. Sem tempo de se instalar e proliferar, o agente infeccioso não provoca novamente a doença. Alguns exemplos de doenças que criam imunidade são sarampo, catapora, caxumba e rubéola.



Habitualmente, doenças causadas por bactérias não ativam o sistema imune. A explicação mais comum para isso é o fato de antígenos bacterianos terem peso molecular menor que os antígenos virais e são, por isso, menos imunogênicos. Assim, a aquisição de células de memória não é estimulada, o que justifica a dificuldade de obtenção de certas vacinas, por exemplo, contra as bactérias hemófilo e meningococo, microrganismos frequentemente associados a meningites em crianças.

IMUNIZAÇÃO ATIVA E IMUNIZAÇÃO PASSIVA

O emprego da resposta imunitária revela-se um poderoso aliado da medicina no tratamento e na pre-

venção de doenças infecciosas. O processo de tornar o indivíduo protegido contra uma doença chama-se **imunização**, que pode ser ativa ou passiva.

Normalmente, as formas ativas são duradouras ou até permanentes, e as formas passivas de imunização são transitórias.

Imunização ativa natural e artificial

A **imunização ativa natural** consiste na produção de anticorpos pelo próprio organismo, ao entrar em contato com o antígeno de forma natural. Isso acontece, por exemplo, quando uma criança adquire caxumba ou sarampo. Uma vez curada a doença, a aquisição de células de memória deixa a imunidade permanente, e a doença dificilmente volta a acometer a mesma criança. Muitas vezes, o contato com o agente infeccioso é suficiente para desencadear a produção de anticorpos e a aquisição de imunidade, mesmo que a doença não se manifeste.

Em outros casos envolvendo doenças com agentes altamente mutáveis, como o vírus da gripe, nosso organismo cria células de memória específica para o vírus com que teve contato. Porém, não produzimos imunidade para as mutações, e a chance de contrairmos novamente alguma outra gripe torna-se possível.

A **imunização ativa artificial** consiste na produção de anticorpos pelo próprio organismo quando estimulado por vacinas que possuam antígenos capazes de desencadear resposta imunitária sem causar a doença.

As vacinas apresentam função profilática ou preventiva e podem ser compostas de:

- **agentes infecciosos mortos:** vacina antioque-luche e contra a poliomielite;
- **agentes infecciosos vivos atenuados:** vacina antissarampo, *Bacillus Calmette-Guérin* – BCG (contra tuberculose), da febre amarela etc.;
- **toxinas atenuadas:** vacina antitetânica, antidif-térica etc.);
- **fragmentos do agente infeccioso:** vacina contra hepatite B.

Se uma pessoa vacinada contra certa doença entra em contato com seu agente causador, rapidamente produz anticorpos e o inativa; sua ação não é imediata, pois o organismo demora algum tempo para produzir anticorpos; seu efeito é duradouro, pois estimula a produção de células de memória.

Imunização passiva natural e artificial

Na **imunização passiva natural**, o indivíduo recebe anticorpos de outro indivíduo por via natural. Os principais mecanismos de transferência são a **gestação** e a **amamentação**, por isso, é importante amamentar o bebê com o leite materno durante o período recomendado.

Através da placenta ocorrem trocas de substâncias entre o sangue materno e o fetal, sem misturá-los. A passagem desses materiais acontece por difusão, através das membranas da placenta, portanto, limita-

da pelo peso molecular das substâncias envolvidas. Moléculas muito grandes não atravessam a barreira placentária. A criança nasce com grande quantidade de anticorpos, que permanecem no seu organismo de 6 a 9 meses, importante período em que, associado ao aleitamento materno, dificilmente contrai certas doenças, como o sarampo.

O leite materno não é apenas o mais adequado alimento ao recém-nascido; trata-se, ainda, de um poderoso artifício de prevenção e combate às infecções que a criança recebe da mãe. O leite materno contém anticorpos específicos contra doenças que costumam acometer os recém-nascidos de cada espécie. Logo, os anticorpos contidos no leite de vaca não são úteis aos seres humanos para a imunização. Particularmente importante é o leite produzido nos primeiros dias após o parto, o **colostro**, aparentemente mais aguado, pois contém menos gordura. O colostro tem uma elevada concentração de anticorpos que protegem o tubo digestório da criança, constituindo eficiente barreira contra infecções intestinais. De fato, diarreias infecciosas são raras em crianças amamentadas com colostro.

Na **imunização passiva artificial** o indivíduo recebe anticorpos de outro indivíduo por meio da inoculação de **soro hiperimune**, um tipo de gamaglobulina hiperimune com elevada concentração de determinado tipo de anticorpo.

O soro hiperimune possui função curativa ou terapêutica, porque inativa os antígenos. Como o organismo recebe os anticorpos prontos, tem ação imediata e seu efeito é passageiro, pois não estimula a produção de células de memória.

Na produção do soro antiofídico, certa quantidade de veneno de determinada espécie de serpente é inoculada no cavalo repetidas vezes. Depois de o cavalo estar suficientemente imunizado, coleta-se o sangue do animal e separa-se do plasma, do qual é purificada a fração contendo os anticorpos. No caso, interessam em especial os anticorpos específicos para o veneno da serpente. Em função da elevada especificidade dos anticorpos, cada soro só é eficaz contra determinado tipo de veneno, por isso é importante a identificação da espécie de serpente para que o acidentado receba o soro adequado.

LEITURA COMPLEMENTAR

Os perigos do movimento antivacinas

A vacinação pode ser considerada uma das mais importantes conquistas da ciência, além de ser o meio mais seguro e eficaz de prevenir doenças infectocontagiosas e a estratégia de saúde pública mais eficiente de contenção de surtos por infecção. A queda nas taxas de vacinação de bebês e crianças no Brasil e no mundo é extremamente preocupante, porque promoveram o retorno de doenças que eram consideradas erradicadas, como o sarampo, que já tem mais de 300 casos confirmados nos estados de Roraima e Amazonas [2014].

Mesmo sendo uma prática ilegal no Brasil por afetar o Estatuto da Criança e do Adolescente, que torna obrigatória a vacinação, movimentos antivacinas cresceram muito no Brasil e no mundo nas últimas décadas. Os principais argumentos do movimento, que envolve principalmente pessoas de maior poder aquisitivo, incluem mitos relacionados à incidência de autismo em crianças vacinadas, questionamento sobre a qualidade das vacinas e seus efeitos colaterais.

Mais que um gesto de cuidado com nossos filhos, o cumprimento do calendário de vacinação vai muito além dos benefícios individuais, pois é também um importante mecanismo de responsabilidade social, auxiliando na erradicação de doenças de impacto na saúde pública do país.

Sociedade Brasileira de Pediatria (SBP). Os perigos do movimento antivacinas. 18 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.sbp.com.br/imprensa/detalhe/nid/os-perigos-do-movimento-antivacinas/>>. Acesso em: jan. 2019. (Adaptado)

ROTEIRO DE AULA

EXCREÇÃO E HOMEOSTASE

excretas nitrogenadas

amônia

alta toxicidade

solubilidade alta

ambientes aquáticos

representantes:
nematelmintos
moluscos
peixes ósseosplatelmintoslarvas de anfíbioscrustáceos

ureia

toxicidade: média

média solubilidade

ambientes: aquáticos e
terrestresrepresentantes:
anelídeos
anfíbios adultosmamíferospeixes cartilagosos

ácido úrico

baixa toxicidade

solubilidade: baixa

ambientes terrestres

representantes:
répteisavesinsetos

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

DEFESAS INESPECÍFICAS

processo inflamatório

barreiras

físicas

químicas

DEFESAS ESPECÍFICAS

primárias

secundárias

imunidade celular

imunidade humoral

linfócitos T

auxiliares (CD4)

plasmócitos

linfócitos T
citotóxicos (CD8)

linfócitos B
de memória

IMUNIZAÇÃO

passiva

natural

leite materno

artificial

soro

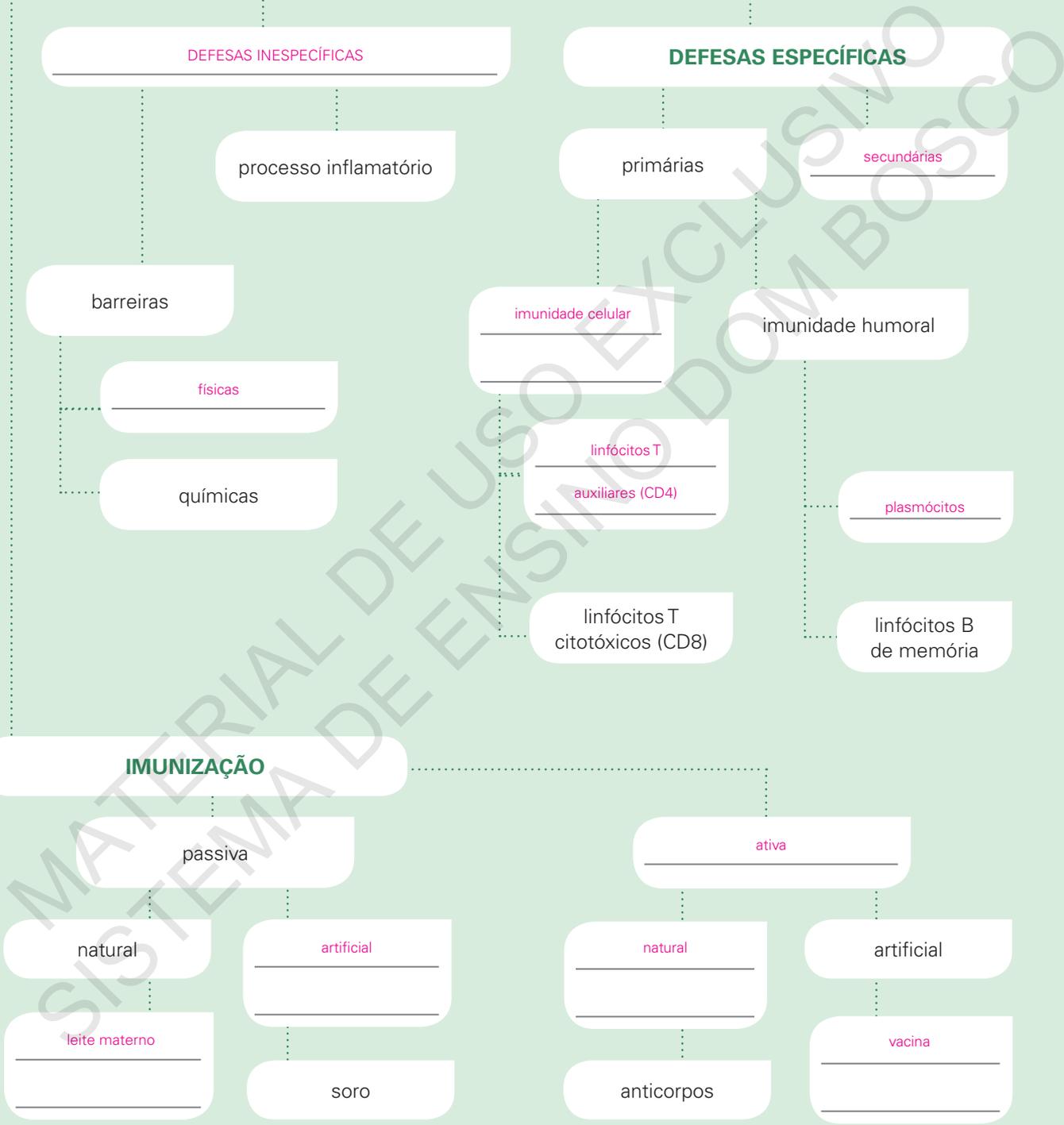
ativa

natural

anticorpos

artificial

vacina



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFPR – O metabolismo celular dos animais gera substâncias nitrogenadas que são eliminadas pelo processo de excreção. Acerca desse processo, considere as seguintes afirmativas:

- I. A amônia é tóxica para o organismo, mas, por ser bastante solúvel em água, é rapidamente difundida e eliminada por animais que vivem em ambiente aquático.
- II. Nas aves, a amônia é convertida em ureia, que é menos tóxica que a amônia e demanda um volume relativamente grande de água para sua eliminação.
- III. Insetos convertem amônia em ácido úrico, produzindo uma urina mais concentrada, pois o ácido úrico é pouco tóxico e tem baixa solubilidade em água.
- IV. Mamíferos excretam principalmente ureia, que, por ser menos tóxica, pode ser armazenada temporariamente no corpo sem risco de intoxicação.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 2 e 4 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 1, 3 e 4 são verdadeiras.**
- e) As afirmativas 1, 2, 3 e 4 são verdadeiras.

A alternativa 2 está incorreta. As aves excretam o ácido úrico com as fezes.

2. Unicid-SP (adaptado) – As glândulas lacrimais de alguns animais marinhos, como a tartaruga, são adaptadas a esse ambiente e auxiliam no importante processo fisiológico osmorregulador. Em contrapartida, a presença de narinas indica que o sistema respiratório é adaptado ao ambiente terrestre. O que é a osmorregulação? Cite o principal sistema responsável por esse processo.

Osmorregulação é a capacidade dinâmica que certos animais aquáticos

têm de manter a pressão osmótica de seus fluidos corpóreos estável

em determinada faixa em relação à pressão osmótica do meio em que

vivem. Os animais marinhos, como tartarugas, tubarões e outros peixes

cartilagineos, conseguem manter a tonicidade do sangue próxima à da

água do mar por meio do acúmulo de ureia, excreta nitrogenado produ-

zido e eliminado pelo sistema urinário.

3. UEPG-PR – Considerando-se os sistemas de excreção e os produtos excretados por diversos organismos, assinale o que for correto.

- 01)** Animais aquáticos podem excretar diretamente a amônia, pois, apesar de ser muito tóxica, também é muito solúvel em água. Já os animais terrestres teriam que gastar muita água para excretar amônia, correndo risco de desidratação.

02) O sistema urinário dos protozoários é formado por células-flama, as quais excretam restos alimentares por um orifício na parte distal do animal.

04) Os embriões da maioria dos répteis, aves e insetos excretam amônia através de poros situados na casca do ovo, impedindo assim que o embrião se intoxique com a substância.

08) Os anfíbios adultos e os mamíferos excretam ureia, a qual, por ser menos tóxica que a amônia, pode ser eliminada de forma mais concentrada, levando à economia de água pelo animal.

16) Os anelídeos possuem um sistema urinário composto de túbulos de Malpighi, sendo que parte da excreção também pode ser realizada por difusão, através da superfície do corpo.

09 (01 + 08)

As células-flama estão presentes em platelmintos. Os protozoários excretam por difusão e/ou por vacúolos pulsáteis. Os embriões da maioria de répteis, aves e insetos excretam ácido úrico. Os anelídeos excretam por metanefrídeos.

4. Fatec-SP – No Brasil, as mulheres assalariadas têm assegurado o direito a uma licença de 120 dias, período durante o qual podem amamentar regularmente seus filhos. No entanto, é recomendável que as empresas busquem meios de permitir que suas funcionárias estendam o período da licença. Isso porque, além dos propósitos afetivo e social, a amamentação é uma adaptação biológica importante para os mamíferos em geral, já que ela

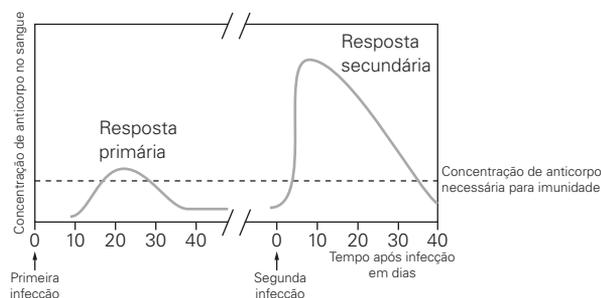
- a) garante que as fêmeas engravidem novamente sem que ocorra a ovulação.
- b) garante que o filhote possa chegar à fase adulta sem doenças autoimunes.
- c) fornece as organelas citoplasmáticas, que formarão a bainha de mielina do filhote.
- d) fornece antígenos maternos, que permitem a digestão enzimática dos cátions Ca^{2+} .
- e) fornece ao filhote anticorpos maternos, que fortalecem o sistema imune dele.**

A amamentação fornece nutrientes, água e anticorpos que fortalecem o sistema imunológico dos mamíferos.

5. FMP-RS

C4-H15

O gráfico a seguir ilustra a resposta imunológica de um indivíduo frente a duas exposições a um agente infeccioso, em relação à produção de anticorpos.



Observando-se o gráfico, notam-se diferenças na resposta entre a primeira e a segunda infecções. A principal diferença entre as duas infecções e a sua justificativa correspondente são, respectivamente,

- a) a resposta imunológica à segunda infecção ocorreu mais rápida e intensamente, pois a primeira infecção gerou uma memória imunológica.
- b) a resposta primária não alcançou o nível de anticorpos capaz de reagir com o antígeno, pois somente no segundo contato as células de memória produziram os anticorpos.
- c) a resposta secundária foi muito maior, pois a carga do antígeno se acumulou ao longo das duas infecções.
- d) o pico de produção de anticorpos ocorreu mais cedo na primeira infecção, pois houve a adaptação do sistema imune.
- e) uma maior produção de anticorpos ocorreu na primeira infecção, pois acarretou a ativação de células de memória.

A resposta imunológica secundária é mais rápida e mais intensa devido à ação dos linfócitos de memória produzidos após a primeira exposição ao antígeno.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

6. UFSC



© Joaquín Salvador Lavado (QUINO) TODA MAFALDA / Fotoarena

A busca por novas formas de imunização é uma constante na humanidade. Sobre este tema, assinale a(s) proposição(ões) correta(s).

- 01) Vacinas são métodos de imunização ativa que contêm em sua composição anticorpos contra o agente infeccioso.
- 02) Um antígeno pode ser caracterizado como uma molécula capaz de promover a ativação do sistema imune, sendo essa molécula endógena ou exógena.
- 04) As vacinas contêm antígenos que induzem o organismo a produzir anticorpos específicos.
- 08) Vacinas e soros são métodos de imunização que agem de forma semelhante na estimulação do sistema imunológico.
- 16) Espera-se que uma vacina induza à produção de anticorpos inespecíficos.
- 32) Alergias e doenças autoimunes são respostas imunes nocivas ao organismo.

38 (02 + 04 + 32)

As vacinas contêm antígenos mortos, atenuados ou toxoides, isto é, toxinas atenuadas. As vacinas contêm antígenos que estimulam o sistema imunológico a produzir anticorpos específicos. Os soros contêm anticorpos prontos que atuam de forma terapêutica. As vacinas induzem à produção de anticorpos contra antígenos específicos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Unicamp-SP** – Em relação à forma predominante de excreção dos animais, é correto afirmar que

- a) peixes são animais amoniotélicos; aves e répteis são ureotélicos; e mamíferos são uricotélicos.
- b) a ureia é altamente tóxica e insolúvel em água, sendo a principal excreta das aves.
- c) peixes, exceto os condrictes, são amoniotélicos; e aves e répteis adultos são ureotélicos.
- d) a amônia é altamente tóxica e necessita de um grande volume de água para ser eliminada.

8. **PUC-RJ** – Com relação à excreção nos animais vertebrados, é **incorreto** afirmar que

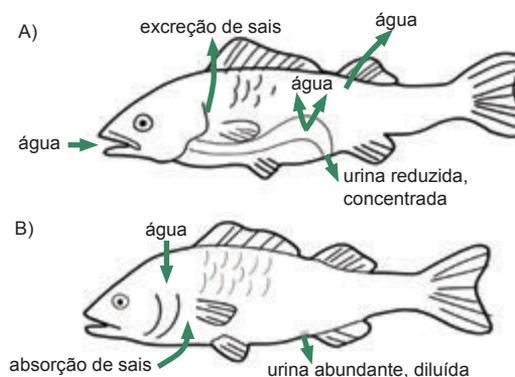
- a) diversos animais aquáticos, incluindo peixes e larvas de anuros, excretam amônia, que, apesar de ser muito tóxica, também é muito solúvel em água.
- b) diversos animais terrestres como mamíferos e adultos de anfíbios excretam ureia, que é menos tóxica que a amônia e, portanto, pode ser eliminada de forma mais concentrada.
- c) a maioria dos répteis (incluindo as aves) excreta ácido úrico, que é muito solúvel em água.
- d) não é considerada como excreção a eliminação de restos de comida pelas fezes.

9. **Fuvest-SP** – Em mamíferos saudáveis, a concentração de excreta nitrogenado difere na urina de herbívoros comedores de grama e de carnívoros estritos.

a) Que excreta nitrogenado está presente na urina dos animais de cada um desses grupos?

b) Em qual desses grupos de animais a concentração de excreta nitrogenado é maior? Justifique sua resposta.

10. Mackenzie-SP



O esquema, acima, mostra como ocorre a manutenção osmótica em duas espécies de peixes. A esse respeito, considere as seguintes afirmativas.

- I. No peixe A, a eliminação de sais pelas brânquias ocorre de forma passiva.
- II. A ingestão de água no peixe A repõe a água perdida por osmose.
- III. O peixe B elimina amônia como principal excreta nitrogenado.
- IV. No peixe B, tanto a absorção de sais como a de água ocorrem de forma ativa.

Estão corretas apenas as afirmativas

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

11. **UERJ** – A amônia é produzida pelos organismos vivos, especialmente durante o catabolismo dos aminoácidos. Por ser muito tóxica, alguns vertebrados a incorporam, antes da excreção, como ácido úrico ou como ureia. Cite um vertebrado que excreta diretamente amônia e identifique o principal órgão excretor dessa substância. Aponte, também, uma vantagem de adaptação ambiental relativa às aves e outra relativa aos répteis, por excretarem ácido úrico, substância pouco solúvel em água.

12. **UPF-RS** – Além de manterem o balanço de sais e água, os animais precisam eliminar de seu fluido extracelular os produtos do metabolismo. Proteínas e ácidos nucleicos, por exemplo, contêm nitrogênio e, por isso, sua metabolização gera produtos nitrogenados, além de água e dióxido de carbono. Os animais excretam tais produtos nitrogenados de diferentes formas.

Assinale a alternativa que relaciona corretamente os grupos de animais ao principal tipo de produto nitrogenado que excretam:

Animais	Principal produto nitrogenado excretado
a) Insetos, répteis e aves	Ácido úrico
b) Mamíferos e anfíbios adultos	Amônia
c) Invertebrados aquáticos e peixes ósseos	Ureia
d) Aves, répteis e mamíferos	Ácido úrico
e) Mamíferos e aves	Ureia

13. **FGV-SP** – O Instituto Butantan está na fase final dos testes da vacina contra a dengue, a qual imunizará as pessoas, com uma só aplicação, para os quatro sorotipos virais existentes.

Com base no aspecto imunológico, é correto afirmar que a vacina produzida pelo instituto Butantan contém

- a) quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunitária primária.
- b) um tipo de antígeno que estimula a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunitária primária.
- c) quatro tipos de anticorpos que estimulam a produção de quatro tipos de antígenos, na resposta imunitária secundária.
- d) quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de um tipo de anticorpo, na resposta imunitária primária.

14. **CFTMG** – O veneno de escorpião contém proteínas com ação lesiva sobre o sistema nervoso e outros constituintes envolvidos no processo da dor e da inflamação. No Ceará, após serem picadas por esse artrópode, algumas pessoas apresentaram melhora do sintoma de dor crônica articular causada pela chicungunha. Dessa forma, espera-se que, ao receber o soro antiescorpiônico, um paciente com essa doença não desenvolva sintomas como paralisia, fraqueza muscular, edemas e urticárias na pele.

Disponível em: <<http://blogs.ne10.uol.com.br/casasaudavel/2017/09/15/escorpiaoapesquisadores-brasileiros-investigam-se-veneno-pode-ser-util-oara-tratar-dores-dachicungunha/>>. Acesso em: set. 2017. (Adaptado)

Esses benefícios ocorrerão porque o paciente recebe

- a) anticorpos contra os compostos do veneno.
- b) toxina viral atenuada para síntese de antígenos.
- c) antígenos que neutralizarão a toxina escorpiônica.
- d) proteínas que estimulam a produção de anticorpos.

15. **UFPR** – A raiva é uma zoonose viral que se caracteriza como uma encefalite progressiva aguda e letal. Todos os mamíferos são suscetíveis ao vírus da raiva e, portanto, podem transmiti-la. É considerada um problema de saúde pública, principalmente em países em desenvolvimento. O uso da vacina e do soro são parte do programa de profilaxia da raiva.

Produto I: preparado a partir de plasma de equinos hipersensibilizados com vírus rábico.

Produto II: preparado a partir de vírus da raiva, cultivados sobre células. Após o crescimento em cultura de células, os vírus são concentrados, inativados e purificados.

Considerando os produtos I e II descritos, qual deles é um soro e qual é uma vacina? Justifique sua resposta.

16. Fuvest-SP – Desde 2013, a cobertura vacinal para doenças como caxumba, sarampo, rubéola e poliomielite vem caindo ano a ano em todo o país, devido, entre outros motivos, I . Contudo, sabe-se que a vacina é o único meio de prevenir essas doenças e consiste na inoculação de II .

As lacunas I e II podem ser corretamente preenchidas por:

- a)** I. à baixa incidência dessas doenças atualmente, não representando mais riscos à saúde pública. II. anticorpos que estimulam uma resposta imunológica passiva contra uma doença específica, em pessoas saudáveis
- b)** I. a movimentos antivacinas, que têm se expandido pelo mundo. II. vírus patogênicos modificados em laboratório, causando a cura pela competição com os vírus não modificados da pessoa doente
- c)** I. a movimentos antivacinas, que têm se expandido pelo mundo. II. antígenos do agente patogênico, estimulando uma resposta imunológica ativa, em pessoas saudáveis
- d)** I. ao alto custo dessas vacinas, não coberto pelo sistema público, o que as torna inacessíveis à grande parte da população. II. antígenos do agente patogênico para garantir a cura em um curto espaço de tempo, em pessoas doentes
- e)** I. à baixa incidência dessas doenças atualmente, não representando mais riscos à saúde pública. II. anticorpos específicos produzidos em outro organismo, que se multiplicam e eliminam o agente patogênico, em pessoas doentes

17. UFU-MG – Os casos de sarampo nos Estados Unidos chamam atenção para os direitos dos grupos antivacinas. Com o aperfeiçoamento e a popularização das imunizações, ele foi controlado na maioria dos países. Em dezembro do ano passado, no entanto, o sarampo ressurgiu. Até agora, no total, 121 pessoas foram identificadas com a doença. A origem do surto está associada ao crescente espaço conquistado por grupos adeptos do movimento antivacinas, avessos à imunização.

LOPES, A. D.; MELO, C. Surto de imprudência. *Revista Veja*, Editora Abril, edição 2413, ano 48, n. 7, 18 fev. 2015, p. 68-71 (adaptado).

a) Qual é o agente etiológico e a forma de transmissão da doença em discussão pelo grupo adepto do movimento antivacinas?

b) Descreva o mecanismo da imunização contra a doença por meio de vacina.

c) Agentes de saúde afirmam que apenas os lactentes cujas mães já tiveram sarampo ou foram vacinadas possuem, temporariamente, anticorpos que conferem imunidade, geralmente ao longo do primeiro ano de vida. Por que isso é possível?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco C4-H16

A conquista definitiva do ambiente terrestre

Algumas características permitiram a conquista definitiva do ambiente terrestre pelos répteis. Essas características estão relacionadas, principalmente, ao fato de eles dependerem da água para respirar e se reproduzir. A pele dos répteis é altamente queratinizada, sem glândulas de muco e revestida por escamas ou placas ósseas. Isso dificulta a perda de água através da superfície do corpo e protege os répteis da dessecação. A pele impermeável não permite a realização de trocas gasosas através da epiderme. Dessa forma, a respiração nos répteis é exclusivamente pulmonar.

BRITES, Alice Dantas. *Pedagogia & Comunicação*. Uol. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/ciencias/repteis-primeiros-vertebrados-a-conquistar-o-ambiente-terrestre.htm>>. Acesso em: 26/11/2018.

A conquista do ambiente terrestre pelos répteis também se relaciona com seu sistema urinário, que elimina excretas de baixa ou nenhuma toxidez e pode economizar a água que seria utilizada para diluir excretas mais tóxicas. Sobre o sistema urinário desses animais, é correto afirmar que

- a)** todos os répteis excretam ácido úrico.
- b)** os répteis aquáticos (tartarugas) excretam ureia.
- c)** todos os répteis excretam amônia.
- d)** os répteis crocodilianos excretam ureia.
- e)** os répteis aquáticos (tartarugas) excretam ácido úrico.

19. Enem C4-H14

O deserto é um bioma que se localiza em regiões de pouca umidade. A fauna é, predominantemente, composta por animais roedores, aves, répteis e artrópodes.

Uma adaptação, associada a esse bioma, presente nos seres vivos dos grupos citados é o(a)

- a)** existência de numerosas glândulas sudoríparas na epiderme.
- b)** eliminação de excretas nitrogenadas de forma concentrada.
- c)** desenvolvimento do embrião no interior de ovo com casca.
- d)** capacidade de controlar a temperatura corporal.
- e)** respiração realizada por pulmões foliáceos.

20. Enem

C5-H17

Imunobiológicos:
diferentes formas de produção, diferentes aplicações



Embora sejam produzidos e utilizados em situações distintas, os imunobiológicos I e II atuam de forma semelhante nos humanos e equinos, pois

- a) conferem imunidade passiva.
- b) transferem células de defesa.
- c) suprimem a resposta imunológica.
- d) estimulam a produção de anticorpos.
- e) desencadeiam a produção de antígenos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

12

RECOMPOSIÇÃO HISTÓRICA E EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

- As ideias fixistas
- As ideias transformistas
- A vida em evolução
- Restrições evolutivas

HABILIDADES

- Compreender que os pilares dos conhecimentos na Antiguidade grega eram pautados no essencialismo, *scala naturae* e na teleologia.
- Compreender que os povos primitivos tiveram mitos de criação e que estes foram absorvidos pelas diferentes religiões.
- Associar o histórico de pensadores e cientistas para entender como concluíram as teorias de evolução biológica mais aceitas nos dias atuais.
- Reconhecer o processo de evolução biológica para compreender as evidências derivadas desse processo.
- Assimilar as diferentes evidências evolutivas.
- Conhecer e compreender algumas das principais evidências da evolução biológica, como os fósseis, e as semelhanças anatômicas, fisiológicas e bioquímicas entre os seres vivos.

Por muitos séculos, a ideia de que as espécies poderiam se transformar ao longo do tempo foi também considerada absurda. Contudo, esse conceito mudou quando a observação da diversidade das espécies nos diferentes continentes, relacionada aos conhecimentos nas áreas de Paleontologia, Geologia, Biologia, entre outras ciências, confirmou que os seres vivos de hoje foram originados por meio das influências ambientais e reprodutivas, até chegar às espécies que conhecemos atualmente.

AS IDEIAS FIXISTAS

Os mitos da criação dos diferentes povos serviram como um arcabouço teórico para as diversas religiões explicarem a criação da Terra e de todos os seres vivos. O **criacionismo** é a crença de que o Universo é criação de um agente sobrenatural, que é representado em diversas versões de acordo com a cultura e a religião dos povos.

Os registros mais antigos de mitos gregos datam do século IX ao VIII a.C. Aos poucos, o pensamento mítico foi sendo substituído pelo pensamento filosófico e racional, especialmente entre gregos e indianos.

Entre os séculos VI e III a.C., os filósofos gregos passaram a buscar no mundo material as explicações para a origem de todas as coisas. O filósofo grego Platão, que viveu há aproximadamente 400 a.C., acreditava no **essencialismo**, ideia de que todos os seres foram criados por um Deus perfeito. Assim, seriam seres essenciais, perfeitos e originais. Platão entendia que cada ser vivo teria uma forma fixa, sem capacidade de sofrer transformações, ideia chamada de **fixista**. Com base nessa ideia, ele defendia a eugenia, na qual a reprodução deveria ser controlada, para que apenas os mais fortes, inteligentes e belos sobrevivessem, e assim garantiria a qualidade biológica das próximas gerações.

Com base nas ideias de Aristóteles, aos poucos a observação direta dos fenômenos passou a ocupar lugar de destaque na explicação do mundo. Modernamente, a observação e a descrição de fenômenos, o pensamento racional, a experimentação e a formulação de teorias formam a base das Ciências Naturais.

AS IDEIAS TRANSFORMISTAS

Na segunda metade do século XVIII, ideias iluministas começaram a influenciar os cientistas, levando-os ao questionamento dos ideais fixistas. As ideias de **transformação das espécies** envolvendo a compreensão de que elas poderiam sofrer transformações, fato que explicaria a existência de fósseis diferentes dos seres vivos vivos, começaram a ser pesquisadas por cientistas da época.

James Hutton (1726-1797), geólogo escocês, afirmava em seus trabalhos que as mudanças nas espécies podiam ser explicadas por mecanismos graduais; Erasmus Darwin (1731-1802), médico e avô de Charles Darwin (1809-1882), escreveu um tratado sobre as transformações ocorridas em plantas e animais domésticos. Thomas Malthus (1766-1834), economista inglês, constatou que o crescimento populacional aconteceu em progressão geométrica (P.G.) e ultrapassa sua habilidade de produção de alimento, que cresce em progressão aritmética (P.A.). Todos tinham, em seus trabalhos, ideias transformistas que contrapunham as ideias fixistas.

A VIDA EM EVOLUÇÃO

No século XIX, além dos estudos dos fósseis, a Geologia começava a se desenvolver e a concluir que a Terra teria passado por diversas transformações. Esses fatores em conjunto fizeram com que muitos cientistas da época acreditassem na evolução da vida na Terra.

A EVOLUÇÃO PARA LAMARCK

O naturalista francês Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) foi um dos principais defensores da ideia de evolução biológica, sendo o primeiro a elucidar uma teoria consistente para explicá-la.

Em 1809, publicou o livro *Philosophie zoologique*, no qual defendia que os organismos atuais teriam surgido de outros mais simples com tendências de se transformarem gradualmente ao longo do tempo em seres de maior complexidade. A evolução ocorreria de acordo com necessidades internas do organismo em uma sequência linear, que respeitaria duas leis básicas.

- **Lei do uso e desuso:** os órgãos mais usados desenvolver-se-iam mais, enquanto aqueles pouco utilizados seriam atrofiados e tenderiam a desaparecer com o tempo.
- **Lei da transmissão dos caracteres adquiridos:** as modificações desenvolvidas por um organismo (caracteres adquiridos) seriam transmitidas aos descendentes.

As ideias de Lamarck revolucionaram a Ciência; no entanto, existem diversas evidências contrárias à sua teoria. Por exemplo, filhos de um halterofilista não nascem musculosos, o que contraria a lei da transmissão dos caracteres adquiridos.

A EVOLUÇÃO PARA DARWIN E WALLACE

Em 1831, o naturalista inglês Charles Darwin embarcava no navio *HMS Beagle* para fazer a volta ao mundo em uma viagem exploratória com a missão de estudar a fauna, a flora e a Geologia dos locais visitados.

Durante os cinco anos dessa viagem, Darwin pôde observar a biodiversidade dos diferentes continentes visitados e coletar evidências para embasar seus estudos. Com esses estudos e com a leitura dos trabalhos de Malthus, Darwin concluiu que os indivíduos de uma população não são idênticos entre si e apresentam diversas variações para as mesmas características, assim como em determinadas situações nascem mais organismos do que o ambiente pode suportar, o que faz com que os poucos sobreviventes precisem disputar pelos recursos ambientais disponíveis, sobrevivendo somente os mais adaptados. Com base nesses preceitos, criou o conceito-chave da teoria evolucionista, a ideia de **seleção natural**.

Em 1858, o naturalista Alfred Russel Wallace (1823-1913) enviou a Darwin seu manuscrito, por meio do qual, após suas observações, chegou às mesmas ideias por ele propostas. Os dois publicaram juntos um en-

saio por uma instituição científica, a Linnean Society of London, defendendo suas ideias.

Finalmente, em 1859, Darwin publicou o livro *A origem das espécies por meio da seleção natural*. Nesse histórico livro, que revolucionaria a Biologia, foi proposta a teoria evolutiva, que constitui a base de todas as modernas teorias evolutivas.

A evolução por seleção natural

A seleção natural proposta por Darwin baseia-se nas seguintes características fundamentais de uma população:

- **variabilidade** – existem pequenas variações entre os indivíduos, que os tornam únicos;
- **crescimento** – com a reprodução dos indivíduos, uma população tende a crescer;
- **competição** – conforme a população cresce, os recursos diminuem (alimento, abrigo, espaço, parceiros reprodutivos etc.); com a falta de recursos, os indivíduos competem entre si, garantindo a própria sobrevivência e a reprodução.

Pela variabilidade, alguns indivíduos podem apresentar características que os favoreçam na competição por recursos. Por exemplo: em uma população de morcegos em determinado contexto ambiental, indivíduos com asas mais desenvolvidas e melhor voo podem ter mais chances de sobreviver e se reproduzir. Se os descendentes herdarem essas características favoráveis dos pais, ao longo das gerações elas tenderão a se perpetuar na maioria dos descendentes.

No entanto, nessa mesma população podem existir indivíduos com características desfavoráveis, que não contribuem para a sobrevivência em determinado contexto ambiental, por exemplo, morcegos com asas menores que voam lentamente. Por ter menos acesso aos recursos, a tendência é que esses indivíduos não consigam se reproduzir e deixarão menos descendentes, fazendo com que a característica desfavorável desapareça da população.

Um dos exemplos mais importantes na fundamentação teórica de Darwin foram os tentilhões do arquipélago de Galápagos. Ele observou que cada ilha apresentava tentilhões diferentes dos que existiam no continente. Ao voltar à Inglaterra e comparar as diferentes espécies, concluiu que, no passado, existiu um único tipo dessa ave, que posteriormente colonizou as ilhas.

O ambiente de cada ilha selecionou, ao longo das gerações, indivíduos com os bicos mais favoráveis à sobrevivência nesses locais de acordo com os alimentos disponíveis. Portanto, de um único tipo de tentilhão que viveu no continente, vários outros tipos (espécies) surgiram.

A árvore da vida

Darwin rompeu com a ideia de evolução linear proposta por Lamarck ao elucidar a árvore da vida, na qual várias espécies poderiam se originar de um **ancestral comum** (quebrando com o conceito de *scala naturae*).

Nesse modelo, a história da vida no planeta Terra é representada como uma árvore ramificada, na qual a base é o ancestral comum de todos os seres vivos. Com o passar do tempo, as mudanças no ambiente e a seleção natural teriam originado os ramos dessa árvore, ou seja, novos grupos de seres vivos.

Na árvore dos seres vivos, há ramos com representantes atuais e outros que só podem ser reconhecidos na forma de fósseis, já que não existem mais na atualidade. Isso reflete a capacidade de as espécies serem bem-sucedidas e deixarem descendentes ou extinguirem-se.

Uma das evidências dessa ancestralidade única comprovadas hoje pela genética é a expressão gênica por meio da síntese proteica, comum a todos os seres vivos.

A obra de Darwin causou um gigantesco alvoroço por não ser apenas uma divulgação científica mas também de domínio público. Pessoas fora do meio científico pela primeira vez tiveram contato com teorias que iam contra os pilares religiosos da época. O termo “evolução” começou a circular no meio científico e se popularizar apenas na 6ª edição do livro.

DO DARWINISMO À TEORIA SINTÉTICA (NEODARWINISMO)

No século XX, com os avanços nos conhecimentos sobre genética, cientistas começaram a questionar os pontos falhos da teoria de Darwin e incluir os conceitos de hereditariedade na teoria evolutiva.

Em 1900, as leis de Mendel foram redescobertas por De Vries (1848-1935) e explicadas mais claramente, provando que os fatores responsáveis pela hereditariedade se separam de forma independente na produção de gametas. De Vries afirmava que apenas as grandes mudanças surgidas repentinamente nos organismos poderiam explicar a evolução. Atribuía pouquíssima importância à seleção natural darwiniana. Ainda em 1900, Dobzhansky (1900-1975) inicia a **teoria sintética moderna**; em 1909, Thomas Morgan (1856-1945) foi responsável por inserir o termo “alteração genética” no meio científico. Ao trabalhar com Dobzhansky, uniram conceitos de genética com a história natural. Para os autores a criação de novas espécies é resultado de isolamento geográfico com a variabilidade genética.

Ronald Fisher (1890-1962), J. B. S. Haldane (1892-1964) e Sewall Wright (1889-1988) mostraram como a seleção natural operaria dentro das teorias mendelianas, trabalharam conceitos de genética de populações e foram os primeiros a usar inúmeras ferramentas matemáticas para medir mudanças evolutivas na natureza.

Em 1942, Huxley publica o livro *Evolução: síntese moderna*, em que reúne a teoria de Darwin com a genética e suas contribuições da sistemática e da paleontologia. Nele, finalmente se quebra a ideia em vigor de eugenia, afirmando-se que todos os seres vivos atuais são igualmente evoluídos, ao apresentar apenas complexidades distintas. Também, em 1942, Ernest Mayr (1904-2005) desenvolveu profundamente o conceito de especiação e da biogeografia evolutiva, o conceito de

espécie, a especiação com isolamento geográfico.

Watson (1928-) e Crick (1916-2004) descobrem a estrutura do DNA com base nas imagens de Rosalind Franklin (1920-1958) e afirmam que mutações conduzem à evolução. Em 1956, Patterson (1922-1995) apresenta o conceito de datação radiométrica, que possibilitou calcular que a Terra tem aproximadamente 4,5 bilhões de anos, provando que teria havido tempo suficiente para a evolução por seleção natural ter produzido a diversidade atual. Wilson (1934-1991), Sarich Subley (1934-2012) e Ahlquist (1917-1998) basearam seus estudos na busca de similaridades genéticas ao afirmarem que sequências genéticas são importantes ferramentas na determinação das relações evolutivas. Com base em seus estudos, foi possível provar que sequenciamento do DNA aproximaria seres humanos de outros primatas.

LEITURA COMPLEMENTAR

Qual é a diferença entre teoria e lei? Por que a seleção natural de Darwin é teoria?

Quando estamos em uma conversa informal, não é raro presenciar um diálogo no qual alguém fala: “tenho uma teoria” para tentar explicar algum fato ou algum acontecimento. O uso popular do termo não envolve comprovação dos fatos, é apenas um comentário pessoal sobre um acontecimento qualquer. Para a ciência, uma teoria é amplamente embasada por diversas pesquisas realizadas ao longo do tempo, e não é menos confiável que uma lei, sendo apenas coisas distintas. As teorias visam explicar fenômenos naturais, enquanto as leis são descrições generalistas desse fenômeno. Portanto, quando falamos na evolução como uma teoria, não diminui sua importância, e sim confirma seu embasamento científico.

Adaptado de: <http://cienciahoje.org.br/artigo/qual-a-diferenca-entre-teoria-e-lei-por-que-a-selecao-natural-de-darwin-e-teoria/>. Acesso em: fev. 2019.

EVIDÊNCIAS EVOLUTIVAS

Qual é a relação entre os seres humanos e os outros animais? Como os seres vivos evoluíram de um ancestral comum? Com base nas evidências evolutivas, a história filogenética dos seres vivos pode ser recomposta e os detalhes do passado de sua biologia revelados.

Nas últimas décadas, o estudo de registros fósseis associados às técnicas de análises morfológicas e moleculares em plantas têm possibilitado compreender melhor a evolução da vida desde a proposição da teoria da seleção natural por Darwin. Com base nesses estudos podemos conhecer como era a paisagem da Terra nas diferentes eras e como as plantas “prepararam” o ambiente terrestre para a colonização dos animais e as adaptações que sofreram ao longo da evolução.

Os estudos sobre evolução nos mostram que, apesar de todas as mudanças que os seres vivos ancestrais sofreram e transmitiram aos seus descendentes, os organismos apresentam relações entre si e a evolução continua a acontecer o tempo todo.

EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

A **evolução biológica** é um processo de descendência com modificação no qual as características de um indivíduo são alteradas pela seleção natural, à medida que passam por diferentes condições ambientais, e são transmitidas para seus descendentes ao longo do tempo. Chamamos de **biodiversidade** a multiplicidade de seres vivos do nosso planeta, levando em conta seus diversos aspectos: anatômicos, fisiológicos, moleculares etc. Estudar essa complexidade da vida é necessário para compreender os mecanismos evolutivos que moldaram a diversidade de seres vivos na Terra.

É comum ouvir que todas as espécies do planeta estão adaptadas a seus ambientes. Os seres vivos desenvolveram, ao longo da evolução, características tanto na forma como no funcionamento do corpo, que lhes permitem explorar o ambiente e perpetuar-se nele. Um exemplo é o revestimento do corpo dos seres vivos, que jamais teriam conquistado o ambiente terrestre sem “pele” apropriada.

O conceito de **adaptação** pode ser definido como a capacidade de sobrevivência e reprodução da espécie no ambiente em que vive a evolução adaptativa.

EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

Com base em estudos de ancestrais comuns, vários fatos da natureza podem ser explicados pela evolução. O estudo dos fósseis, a existência de formas intermediárias entre organismos, a presença dos mesmos tipos de estruturas moleculares em todos os seres vivos, a síntese proteica, as árvores filogenéticas, todos esses fatos são evidências moleculares e paleontológicas. E são indicações consistentes, mesmo considerando individualmente o padrão de ancestralidade comum dos seres vivos.

Em conjunto, essas evidências são prova clara da evolução biológica. Em síntese, elas resultam da ideia de que, quanto maiores são as semelhanças anatômicas, embrionárias e bioquímicas entre as espécies, maiores são a proximidade e o parentesco evolutivo entre elas.

A unidade da vida

Se todas as espécies tivessem surgido simultânea e independentemente, elas poderiam ter encontrado soluções semelhantes para os mesmos problemas, mas não deveriam apresentar uma homogeneidade estrutural, bioquímica e fisiológica.

Da mesma forma, a menos que descendam de um ancestral comum, não existe razão para explicar por que organismos tão diferentes, como bactérias, fungos, bananeiras, ostras, macacos e peixes, têm, todos, o DNA como molécula carregadora da informação genética. Nem seria o código genético responsável pela tradução dos genes em proteínas praticamente idêntico em todos esses organismos.

A cada ano são descobertas cerca de 4 000 novas espécies de seres vivos. Se, em uma delas, os ácidos nucleicos não forem a base da hereditariedade, ou seu código genético for diferente dos outros seres vivos, ou, de alguma maneira, apresentar seu ciclo completa-

mente diferente dos outros seres vivos, ou, ainda, se o ciclo de Krebs for substituído por outra via de produção aeróbica de energia, teremos uma boa evidência para falsear a teoria evolutiva.

Evidências moleculares

Uma das grandes evidências moleculares é que todos os seres vivos apresentam os mesmos 20 aminoácidos constituintes de suas proteínas, fator que corrobora o indício de que o sistema de codificação para a produção dessas moléculas foi herdado de um ancestral comum.

Em termos bioquímicos, quanto maior é a diferença na sequência de nucleotídeos e nas proteínas de duas espécies, maior é a distância evolutiva entre elas e, em contrapartida, quanto mais semelhanças existem na sequência dos aminoácidos de uma proteína ou de nucleotídeos do DNA, mais chances há de indicarem o grau de parentesco entre duas espécies.

A diferença entre o genoma humano e o de um chimpanzé é de menos de 1%, demonstrando, assim, grande proximidade evolutiva. Esses estudos só foram possíveis com o avanço de técnicas da Biologia Molecular e com os estudos avançados em genótipos.

Fósseis

O termo “fóssil” (do latim *fossile* = tirado da terra) refere-se a restos de seres vivos que viveram em épocas remotas ou qualquer vestígio deixado por eles. Entende-se por restos quaisquer estruturas que sobraram dos organismos mortos, como escamas, cascos, ossos, conchas. Há casos mais raros de preservação de organismos inteiros, como de mamutes no gelo e insetos em âmbar.

Vestígios são lembranças ou impressões de que um ser vivo esteve presente no local, como as pegadas de animais preservadas em cinzas vulcânicas endurecidas, por exemplo. Apesar da ausência de restos de animais, constitui exemplo de fóssil por ser um resquício da existência desses animais. O ramo das geociências que se ocupa do estudo dos fósseis é a **paleontologia**. Sua contribuição para compreender a evolução é extensa, permitindo documentar como foi a vida no passado e as mudanças que ocorreram. A reconstituição da história não pode ser feita de maneira integral, uma vez que o documentário fóssil normalmente é escasso, mas constitui forte evidência de como a vida se modifica ao longo do tempo e propicia a reconstrução de antigos ambientes facilitando o entendimento das atividades desses animais. Foi por meio da descoberta de fósseis que foi comprovada a ocorrência da extinção.

Fossilização é o termo utilizado para descrever o processo natural de formação de um fóssil. É extremamente complexo e lento, podendo durar milhões de anos. Por se tratar de um processo longo, os fósseis, na maioria das vezes, constituem-se de partes rígidas dos organismos, já que partes moles estão mais sujeitas a processos de decomposição. Os fósseis podem se formar com mais facilidade quando um animal é soterrado por sedimentos (areia ou argila) no fundo de

lagos ou mares, ou nos leitos dos rios. Com o tempo, o sedimento se compacta e forma rochas.

JOHN SIBBICK / SCIENCE PHOTO LIBRARY /
SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA

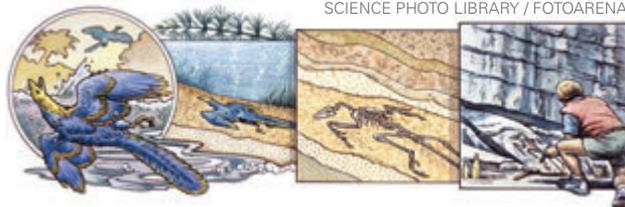


Ilustração simplificando o processo de fossilização e da descoberta do fóssil.

O **registro fóssil** documenta a história da vida, evidenciando o apogeu e o declínio de diferentes grupos de organismos ao longo do tempo. A idade de um fóssil corresponde aproximadamente à do terreno em que ele se encontra. Em geral, quanto mais profundo é o terreno, mais antigo é o fóssil. A idade absoluta das rochas e a dos fósseis são calculadas por meio da desintegração de elementos radioativos, como o urânio e o carbono 14, que funcionam como relógios naturais.

Padrões similares são observados em fósseis que documentam as origens de outros novos grupos principais de organismos, incluindo os mamíferos, as plantas com flores e os tetrápodes. Em cada um desses casos, o registro fóssil mostra que, com o tempo, descendentes com modificações produziram diferenças cada vez maiores entre os grupos de organismos relacionados, resultando na diversidade da vida atualmente.

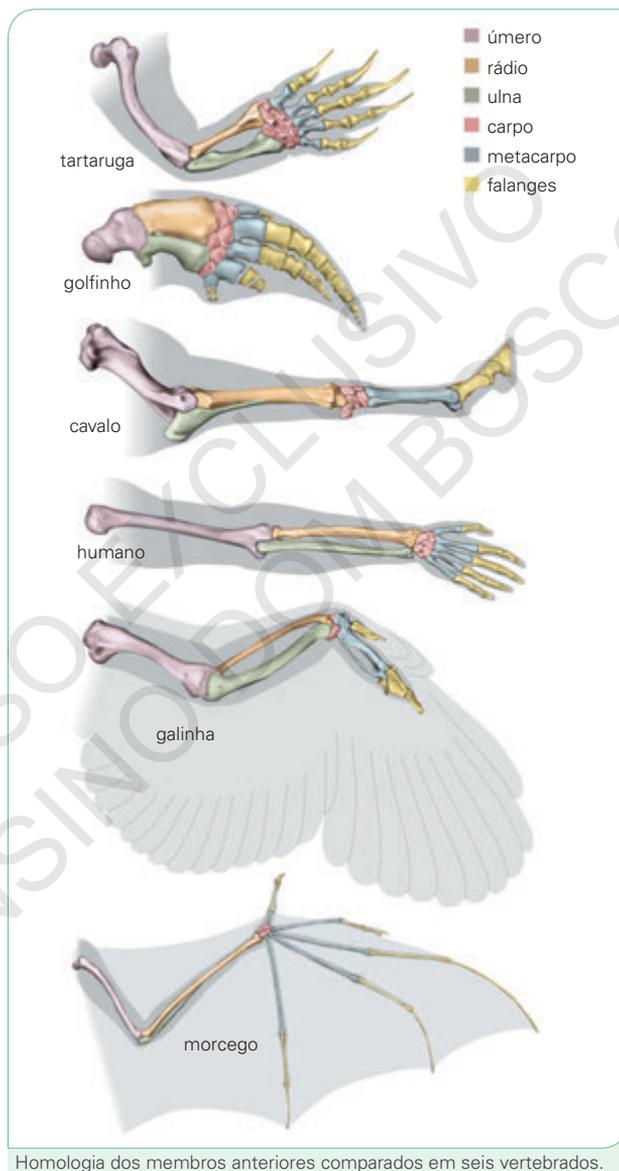
Anatomia comparada

Com base em estudos de anatomia comparada, os cientistas perceberam que muitos animais compartilham estruturas semelhantes. As semelhanças ocorrem porque esses animais descendem, em algum momento da evolução, de um mesmo ancestral, do qual herdaram o modelo de estrutura óssea. À medida que colonizavam ambientes diversos e adaptavam-se a eles, os ossos foram sendo selecionados a cada nova geração, mas conservando o padrão ancestral.

Os órgãos de mesma origem embrionária, mas de funções distintas, são chamados de **homólogos**. Observa-se como exemplo a homologia nos membros anteriores dos vertebrados: braços humanos, pernas/patas dianteiras de outros vertebrados, nadadeiras de golfinho, asas de morcegos e aves. Esses membros têm semelhanças esqueléticas estruturais, sendo possível até apontar ossos correspondentes na comparação. Essas semelhanças anatômicas são evidências evolutivas porque corroboram com a ideia de que todos os seres vivos são provenientes de um ancestral comum, sendo muito improvável o surgimento de todas essas estruturas em cada espécie.

O fenômeno pelo qual órgãos homólogos se adaptaram a funções biológicas diversificadas em grupos de animais chama-se **divergência evolutiva ou irradiação adaptativa**. Quanto ao número e ao comprimento dos dedos ou outra característica, as diferenças se devem à adaptação às funções específicas. Exemplos:

perda e fusão de ossos no golfinho e no cavalo; alongamento dos dedos e da pele do morcego para formar a estrutura da asa; extensão das penas para todo o comprimento do braço de aves.



Homologia dos membros anteriores comparados em seis vertebrados.

Determinados animais compartilham órgãos que desempenham a mesma função e, embora tenham origens embriológicas diferentes, são conhecidos como **análogos**. São exemplos de órgãos análogos as asas dos insetos e das aves, ambas adaptadas ao voo, mas de origens embrionárias diferentes. Denomina-se **convergência evolutiva ou adaptativa** o fenômeno pelo qual órgãos análogos se tornaram adaptados à mesma função biológica em diferentes grupos animais.

As **estruturas vestigiais** são remanescentes de estruturas que apresentavam funções nos organismos ancestrais. Em geral, têm tamanho reduzido e perderam sua função ou passaram a desempenhar funções distintas e importantes em determinada espécie. Existem casos de órgãos que se manifestam no estado embrionário e desaparecem durante o desenvolvimento ou na

fase adulta. A presença dessas estruturas pode servir como indicativo de evidência do grau de parentesco evolutivo.

São exemplos de órgãos vestigiais: o apêndice cecal ou vermiforme reduzido e aparentemente sem função nos humanos e nos animais carnívoros, mas bem desenvolvido nos animais herbívoros, nos quais atuam no processo de digestão da celulose, realizada por microrganismos (bactérias e protozoários) que vivem nesse apêndice; ossos de quadril sem função nas baleias são vestígios de sua provável descendência de mamíferos terrestres. Em humanos: dentes do siso ou terceiros molares, que os ancestrais humanos herbívoros utilizavam para triturar tecido vegetal; músculos que movimentam as orelhas reduzidos e compensados pelo movimento da cabeça, em comparação com os dos macacos; vértebras no final da coluna fundem-se para formar o cóccix, cuja função inicial seria auxiliar no equilíbrio e na mobilidade, como em outros animais.

Embriologia comparada

Embriões de diversas espécies de vertebrados apresentam muitas estruturas comuns. Geralmente, quanto mais precoce é a fase embrionária, mais parecidos são os embriões, até mesmo os de grupos diferentes de animais. Os embriões de todos os cordados, aquáticos e terrestres, exibem bolsas, sulcos e fendas (arcos) na faringe, os quais originam brânquias funcionais nos protocordados, peixes e anfíbios, não acontecendo o mesmo nos cordados terrestres. Nos seres humanos, essas estruturas formaram órgãos como tonsilas, timo, ossículos da orelha média, palatinas, glândulas paratireoides, meato acústico externo, entre outros.

Essas e outras estruturas constituem mais um indicativo de que os cordados compartilham um mesmo ancestral evolutivo, que teriam transmitido esses caracteres a todas as demais espécies do grupo.

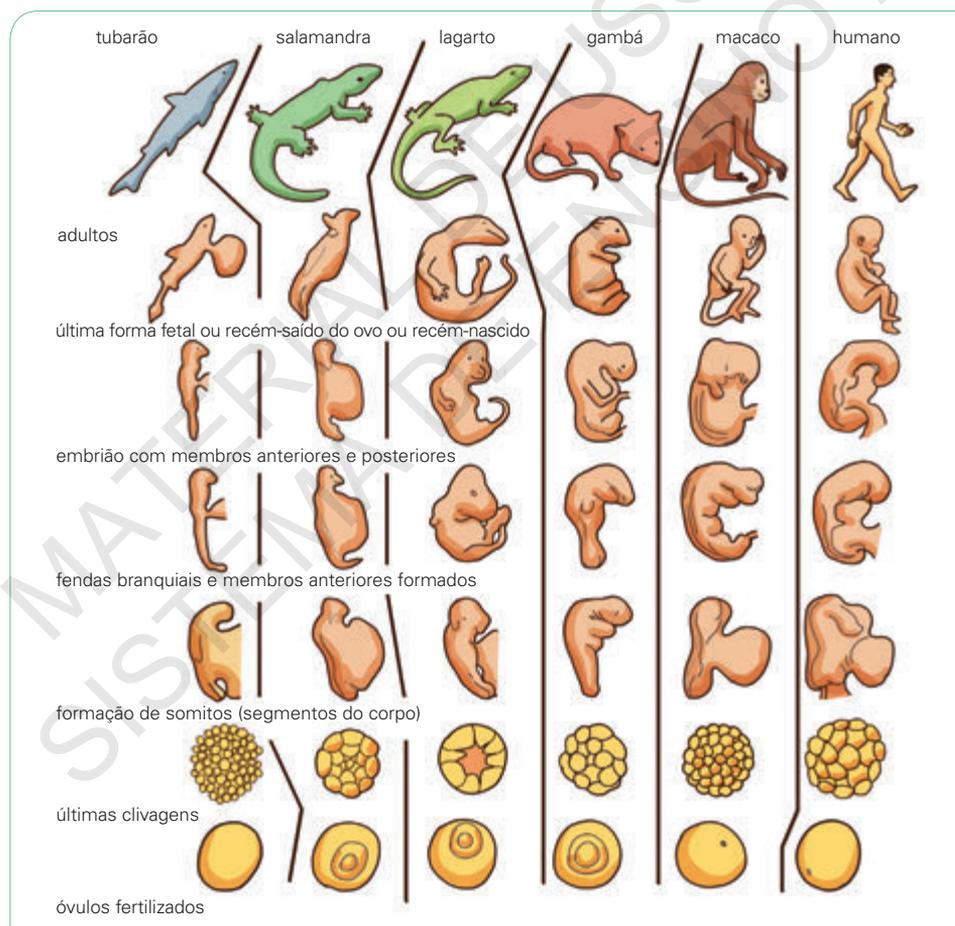


Ilustração da embriologia comparativa, do peixe ao ser humano, que demonstra os estágios de embriões (em fileira) de seis espécies: tubarão, salamandra, lagarto, gambá, macaco e ser humano. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

RESTRIÇÕES EVOLUTIVAS

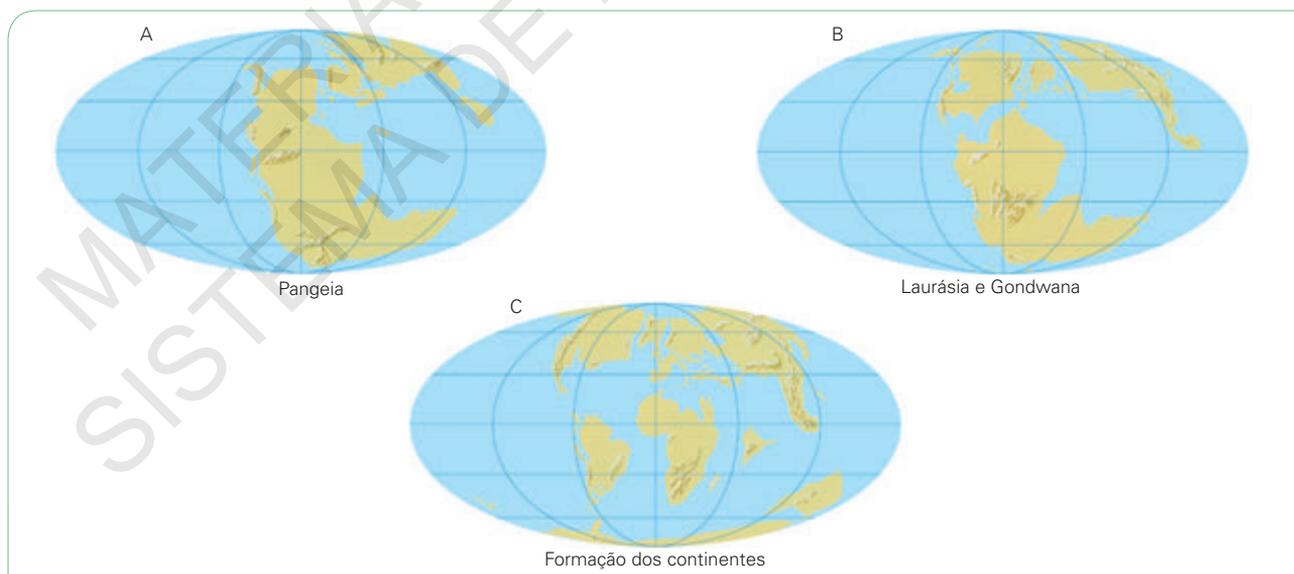
Uma das consequências da evolução é que as espécies, ao se adaptarem a novas condições, necessariamente sofrem modificações de estruturas preexistentes. Se todas as espécies houvessem aparecido simultaneamente, suas estruturas estariam adaptadas aos seus ambientes de maneira perfeita e independente. Por exemplo, não seria muito mais vantajoso ter asas além das quatro patas do que ter de escolher entre ter os membros superiores funcionando como braços ou como asas? E não seria muito mais conveniente para as baleias e os golfinhos se eles tivessem brânquias, em vez de necessitarem de todas as adaptações complexas para otimizar o uso do oxigênio do ar, mesmo vivendo no mar?

No entanto, o que observamos na natureza é o uso surpreendente de adaptações de estruturas preexistentes, para novas funções. Essas estruturas (como asas dos pinguins adaptadas à natação ou as membranas entre os dedos das mãos dos morcegos adaptados ao voo) são sempre restritas pelas contingências evolutivas dos seus ancestrais e demonstram a frequente conservatividade morfológica da natureza (ou, como Linnaeus dizia, *Natura non facit saltum*: “Natureza não faz saltos”). Se a evolução não existisse e criaturas na natureza tivessem aparecido ao mesmo tempo, desenhadas perfeitamente para suas funções, poderíamos ver mamíferos com asas verdadeiras ou com penas (que são melhores isolantes térmicos do que os pelos), aves aquáticas com nadadeiras, golfinhos com brânquias e aves corredoras (como o avestruz) com quatro patas, em vez de asas vestigiais.

BIOGEOGRAFIA

A biogeografia é o estudo das distribuições geográficas das espécies. Vários são os fatores que influenciam na distribuição dos organismos ao longo do globo terrestre, entre eles a **deriva continental** – movimento lento dos continentes ao longo do tempo. Há aproximadamente 250 milhões de anos os continentes eram unidos formando um único continente chamado Pangeia. Há 200 milhões de anos, os movimentos começaram a dividir a **Pangeia** em dois grandes continentes, a Laurásia e Gondwana. A Laurásia deu origem aos continentes da América do Norte e da Eurásia, e a Gondwana deu origem à África, à América do Sul e à Oceania.

Os conhecimentos biogeográficos são extremamente importantes para explicar a distribuição das espécies no planeta e também para explicar como duas ilhas, por exemplo, com ambientes semelhantes em lugares distintos do mundo não são colonizadas por espécies semelhantes, mas sim parecidas com as do continente mais próximo.



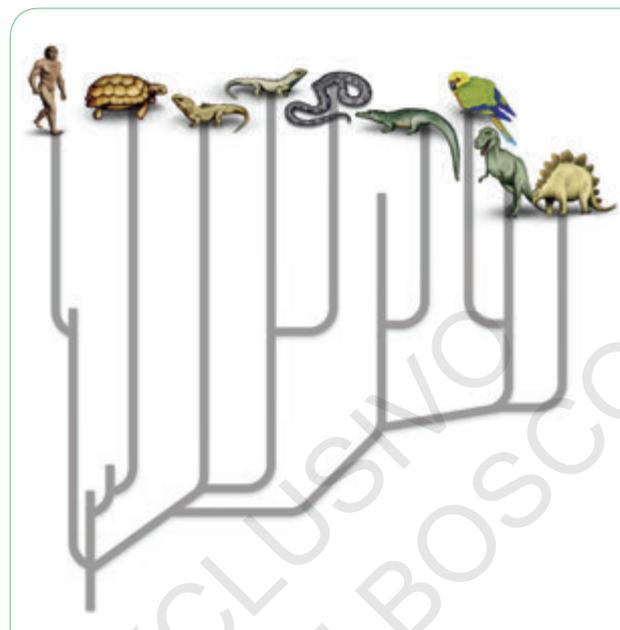
Mapa da ruptura da Pangeia do longo do tempo. (A) A Terra era formada por um grande continente chamado Pangeia há 200 milhões de anos. (B) Pela movimentação dos continentes, a Pangeia é dividida em dois grandes continentes, Laurásia e Gondwana, há aproximadamente 155 milhões de anos. (C) Há aproximadamente 66 milhões de anos, os continentes atuais começaram a ser formados e foram divididos em América do Norte, Europa, Ásia, América do Sul, África e Oceania.

ÁRVORES FILOGENÉTICAS

A diversidade do planeta foi produzida por especiações e mudanças, desde as espécies primitivas até as atuais, por isso é possível fazer uma árvore de classificação que não represente apenas as semelhanças e diferenças entre grupos, mas também reflita o padrão filogenético do grupo.

Se os caracteres dos seres vivos estão evoluindo continuamente, então esperamos que classificações construídas com vários caracteres independentes (morfologia, química, genética) sejam, de maneira geral, concordantes, e que as discordâncias eventuais possam ser explicadas dentro do próprio processo evolutivo.

A corroboração das **árvores filogenéticas** (árvores de classificação que refletem relações de parentesco entre as espécies) através de vários caracteres independentes é, talvez, a demonstração mais forte da realidade da evolução. Uma das coisas que tornaram uma árvore filogenética diferente de outras árvores de classificação é que as linhas que ligam os grupos representam verdadeiros elos de ancestralidade. Os nós, nos quais as linhas se encontram, representam ancestrais, e a profundidade da árvore pode ser vista como representação do tempo.



Exemplo da estrutura de uma árvore filogenética.

MIKKEL JUUL JENSEN / SCIENCE PHOTO LIBRARY /
SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA

LEITURA COMPLEMENTAR

As grandes extinções e os dinossauros

Os registros fósseis são a comprovação de que a maioria das espécies existentes no nosso planeta está extinta. Embora a extinção ocorra regularmente, em certos períodos, mudanças ambientais globais e abruptas causaram um significativo aumento na taxa de extinção. Quando esses fenômenos ambientais acontecem, o resultado é a extinção em massa de inúmeras espécies.

A documentação realizada por registros fósseis data cinco eventos de extinções em massa nos últimos 500 milhões de anos. Mas duas teriam sido as mais significativas, as que ocorreram no Permiano e no Cretáceo.

A do **Permiano**, que define a divisão entre as eras Paleozoica e Mesozoica (251 milhões de anos), aconteceu durante um episódio de extremo vulcanismo que exterminou mais de 90% das espécies de animais marinhos, afetando também a vida dos animais terrestre, e transcorreu em

poucos milhares de anos, espaço de tempo pequeno quando comparado ao tempo geológico.

A extinção em massa do **Cretáceo** ocorreu há cerca de 65 milhões de anos e foi responsável pelo desaparecimento de mais da metade de todas as espécies marinhas e várias espécies de plantas e animais terrestres, incluindo a maioria dos dinossauros. A hipótese mais aceita pelos cientistas é que um asteroide ou cometa contendo irídio teria caído na Terra e causado uma nuvem que teria bloqueado a luz do Sol, causando grandes mudanças no clima global por muitos meses. As pesquisas atuais têm se concentrado em uma cratera de 65 milhões de anos localizada no México, na cidade de Yucatán. O tamanho da cratera mexicana indica que pode ter sido causada por um objeto de 10 km de diâmetro.

Adaptado de: <<https://super.abril.com.br/ciencia/como-os-dinossauros-foram-extintos/>> e REECE, J. B. et al. *Biologia de Campbell*. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015. p. 534. Acesso em: fev. 2019.

ROTEIRO DE AULA

RECOMPOSIÇÃO HISTÓRICA DA EVOLUÇÃO

Antiguidade Clássica

Platão

Essencialismo

Fixismo

Aristóteles

Vitalismo

Scala naturae

Teleologia

transmissão dos caracteres adquiridos

Século XIX

Lamarck

Postulou as leis:

uso e desuso

variabilidade

Seleção natural

crecimento

Darwin e Wallace

Árvore da vida

competição

Ancestral comum

De Vries

redescobre

lei de Mendel

Dobzhansky

Teoria sintética moderna

Séculos XX e XXI

Thomas Morgan

Especiação

Fisher e Write

Seleção natural

Teorias mendelianas

Huxley

Evolução: síntese moderna

ROTEIRO DE AULA

EVIDÊNCIAS EVOLUTIVAS

Evidências moleculares

célula

material genético

síntese proteica

Fósseis

comprovam a existência de espécies extintas

Anatomia comparada

Órgãos homólogos

mesma origem

funções distintas

Divergência evolutiva

Órgãos análogos

origem distinta

mesma função

Convergência evolutiva

Estruturas vestigiais

remanescentes dos ancestrais

Restrições evolutivas

estruturas preexistentes

Biogeografia

deriva continental

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEM-PR (adaptado) – No início do século XIX, o criacionismo foi severamente confrontado com o evolucionismo, possibilitando estudos que fornecessem evidências sobre a evolução biológica. Sobre esse assunto, analise as afirmativas.

- I. Lamarck foi um dos primeiros a divulgar as ideias evolucionistas, baseadas na lei do uso e desuso, na lei da transmissão dos caracteres adquiridos e na seleção natural.
- II. A ideia de que os seres vivos vão se modificando ao longo do tempo, com novas espécies surgindo a partir de espécies ancestrais, é a base do evolucionismo.
- III. Os fósseis são formados em condições especiais, sendo suas substâncias orgânicas substituídas por minerais. Esse processo é chamado de contramolde.
- IV. Segundo Charles Darwin, um organismo mais adaptado é aquele com mais chances de se reproduzir, passando suas características vantajosas para um maior número de descendentes.

Estão corretas

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

(I) Incorreta. Lamarck foi o naturalista que propôs as ideias evolucionistas baseadas nas transformações pelo uso e desuso de órgãos e pela transmissão hereditária de caracteres adquiridos, mas o conceito da seleção natural é darwinista.

(III) Incorreta. Os fósseis são moldes, e os contramolde são usados para estudar os fósseis.

2. Unicamp-SP (adaptado) – Os fósseis são uma evidência de que nosso planeta foi habitado por organismos que já não existem atualmente, mas que apresentam semelhanças com organismos que o habitam hoje. Por que espécies diferentes apresentam semelhanças anatômicas, fisiológicas e bioquímicas?

Segundo evidências evolutivas com base em estudos em fósseis, espécies diferentes podem apresentar semelhanças tanto anatômicas quanto

fisiológicas e bioquímicas porque compartilham o mesmo ancestral.

3. UEL-PR – Em relação à evolução biológica, considere os fatores abaixo.

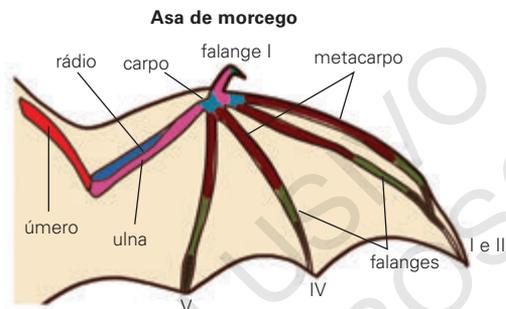
- I. Seleção natural.
- II. Adaptação ao meio.
- III. Lei do uso e desuso.
- IV. Herança dos caracteres adquiridos.
- V. Recombinação gênica e mutação.

Quais desses fatores Darwin considerou quando elaborou a teoria da evolução das espécies?

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

Segundo Lamarck, o princípio evolutivo estaria baseado em duas leis fundamentais: a lei do uso e desuso e a da herança de caracteres adquiridos. Darwin não sabia explicar como indivíduos com novas características poderiam surgir, visto que os genes, a mutação e a recombinação genética não eram conhecidos na época.

4. Fac. Santa Marcelina-SP – As figuras ilustram órgãos homólogos: uma asa de morcego e uma nadadeira de baleia.



a) O que são órgãos homólogos?

Órgãos homólogos são aqueles de animais que apresentam ancestral comum, podendo ou não desempenhar a mesma função.

b) Por que os órgãos homólogos são considerados evidências da evolução biológica? Cite outra evidência evolutiva que não seja homologia entre órgãos.

Os órgãos homólogos são considerados evidências da evolução biológica, pois algumas características de animais estão ligadas a um ancestral comum, que se adaptaram ao longo do tempo, apresentando a mesma função ou não. Outra evidência evolutiva são os órgãos análogos, que apresentam origens ancestrais diferentes, mas têm a mesma função.

5. UPF-RS – A teoria da evolução biológica é considerada a base da Biologia moderna e existem várias evidências para corroborá-la. Em relação a esse assunto, analise as afirmativas a seguir.

- I. As evidências da evolução biológica estão baseadas no estudo comparado dos organismos, tanto fósseis quanto atuais.
- II. A presença de estruturas análogas em diferentes organismos evoluiu a partir de um ancestral comum.
- III. A presença de órgãos vestigiais em alguns organismos, como, por exemplo, o apêndice cecal (vermiforme) em humanos – considerando que em outros organismos esses mesmos órgãos são funcionais –, é uma evidência evolutiva.
- IV. Há grande semelhança no padrão de desenvolvimento embrionário inicial em diversos vertebrados. Quanto mais próximos evolutivamente são os organismos, maior é a semelhança no desenvolvimento embrionário.
- V. Espécies com maior proximidade evolutiva apresentam menor grau de similaridade nas sequências de bases nitrogenadas dos seus ácidos nucleicos.

Está correto apenas o que se afirma em

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

A presença de estruturas análogas em diferentes organismos é uma evidência de evolução convergente. Espécies com maior proximidade evolutiva apresentam maior grau de similaridade nas sequências de bases nitrogenadas dos seus ácidos nucleicos.

6. Mackenzie-SP

C4-H16

O emprego maciço dos inseticidas sintéticos tem provocado o aparecimento de indivíduos resistentes ao veneno. Em 1964, havia pelo menos 140 espécies que tinham adquirido resistência aos vários inseticidas, das quais 80 eram vetores de doenças, como os anófeles. Essa resistência ocorre porque os inseticidas

- a) provocam mutações nas células somáticas, quando incorporados pelo ser vivo.
- b) selecionam os indivíduos, preservando os mais resistentes, que irão originar outras gerações resistentes.**
- c) provocam uma adaptação dos indivíduos, por meio do desenvolvimento de defesa imunológica contra o inseticida.
- d) somente são absorvidos por indivíduos geneticamente modificados em laboratório.
- e) provocam a morte apenas dos machos, favorecendo o desenvolvimento de resistência nas fêmeas.

Os inseticidas em questão funcionariam como fatores de seleção. Selecionaram os indivíduos mais resistentes, os quais se multiplicariam e produziram gerações resistentes.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Acafe-SC (adaptado)

Nova espécie de Hominídeos é descoberta próxima ao fóssil da Lucy

Lucy, o fóssil mais famoso do mundo, que revelou aos cientistas a espécie *Australopithecus afarensis*, tem um vizinho. Próximo ao local onde fóssil foi desenterrado, uma equipe de pesquisadores encontrou outro fóssil. Mandíbulas e dentes fossilizados foram encontrados no norte da Etiópia e demonstram uma antiga relação humana. Os pesquisadores dizem que este fóssil vivera na mesma época que Lucy, mas que é uma espécie distinta. A nova espécie, que foi apelidada de *Australopithecus deyiremeda*, viveu entre 3,5 milhões e 3,3 milhões de anos atrás.

Disponível em: <<http://biologianaweb.com.br>>. Acesso em: mar. 2019.

Sobre o tema, analise as afirmações a seguir.

- I. Em oposição ao criacionismo, a teoria evolucionista parte do princípio de que o homem é o resultado de um lento processo de alterações (mudanças). Evidências como fósseis, armas, vestimentas, entre outras, indicam como ocorreu a evolução humana, culminando no *Homo sapiens* atual.
- II. O sistema de nomenclatura científica atual identifica cada espécie por dois nomes em latim: o primeiro em maiúscula, é o gênero; o segundo, em minúscula, é a espécie.
- III. A ocorrência e o acúmulo de mutações na sequência genética de um organismo podem ser fatores evolutivos.

Está(ão) correta(s)

- a) II e III, apenas.
- b) I, II e III.**
- c) I, apenas.
- d) I e II, apenas.

8. UFU-MG (adaptada) – De acordo com a teoria darwinista, proposta por Charles Darwin, todos os seres vivos descendem de ancestrais comuns e teriam evoluído por meio da seleção natural. Explique por que a análise de fósseis contribui com evidências sobre a evolução das espécies.

9. UNESP

Se me mostrarem um único ser vivo que não tenha ancestral, minha teoria poderá ser enterrada.

(Charles Darwin)

Sobre essa frase, afirmou-se que

- I. contrapõe-se ao criacionismo religioso.
- II. contrapõe-se ao essencialismo de Platão, segundo o qual todas as espécies têm uma essência fixa e eterna.

- III. sugere uma possibilidade que, se comprovada, poderia refutar a hipótese evolutiva darwiniana.
- IV. propõe que as espécies atuais evoluíram a partir da modificação de espécies ancestrais, não aparentadas entre si.
- V. nega a existência de espécies extintas, que não deixaram descendentes.

É correto o que se afirma em

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

- 10. PUC-RJ** – Nosso planeta vive uma diversidade de organismos, cada qual com particularidades genéticas, que são específicas de cada indivíduo. Em uma dada população (por exemplo, uma população de papagaio-verdadeiro) existem diferenças genéticas entre os indivíduos, o que chamamos de variabilidade genética.

Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos>>. Acesso em: abr. 2019.

Explique por que a variabilidade genética em uma população é pré-requisito para a evolução.

- 11. UFPE** – O processo de surgimento de novas espécies que se adaptam a ambientes diversos está na base do aumento da biodiversidade e é influenciado por fatores bióticos e abióticos. Darwin soube observar esse processo, associá-lo ao trabalho de outros pesquisadores e propôs leis que o descrevem. Nesse sentido, podemos afirmar o que segue.

- () As ideias de Malthus sobre crescimento populacional e produção de alimentos foram fundamentais para as conclusões de Darwin.
- () A variação nas características foi assumida por Darwin como a base sobre a qual atua a seleção natural.
- () O isolamento de parte de uma população pode contribuir para a formação de uma nova espécie.
- () A transmissão das características dos organismos bem-sucedidos aos descendentes é essencial para a evolução, mas Darwin não conseguiu explicá-la.
- () “Síntese moderna” se refere à releitura das ideias de Darwin sob a luz da Genética.

- 12. UEPG-PR** – A teoria da evolução biológica proposta por Darwin quebrou os paradigmas de espécies fixas e imutáveis. Com relação à evolução biológica, assinale o que for correto.

- 01) Darwin demonstrou que os indivíduos de uma mesma espécie mostram muitas variações na forma e na fisiologia.
- 02) Darwin leu o livro do inglês Thomas Malthus sobre populações e postulou também para a teoria

de evolução biológica que, se todos os indivíduos de uma espécie se reproduzissem, as populações cresceriam aceleradamente, em progressão geométrica.

- 04) Foi postulado por Darwin que os indivíduos de uma população lutam por sua sobrevivência e pela sobrevivência de sua prole.
- 08) Darwin escreveu que somente alguns indivíduos – chamados por ele de mais aptos – sobrevivem e deixam filhos. A sobrevivência e a possibilidade de reprodução dependem das características desses indivíduos que, por serem hereditárias, serão transmitidas aos seus filhos.
- 16) Darwin postulou que, através da seleção natural, as espécies serão representadas por indivíduos cada vez mais adaptados ao ambiente em que vivem.

- 13. Fac. Albert Einstein-SP** – O nome “cacto” é atribuído a plantas da família Cactaceae. Os cactos são conhecidos, dentre outras características, pela presença de inúmeros espinhos caulinares e capacidade de armazenar água. No entanto, algumas espécies de plantas que apresentam esse mesmo aspecto vegetal pertencem à família Euphorbiaceae, ou seja, têm maior parentesco evolutivo com plantas tais como a mandioca e a seringueira. A figura a seguir mostra a semelhança dessas plantas.



SHIHINA/ISTOCK



GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

Considerando essas informações, é correto afirmar que as plantas da figura representam um caso evolutivo de

- a) homologia.
- b) camuflagem.
- c) herança de caracteres adquiridos.
- d) analogia.

14. UEPA (adaptado) – Mesmo com o avanço da tecnologia em comunicação, o ser humano continua se debruçando sobre os registros fósseis para desvendar o mistério da criação do mundo e da notável biodiversidade, com milhões de espécies de seres vivendo nos mais variados ambientes que compõem a biosfera. A teoria da evolução biológica busca explicar o mecanismo que propiciou essa imensa variedade de seres vivos. Sobre os principais argumentos científicos que explicam esse mecanismo, analise as afirmativas.

- I. Órgãos vestigiais indicam a presença de um ancestral comum entre as espécies nas quais ocorrem.
- II. A análise dos fósseis indica que a extinção de espécies faz parte do processo evolutivo.
- III. Os fósseis permitem o estudo comparativo entre organismos ou estruturas de diferentes eras geológicas que demonstram mudanças ao longo de tempo.
- IV. Os órgãos homólogos indicam relação de parentesco entre espécies, por terem a mesma origem embrionária.

Estão corretas

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

15. UFU-MG – A ideia de evolução proposta por Charles Darwin é considerada uma das mais importantes revoluções intelectuais do século XIX. De acordo com a teoria darwinista, todos os seres vivos descendem de ancestrais comuns e teriam evoluído por meio da seleção natural. Explique por que os órgãos vestigiais como o apêndice no ser humano e as estruturas homólogas em diferentes animais podem ser considerados evidências da evolução.

16. UPE – Imagine que você precisou entreter algumas crianças com a visualização de um vídeo sobre dinossauros. O trecho a seguir despertou perguntas.

...Dinossauro

Veio muito antes do meu tata taravô...

...Não é fácil de achar um fóssil

Ainda mais haver um ovo intacto

Imagina ver um desses vivo

Eu corria logo pro meu quarto...

Disponível em: <<http://www.mundobita.com.br/>>. Acesso em: mar. 2019.

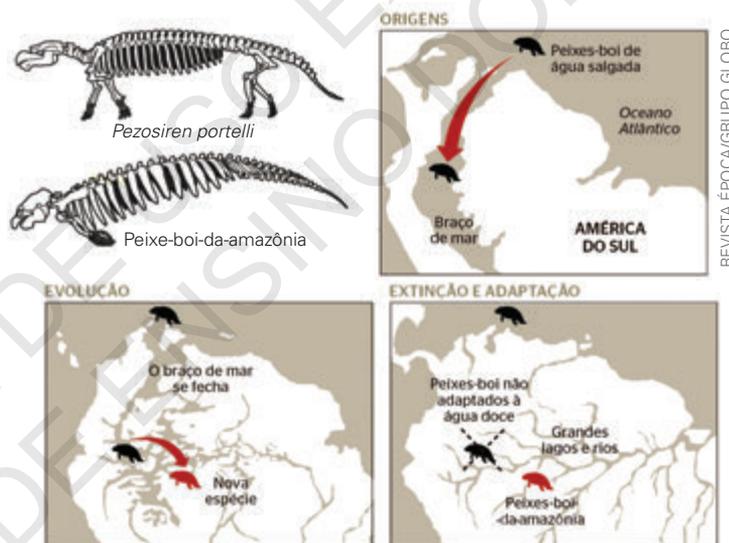
As crianças querem saber:

- 1) Por que não é fácil achar um fóssil?
- 2) Por que dinossauros deixaram de existir?
- 3) Por que é importante conhecê-los?

Assinale a alternativa que responde, de forma correta, a uma das curiosidades das crianças.

- Preservar restos de animais é difícil por causa da decomposição por bactérias e fungos; em geral, partes moles são mais fáceis de conservar. Os dinossauros foram extintos há milhões de anos, pela erupção de um vulcão.
- Partes duras e moles dos seres apresentam igual probabilidade de se fossilizarem, como é possível ver nos museus. Os dinossauros foram extensivamente caçados pelos Neandertais, o que os levou à extinção.
- Fósseis de dinossauros são provas concretas da existência de vida na Terra, sendo uma importante ferramenta de estudo da evolução, que ocorreu nos seres vivos e no próprio planeta.
- Se os fósseis dos dinossauros não fossem estudados, nunca saberíamos que essas aves gigantes viveram no planeta, na mesma época da espécie humana.
- A Terra passou por vários períodos de extinção dos seres vivos. No Cretáceo, 90% das espécies vivas do planeta desapareceram e durante o Permiano os dinossauros foram extintos juntamente com os mamutes.

- 17. UNESP** – O *Pezosiren portelli* foi um mamífero quadrúpede terrestre, ancestral das espécies de peixe-boi atuais, que viveu há 50 milhões de anos. Havia na Amazônia um braço de mar, o Lago Pebas, habitado por peixes-boi de água salgada. Há 8 milhões de anos, esse braço de mar fechou-se e confinou os animais em um ambiente de água doce. Ao longo da evolução, esses animais originaram o atual peixe-boi-da-amazônia.



REVISTA ÉPOCA/GRUPO GLOBO

Comparando-se os esqueletos do *P. portelli* e do peixe-boi-da-amazônia, há semelhança na organização dos membros anteriores. Como são classificados esses órgãos quanto à origem embrionária? Por que essa comparação evidencia a divergência evolutiva entre o *P. portelli* e as espécies de peixe-boi atuais?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H16

Charles R. Darwin (1809-1882) apresentou, em 1859, no livro *A origem das espécies*, suas ideias a respeito dos mecanismos de evolução pelo processo da seleção natural. Ao elaborar a Teoria da Evolução, Darwin não conseguiu obter algumas respostas aos seus questionamentos.

O que esse autor não conseguiu demonstrar em sua teoria?

- a) A sobrevivência dos mais aptos.
- b) A origem das variações entre os indivíduos.
- c) O crescimento exponencial das populações.
- d) A herança das características dos pais pelos filhos.
- e) A existência de características diversas nos seres da mesma espécie.

19. Enem

C4-H16

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 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

- a) modificação de características.
- b) incremento no tamanho corporal.
- c) complexificação de seus sistemas.
- d) melhoria de processos e estruturas.
- e) especialização para uma determinada finalidade.

20. Unicamp-SP

C4-H16

No ano de 2015, foi descrito o fóssil de um réptil que viveu há 150 milhões de anos onde hoje é a região Nordeste do Brasil. Conforme ilustra a figura a seguir, esse animal apresenta corpo alongado, com muitas vértebras e costelas, e membros anteriores e posteriores reduzidos (a seta indica a região ampliada no canto inferior esquerdo). Por sua anatomia peculiar, um

grande debate teve início sobre a posição que esse animal deveria ocupar na árvore da vida.

DAVID MARTILL



Sabe-se que os lagartos (que geralmente têm membros) e as serpentes (seres ápodos) que vivem atualmente têm um ancestral comum. Assim, o organismo ilustrado na figura

- a) não pode pertencer à linhagem evolutiva das serpentes, pois a perda dos membros anteriores e posteriores levaria a um prejuízo à vida do animal, e a evolução resulta apenas em melhoria dos organismos.
- b) não pode pertencer à linhagem evolutiva das serpentes, pois a evolução é gradual e incapaz de gerar mudanças drásticas na morfologia de um ser vivo, como a perda de membros anteriores e posteriores.
- c) pode pertencer à linhagem evolutiva das serpentes, sendo que seu ancestral comum com os lagartos possuía membros, depois perdidos por processos evolutivos, originando as serpentes ápodas atuais.
- d) pode ser um fóssil de transição, pois os ancestrais das serpentes que não utilizavam seus membros com tanta frequência sofreram atrofia desses membros, deixando de transferir tal característica para seus descendentes.

13

LAMARCKISMO, DARWINISMO E TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

- Teoria evolutiva de Lamarck
- Teoria evolutiva de Darwin
- Comparando Darwin e Lamarck
- Mecanismos de evolução
- Processos evolutivos
- Tipos de especiação
- Irradiação e convergência adaptativa

HABILIDADES

- Compreender a construção das teorias lamarckistas e darwinistas.
- Identificar as características e as diferenças entre as teorias do lamarckismo e do darwinismo.
- Relacionar a resistência a antibióticos e o surgimento de superbactérias com a seleção natural.
- Compreender a teoria sintética da evolução, enfatizando o conceito de mutação.
- Compreender o conceito de especiação e os mecanismos que direcionam o processo.
- Reconhecer o desenvolvimento dos eventos de irradiação e convergência adaptativa.

TEORIA EVOLUTIVA DE LAMARCK

Lamarck propôs a ideia de que os seres vivos apenas se transformariam, não se extinguiriam, porque o fim de uma espécie não seria condizente com a ideia de um criador perfeito e bondoso.

Em 1809, Lamarck publicou a obra *Filosofia zoológica*, considerada pioneira no estudo da evolução biológica. Para Lamarck, o ambiente, qualquer que seja, não causa diretamente nenhuma modificação na forma ou na organização dos indivíduos. Apenas transformações ambientais intensas alterariam as necessidades dos seres vivos, promovendo diferentes demandas que, a longo prazo, fariam com que os indivíduos adquirissem novos hábitos e desenvolvessem órgãos e estruturas novas para atendê-las. Segundo o lamarckismo, os seres vivos devem adaptar-se ao meio para sobreviver. Se isso não acontece, morrem sem deixar descendentes. Lamarck fundamentou sua teoria em dois princípios: **lei do uso e desuso** e **lei da herança dos caracteres adquiridos**.



Para Lamarck, as girafas teriam pescoço comprido pelo uso contínuo dele para buscar alimento em árvores altas.

Segundo Lamarck, tudo aquilo que os indivíduos adquiriram ou perderam, por influência do ambiente ou do uso ou desuso predominante de um órgão, a natureza conservaria pela transmissão hereditária aos indivíduos que nascem, desde que essas modificações adquiridas fossem comuns a ambos os sexos. Assim, características adquiridas em função de uso ou desuso seriam hereditárias. Um exemplo dessa lei é a de coelhos de orelhas curtas, cuja necessidade de ouvir melhor fez crescer as orelhas e, assim, a característica foi transmitida aos descendentes.

A proposta lamarckista não explicou adequadamente a adaptação dos seres vivos ao ambiente. Seu grande mérito foi propor a teoria da evolução, contrariando

as ideias fixistas vigentes e propondo um mecanismo para explicar como espécies criadas por um ser divino teriam uma tendência a se transformar gradualmente em seres mais complexos.

TEORIA EVOLUTIVA DE DARWIN

Charles Robert Darwin (1809-1882) foi convidado aos 22 anos pelo capitão Robert FitzRoy para uma expedição da marinha inglesa ao redor do mundo a bordo do navio *Beagle*. A expedição se iniciou no ano de 1831 com a missão inicial de catalogar trechos pouco conhecidos da América do Sul. Além de um observador muito interessado, Darwin era um excelente desenhista e registrou em desenhos as características e a diversidade de animais e plantas. Tanta diversidade começou a fazer Darwin se questionar sobre o que tornava esses animais e plantas adaptados a ambientes tão distintos.

Na América do Sul, mais precisamente na Argentina, Darwin encontrou fósseis de animais semelhantes a tatus. Posteriormente, no Arquipélago de Galápagos, a aproximadamente mil quilômetros do Equador, onde a expedição passou algumas semanas, o cientista ficou intrigado com certas espécies, como a iguanas marinhas, os jabutis gigantes e diferentes pássaros da família Fringillidae, os tentilhões, que não ocorriam em outro lugar.

Darwin observou os aspectos das patas e o comprimento do pescoço de jabutis e notou que havia diferença nessas características nos indivíduos de ilhas diferentes. Além disso, observando os tentilhões do arquipélago, ele reparou que diferiam quanto ao formato do bico e eram parecidos com outra espécie do continente próximo, de condições ambientais diferentes das ilhas. Ele buscou então uma explicação para isso que divergia do pensamento fixista: as espécies do arquipélago evoluíram de espécies provenientes do continente de origem, adaptando-se às condições ambientais de cada ilha, apesar de mesmo clima e solo, flora e fauna semelhantes às do continente vizinho, não entre si.

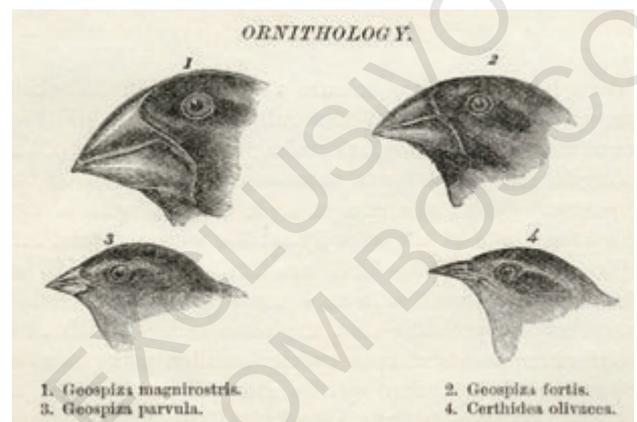
Durante a viagem, também dedicou muito tempo estudando Geologia, principalmente na região Andina, e observou de perto as mudanças geológicas causadas por terremotos, além de ter acesso a diferentes fósseis.

Quando retornou à Inglaterra, Darwin passou a trabalhar com o material recolhido durante a expedição. Por mais de 20 anos, analisou e recolheu provas da transformação das espécies, existência de fósseis e semelhança dos organismos das ilhas com os dos continentes.

Em 1858, ele conheceu o manuscrito intitulado *A tendência das variedades de se afastar indefinidamente do tipo original*, escrito pelo cientista inglês Alfred Russel

Wallace (1823-1913), que lhe fornecia exemplares de pássaros para estudo e que chegara às mesmas conclusões.

Em 1859, Darwin publicou o livro *A origem das espécies*, sobre sua teoria da evolução biológica. Relatou que foi decisiva a leitura do trabalho *Um ensaio sobre populações*, de Malthus, mostrando uma discrepância entre o conhecimento da população humana (em progressão geométrica) e a produção alimentar (em progressão aritmética). Segundo Malthus, haveria intensa luta pela sobrevivência diante da produção insuficiente de alimento.



Os diferentes bicos dos tentilhões observados por Charles Darwin nas Ilhas Galápagos durante a viagem do *Beagle*.

Darwin e Wallace leram a teoria de Malthus e perceberam que animais e plantas poderiam sofrer essa pressão populacional e, em muito pouco tempo, o mundo estaria coberto de besouros ou minhocas. Mas o mundo não estava infestado de insetos ou outras espécies. Isso provavelmente porque as espécies não eram capazes de reproduzir com potencial completo, além de morrerem antes de reproduzir, pois estavam vulneráveis às agressões ambientais – seca, frio intenso, insuficiência de alimento. Os indivíduos precisam competir, mesmo inconscientemente, pela pouca comida existente, provocando a manutenção do número de integrantes do grupo.

Na elaboração das ideias transformistas, Darwin baseou-se em duas observações: os organismos vivos produzem grande quantidade de unidades reprodutivas, mas o número de adultos se mantém mais ou menos constante, provavelmente em virtude da alta competição dos recursos disponíveis, como alimento, espaço e luminosidade; e os organismos de uma população apresentam variações de forma e comportamento que podem ser transmitidos às gerações futuras.

A teoria evolutiva de Darwin está fundamentada nas seguintes ideias: **variabilidade**, **adaptação** e **seleção natural** e tem como principal objetivo negar o fixismo e as ideias de criação individual dos organismos.

VARIABILIDADE E ADAPTAÇÃO

Darwin observou que os seres vivos geralmente não são idênticos entre si. As diferenças de altura, peso, forma dos membros, sistema imunológico, capacidade de aprendizagem etc. caracterizam a

variabilidade existente entre indivíduos da mesma espécie. Além disso, ele postula que alguns traços conferem a um indivíduo em particular maior eficiência na disputa pela vida, ou seja, melhor adaptação às condições ambientais.

Na luta pela sobrevivência, indivíduos portadores de variações (características) mais bem adaptadas às condições ambientais levam vantagem competitiva, o que lhes possibilita procriar e transmitir características vantajosas aos descendentes. **Adaptação** é, portanto, a capacidade de sobrevivência e reprodução de determinada espécie no ambiente. Ela se manifesta de várias formas: comportamento que ajuda na fuga de predadores; anatomia que facilita o acesso a determinado recurso alimentar, o que proporciona maior resistência a um ambiente adverso; ou produção de substância que elimina competidores.

SELEÇÃO NATURAL

Para Darwin, indivíduos de uma população não seriam idênticos, de modo que variações morfológicas, fisiológicas e comportamentais conferem aos indivíduos maior chance de sobrevivência e de reprodução, dando origem a descendentes igualmente adaptados. Darwin admitiu que, existindo **variação de características, reprodução diferenciada e hereditariedade** em uma população mais bem adaptada, haveria evolução por **seleção natural**. Dessa maneira, a seleção natural seria um meio pelo qual a evolução ocorre.

Em Galápagos, Darwin observou 13 espécies de tentilhões ou fringilídeos, aves muito semelhantes entre si, diferindo principalmente na forma do bico. Ele inferiu que essa diversidade de formas havia resultado de seleções naturais aos diferentes tipos de alimentos nas diversas ilhas: insetos, cactos, sementes, brotos de plantas e frutas carnosas. Havia diferentes formas do casco nas tartarugas-das-galápagos: casco arredondando na forma de domo (convexa) em espécimes habitantes de floresta densa em ilhas mais altas, onde ocorrem chuvas fortes; casco em arco na forma de sela que lhes permite levantar o pescoço para alcançar arbustos e plantas mais altas nas espécies das ilhas mais baixas, com pouca chuva e pouca vegetação rasteira.

Comparativamente aos exemplos do lamarckismo, as orelhas longas do coelho são produto da seleção natural, segundo o darwinismo. No passado, existiam coelhos de orelhas curtas e de orelhas longas. Os de orelhas longas tinham a percepção auditiva mais desenvolvida, percebendo mais rápido a presença de predadores, conseqüentemente se tornaram mais frequentes na população, reproduzindo mais que os coelhos de orelhas curtas, que eram mais suscetíveis à predação.

O clássico exemplo do pescoço comprido da girafa pela seleção natural é justificado pela ideia de que, em períodos de seca, os animais de pescoço comprido teriam maior sucesso em alcançar as folhas das plan-

tas mais altas e, com mais acesso a alimento, teriam maiores chances de sobrevivência. Pesquisas recentes sugerem que a seleção do tamanho do pescoço da girafa resultou de disputas por fêmeas. Nesta competição, os machos das girafas batem a cabeça no corpo do oponente, usando o pescoço como alavanca. Girafas de pescoço maior teriam mais sucesso reprodutivo, contribuindo para o desaparecimento de populações com indivíduos de pescoço curto.

SELEÇÃO ARTIFICIAL

Os seres humanos têm direcionado alterações em espécies ao longo de gerações por meio da seleção e do cruzamento de indivíduos com características desejadas, produzindo variedades de espécies mais produtivas, como plantas resistentes à seca e às pragas; reprodutores mais potentes para maior produção de leite, por exemplo. Como resultado da seleção artificial, esses animais e plantas apresentam pouca semelhança com os seus ancestrais selvagens.

COMPARANDO DARWIN E LAMARCK

Cinquenta anos separam as teorias de Lamarck e Darwin. Apesar das explicações diferentes para a evolução das espécies, observam-se semelhanças entre as duas teorias, pois ambos os cientistas aceitaram como fundamentais a adaptação das espécies ao meio e a importância do ambiente na sua evolução. Segundo Lamarck, o ambiente apresenta as necessidades e o organismo se esforça para adaptar-se. De acordo com Darwin, o ambiente seleciona os indivíduos mais aptos ao meio.

Darwin aceitou as hipóteses de Lamarck sobre a herança dos caracteres adquiridos por desconhecer a origem genética das variações. Atualmente, se sabe que o fenômeno da mutação responde pela produção das variações. As pesquisas de Mendel, fundador da genética e contemporâneo de Darwin, não tiveram muito impacto. Os princípios mendelianos só foram redescobertos no século XX. No processo evolutivo, os dois cientistas atribuíam participação diferente ao ambiente. Típica frase lamarckista: “pássaros têm asas para voar”. A mesma situação ao modo darwinista: “pássaros podem voar porque têm asas”.

Segundo Lamarck, o ambiente gera necessidades que exigem mudanças de hábitos e o esforço gera mudanças adaptativas de formas do corpo pelo uso ou desuso. As características adquiridas pelo esforço são transmitidas aos descendentes. Para Darwin, no entanto, o ambiente seleciona os mais aptos – favorece indivíduos com características apropriadas às condições do ambiente em determinado tempo. Populações de mesma espécie apresentam variações individuais. Os mais aptos vivem e se reproduzem mais, transmitindo características favoráveis aos descendentes.

LEITURA COMPLEMENTAR

Superbactérias? Entenda o problema da resistência aos antibióticos

Tecnicamente o uso do termo “superbactéria” não é o ideal, mas define muito bem o que pode acontecer quando os antibióticos são usados de maneira irresponsável. Quem já precisou de antibióticos para tratar uma infecção bacteriana teve as seguintes recomendações: tomar no mesmo horário, evitar consumo de bebida alcoólica e não interromper o tratamento antes de sua conclusão. Essas recomendações são muito mais do que meros protocolos médicos, pois, além de combater a bactéria em questão, o uso adequado de antibióticos visa evitar a resistência bacteriana.

A ideia é bem simples: em resumo as bactérias que sobrevivem aos antibióticos usados de maneira inadequada podem gerar outras bactérias que também são resistentes, chamadas de multirresistentes, por resistirem a vários tipos de medicamentos.

As principais causas da resistência microbiana provêm do uso indevido sem necessidade ou por um período diferente do recomendado, falhas no controle de infecções hospitalares, falta de higiene, ausência de novos tratamentos menos generalistas e excesso de antibióticos em animais destinados à alimentação humana.

As superbactérias representam, hoje, uma das principais ameaças à saúde pública mundial, já que a velocidade com que os cientistas descobrem novos antibióticos é infinitamente menor do que a incidência de infecções por esses tipos de bactérias. A OMS – Organização Mundial de Saúde – estima que se não forem controladas até 2050, causarão mais de 10 milhões de mortes por ano.

Adaptado de: <http://portal.anvisa.gov.br/noticias/-/asset_publisher/FXrpx9qY7FbU/content/abuso-de-antibiotico-estimula-superbacterias/219201/pop_up?inheritRedirect=false> e <http://www.comciencia.br/resistencia-antibioticos-e-as-superbacterias/>. Acessos em: fev. 2019.

TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

O processo evolutivo envolve diversos mecanismos que garantem a transmissão das características selecionadas naturalmente aos descendentes ao longo do tempo. Diversos desses mecanismos são garantidos pela reprodução sexuada e pela variabilidade genética. Um deles é a mutação, caracterizada pela alteração da sequência de nucleotídeos do DNA que pode provocar mudanças no fenótipo dos organismos.

As mutações são aleatórias e podem ser neutras, benéficas ou prejudiciais. Algumas se tornam essenciais para a sobrevivência e o processo evolutivo. Um exemplo disso são os insetos resistentes ao DDT (inseticida diclorodifeniltricloroetano), cujos genes responsáveis pela resistência estão associados à baixa taxa de reprodução. Assim, em ambientes sem DDT, ter o gene resistente ao inseticida é uma grande desvantagem, uma vez que os insetos sem o gene se reproduzem com maior facilidade.

O conceito de seleção natural estudado por Darwin serviu de base para a formulação da nova teoria sintética associada aos mecanismos de hereditariedade e mutações: a variabilidade genética observada na população é decorrente dos processos de recombinação e mutação ao longo das gerações, o que favorece que os indivíduos mais aptos sejam selecionados e transmitam tais características aos seus descendentes.

MECANISMOS DE EVOLUÇÃO

Em 1927, o entomólogo russo Yuri Filipchenko definiu dois termos usualmente citados em diversas fontes de pesquisa para a melhor compreensão dos processos evolutivos.

A **microevolução** é um processo em menor escala, dentro de uma única população, por exemplo, e está associada a mudanças na frequência gênica, na mutação, na migração, na deriva genética e na seleção natural. A **macroevolução** é caracterizada por ocorrer em larga escala e estar associada à história global da vida – estabilidade, mudança, surgimento de linhagens e extinção. Existem diversos mecanismos de pressão seletiva que atuam na evolução das espécies.

MUTAÇÃO GÊNICA

O holandês Hugo de Vries (1848-1935), autor do livro *A teoria das mutações*, observou em seus estudos que as variações gênicas surgiam aleatoriamente, sem indicação de que estivessem presentes em gerações passadas. Em alguns padrões de herança genética, essas mutações não poderiam ser explicadas pela teoria mendeliana. Dessa maneira, ele concluiu que as modificações bruscas do material genético ocorreriam ao acaso, podendo ser transmitidas hereditariamente, e denominou esse processo de **mutação**.

As mutações são fontes primárias de variabilidade dos seres vivos, nas quais atua a seleção natural. A maior parte das mutações é prejudicial ou deletéria, pelo fato de agentes mutagênicos constituírem perigo para os seres vivos. Uma vez que mutações acontecem ao acaso, novas formas aparecem sem qualquer relação com as necessidades do organismo. Genes originados por mutação conferem aos organismos características diferentes em relação aos ancestrais e demais membros da espécie. As mutações podem ocorrer em células **germinativas** formadoras de gametas ou em células **somáticas**, não relacionadas à reprodução.

Mutações gênicas são aquelas em que há modificação da molécula de DNA, o que pode levar à alteração da proteína sintetizada. Mutações **cromossômicas** afetam a estrutura ou o número de cromossomos da célula. Por

fim, as **mutações espontâneas** ocorrem em taxas baixas por causas naturais, ou **induzidas**, quando utilizado algum fator mutagênico, como os raios X ou raios UV.

A teoria sintética da evolução admite que variações hereditárias presentes nos indivíduos têm relação direta com os genes e cromossomos. Os genes podem sofrer ocasionalmente modificações espontâneas, sem qualquer relação adaptativa intencional do organismo com o ambiente. Novos genes e combinações originadas desses dois fenômenos garantem que indivíduos de uma espécie sejam geneticamente diferentes a cada geração.

A **recombinação gênica** é inerente à reprodução sexuada e promove o aparecimento de novos genótipos, novos genes sobre os quais atua a seleção natural. Os principais mecanismos que promovem a recombinação são a fecundação, o *crossing over* e a segregação na meiose. Nesse processo são segregados os pares de gametas, o que aumenta a variabilidade genética dos gametas formados. No *crossing over* ocorrem permutas aleatórias e naturais entre os cromossomos durante a meiose, aumentando ainda mais a variabilidade.

SCIENCE PHOTO LIBRARY / ALAMY
STOCK PHOTO

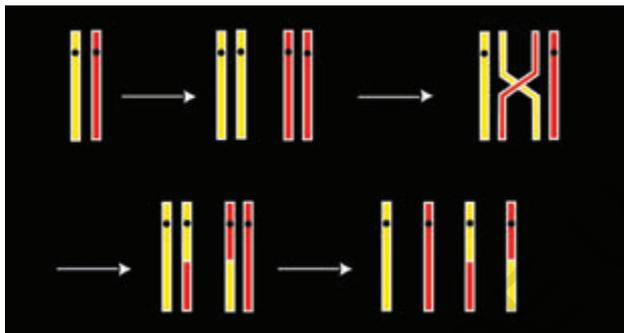


Ilustração do processo aleatório de *crossing over*, no qual há troca de material genético entre dois cromossomos durante a meiose. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

MIGRAÇÃO

É o padrão de distribuição e dispersão das populações. Qualquer movimento de uma população para a outra é um movimento migratório. Inclui eventos como o pólen levado pelo vento para um novo local, onde originará um novo indivíduo e mudanças de pessoas para outras cidades ou países, ou seja, não é preciso haver fluxo gênico. Na reprodução, genes são transportados a uma nova população, na qual não existiam previamente, caracterizando o **fluxo gênico**.

DERIVA GENÉTICA

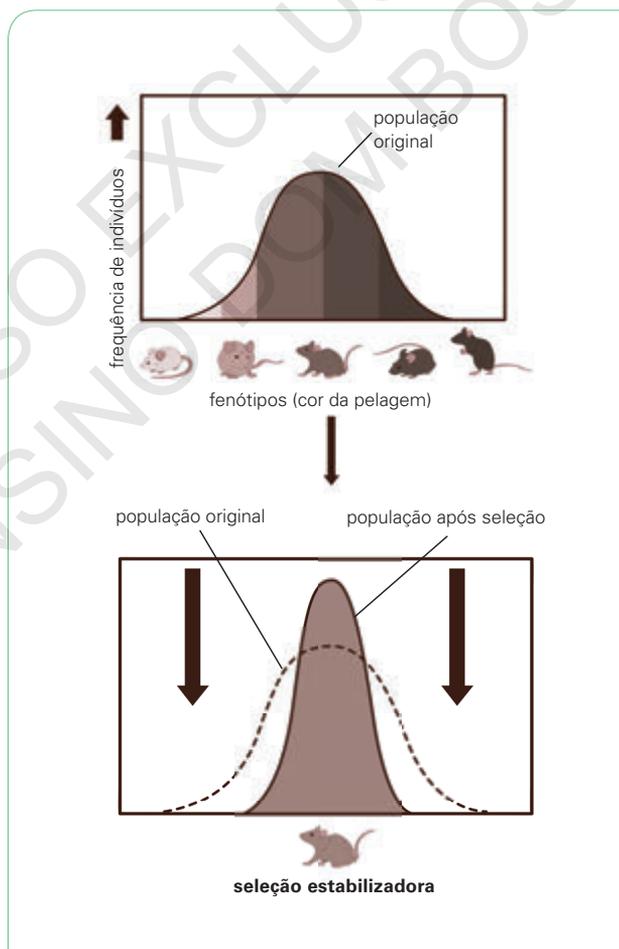
Corresponde a alterações nas frequências alélicas causadas por fenômenos aleatórios entre gerações. Esse processo provoca variações nas frequências gênicas de uma população com o tempo. Em populações pequenas, o efeito das flutuações da deriva genética sobre a variabilidade genética é mais evidente. A deriva reduz a variabilidade genética, fazendo com que determinada frequência alélica seja fixada na população, possivelmente reduzindo a habilidade da população de responder às pressões seletivas.

RESULTADOS DA SELEÇÃO NATURAL

A seleção natural atua sobre as características variáveis com diferentes valores adaptativos em uma população. Assim, como resultado de uma pressão seletiva, diferentes padrões de seleção podem surgir.

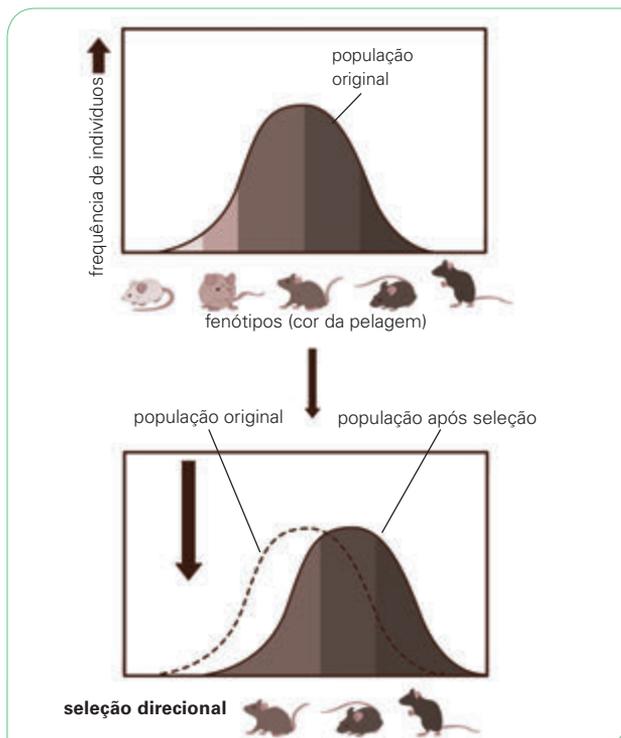
Suponha que uma população de camundongos apresente diferentes fenótipos de cor de pelagem e que haja uma pressão seletiva no ambiente que favorece determinados tipos de pelagem. A seleção natural pode atuar de três formas, gerando três resultados diferentes nessa população.

A **seleção estabilizadora** atua reduzindo a diversidade, favorece a forma intermediária de uma característica e reduz os caracteres extremos. Não modifica a média populacional, em tamanho, por exemplo.



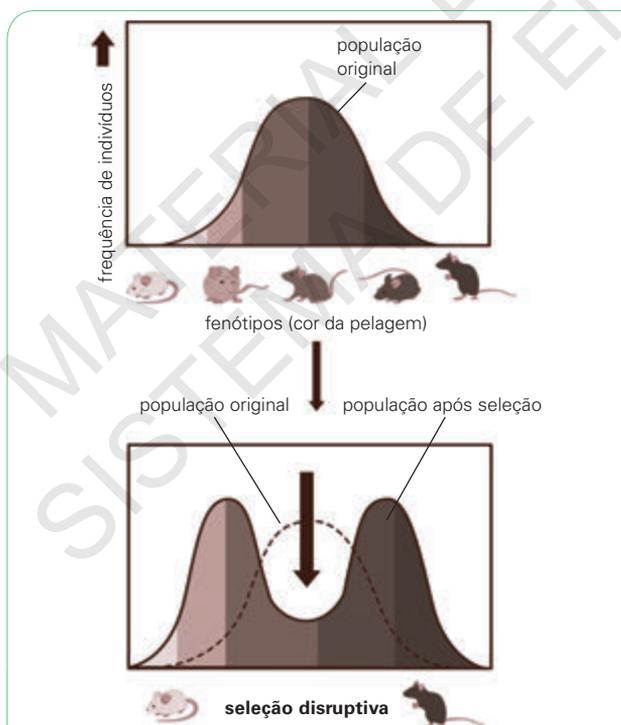
Na seleção estabilizadora, os camundongos com cor de pelagem intermediária foram favorecidos, de modo que foram eliminados os indivíduos com pelagens clara e escura.

A **seleção direcional** opera ao longo de gerações, selecionando os indivíduos no extremo do espectro de um fenótipo. No caso dos camundongos, são selecionados apenas os indivíduos com pelagem mais clara ou mais escura, de modo que, passadas muitas gerações, a população apresenta fenótipos muito parecidos.



Na seleção direcional, o fenótipo de um dos extremos é favorecido, de modo que se estabelece na população ao longo de muitas gerações.

A **seleção disruptiva** modifica as características da população, favorecendo indivíduos cujas características se encontram nos extremos da distribuição normal da população – os quais contribuem com maior prole –, de modo que as formas intermediárias são eliminadas. A seleção disruptiva produz dois picos na curva de distribuição do tamanho populacional, conhecida por distribuição bimodal.



Na seleção disruptiva, os fenótipos intermediários são favorecidos e os extremos são eliminados da população.

A população de tentilhão-de-peito-preto (*Pyrenestes ostrinus*), do oeste da África, é um exemplo de seleção disruptiva. Essas aves mantêm dois tamanhos de bico (pequeno e grande), de acordo com as sementes (macias ou duras) produzidas pelos juncos disponíveis. As formas com bico intermediário não sobrevivem.

RESISTÊNCIA

Resistência é o desenvolvimento de habilidade de uma linhagem para tolerar substâncias tóxicas que seriam letais à maioria da população normal (suscetível) da espécie. O processo determinante é a pressão contínua de seleção, como o uso frequente de um inseticida específico ou de um antibiótico.

No caso da resistência a inseticidas, o inseticida organoclorado – DDT (diclorodifeniltricloroetano) e derivados – alcançou êxito na luta contra insetos. Sua ação, no entanto, diminuiu progressivamente. Após aniquilar o piolho-do-homem (*Pediculus humanus humanus*), vetor do tifo, em Nápoles (1944), Japão e Coreia (1945-1946), mostrou-se incapaz de deter a epidemia da doença na Espanha (1950). Em 1951, soldados coreanos pulverizados com DDT tiveram os piolhos multiplicados em vez de exterminados. Tal fenômeno também foi observado com o *Anopheles* sp., mosquito vetor da malária, e com moscas. Uma explicação é que haveria um variante mutante do inseto resistente ao inseticida, que antes do DDT estava em baixa frequência na população. Após a aplicação do inseticida, foram favorecidos os insetos mutantes, que foram selecionados positivamente com a sua frequência na população aumentada. O alto potencial reprodutivo dos insetos favorece o aparecimento de variantes mutantes. Ao se aplicar um novo inseticida, há uma provável geração de indivíduos resistentes ao novo produto na população, o que favorece a ocorrência de uma nova seleção natural, proliferando formas ainda mais imunes ao inseticida.

COEVOLUÇÃO

Processo evolutivo que ocorre simultaneamente entre duas ou mais espécies, que se afetam reciprocamente. Pode acontecer quando espécies diferentes têm interações ecológicas próximas, causando mudança na morfologia para suas adaptações.

Possíveis casos de interação ecológica podem ocorrer entre predador e presa, parasitismo, mutualismo, comensalismo, competição por ambiente ou alimento. Assim, mediante pressões seletivas, a evolução de uma espécie torna-se parcialmente dependente da evolução da outra. Observa-se coevolução entre plantas e insetos. Algumas espécies de acácia formam espinhos ocos, com poros na base das folhas, que secretam néctar. Este, por sua vez, atrai formigas, que se alimentam e formam ninhos nos espinhos ocos. Nessa relação, as formigas recebem alimento e abrigo, enquanto as plantas são protegidas do ataque de predadores pelas formigas.

APOSEMATISMO, CAMUFLAGEM E MIMETISMO

Aposematismo é a adaptação de alguns animais ou plantas que servem como alerta a predadores em potencial. Compreende sinais representados por cores fortes (vermelho, laranja, azul, preto), indicadores de seu potencial de toxicidade ou impalatabilidade. Consiste em mecanismo de defesa preliminar à captura, evitando a perseguição. Comum em insetos, pode ocorrer em anfíbios, répteis, pássaros, peixes e mamíferos. Exemplos: sapo-boi-azul (*Dendrobates tinctorius*), e polvo-de-anéis-azuis (*Hapalochlaena maculosa*), de coloração azul metálica e manchas negras, que advertem os possíveis predadores de seu potente veneno neurotóxico.

Camuflagem e mimetismo são características que tornam os indivíduos semelhantes a um componente ambiental (camuflagem) ou a outro organismo (mimetismo), dificultando sua visualização pelos predadores. No caso do mimetismo, uma espécie assemelha-se a outra não palatável ou venenosa. Exemplos: borboleta-tigre, *Danaus genutia*, mimetizada em borboleta-monarca (*Danaus plexippus*), e cobra-coral-falsa (*Erythrolamprus aesculapii*), que mimetiza a cobra-coral-verdadeira (*Micrurus lemniscatus*).

PROCESSOS EVOLUTIVOS

No estudo da evolução, observou-se que espécies que apresentam muitas semelhanças anatômicas, embrionárias e bioquímicas têm ancestral comum. Como é possível uma espécie evoluir e originar duas outras diferentes? Que mecanismos levam à formação de novas categorias? A resposta está na **especiação**. Trata-se de um evento de separação da linhagem que produz duas ou mais espécies distintas por meio de mecanismos que geram biodiversidade.

O conjunto de organismos semelhantes, com potencial de se reproduzir em condições naturais, gerando descendentes férteis, é o que chamamos de **conceito biológico de espécie**, ou seja, é um grupo com capacidade potencial de trocar genes. O **conceito filogenético de espécie** é definido como o menor grupo de indivíduos que compartilham um ancestral comum mais exclusivo.

Se duas populações em condições naturais não conseguem mais trocar genes, diz-se que houve **isolamento reprodutivo** entre elas, ou seja, o fluxo gênico foi interrompido, indicando a formação de novas espécies. As barreiras que impedem o cruzamento de populações são diversas, como rios, cadeias de montanhas, oceanos. Essas barreiras são chamadas de **isolamento geográfico**.

Os processos evolutivos constituem-se de um conjunto de anagêneses (evoluções contínuas de uma espécie) intercaladas por conjunto de cladogêneses (quebra de fluxo gênico, gerando especiação e aumento da biodiversidade), ocorrendo em diferentes velocidades.

Os processos de **anagêneses**, também chamados de **evolução sequencial**, são transformações progressivas de uma espécie ao longo do tempo, com mudanças gra-

duais nas características das populações em virtude de mutações, recombinações gênicas e seleções naturais. Uma população que se separa em razão de uma barreira física intransponível, por exemplo, gera partes impossibilitadas de trocar genes entre si. Permanecendo nessa condição, sofrem mecanismos evolutivos por anagênese.

Uma população, quando isolada geograficamente, torna-se diferente da original e atinge um isolamento reprodutivo; ocorre o processo de especiação, evento de quebra de uma espécie ancestral em duas descendentes, gerando aumento na diversidade. Esse mecanismo é chamado de **cladogênese**.

MECANISMOS DE ISOLAMENTO REPRODUTIVO

O isolamento reprodutivo pré-zigótico ocorre antes da fecundação e da formação do zigoto. Entre as possibilidades desse isolamento reprodutivo destacam-se o **isolamento ecológico** ou **de hábitat**, em que espécies ocupam diferentes áreas geográficas e não se encontram naturalmente para a reprodução. É o que ocorre entre tigres e leões. Apesar de existirem descendentes em cativeiro, não se reproduzem em condições naturais, já que o leão asiático vive em savanas e o tigre em florestas.

O **isolamento estacional** ou **sazonal** ocorre quando espécies apresentam diferentes épocas reprodutivas. Muitas vezes, os gametas de uma espécie não estão maduros na mesma época que os gametas de outra.

O **isolamento etológico** ou **comportamental** ocorre quando espécies apresentam padrões de comportamento tão distintos que os machos de uma espécie não atraem as fêmeas de outra. Ocorre em razão de mudanças significativas na corte: canto, dança, liberação de feromônios etc. É observado em vertebrados, como aves e sapos (diferentes coaxar), e em insetos, como vaga-lumes, com diferentes padrões de cores nos sinais luminosos.

O **isolamento mecânico** ocorre quando os órgãos reprodutores das espécies se tornam incompatíveis, impedindo a cópula. Ocorre em artrópodes, gastrópodes e alguns anelídeos hermafroditas.

Por fim, o **isolamento por mortalidade gamética** acontece quando gametas de uma espécie morrem dentro do organismo de outra espécie em virtude de diferenças fisiológicas entre aparelhos reprodutores e reações imunitárias.

ISOLAMENTO REPRODUTIVO PÓS-ZIGÓTICO

Ocorre após a fecundação e consequente formação do zigoto. Entre as possibilidades desse tipo de isolamento reprodutivo, destacam-se a **morte do zigoto** ou **embrião**, sendo o desenvolvimento incompleto em virtude de diferenças genéticas entre as espécies. Ocorre em peixes com fecundação externa em decorrência da mistura de gametas de diferentes espécies na água; a **esterilidade do descendente**, quando ocorrem desenvolvimento embrionário e nascimento dos descendentes, na maioria, estéreis. É o que acontece no cruza-

mento do jumento com a égua, originando o burro ou a mula, ou do cavalo com a zebra, gerando um zebroide.

VELOCIDADES DO PROCESSO DE EVOLUÇÃO

O evento resultante do acúmulo de pequenas diferenças genéticas durante um longo período sob influência de seleção natural é chamado de **gradualismo**. O **equilíbrio pontuado**, contudo, é o conjunto de poucas mudanças rápidas ao longo da evolução das populações que se dão de maneira rara e pontual. Exemplo: catástrofe com extinção em massa.

TIPOS DE ESPECIAÇÃO

Se o fluxo genético entre conjuntos de indivíduos for interrompido, por barreiras físicas ou não, essas subpopulações acumularão lentamente diferenças genéticas. As diferenças acumuladas podem levar a uma situação que não permita o cruzamento entre indivíduos dessas populações. Nesse momento, obtêm-se duas espécies diferentes, por isolamento reprodutivo. Os tipos de especiação são frequentemente classificados de acordo com o quanto a separação geográfica pode contribuir para a redução de fluxo gênico.

ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA

É o modo mais conhecido e aceito de especiação. Possui fluxo gênico entre grupos de uma população igual ou próximo a zero por causa da separação geográfica que impede o contato direto entre esses grupos e a reprodução sexuada. Cada subpopulação passa por processos independentes de evolução, até se tornarem incapazes de cruzar e deixar descendentes férteis. Pode ocorrer de diversas maneiras, entre elas, por isolamento geográfico e por **isolamento ecológico**, quando na área ocupada por dada espécie podem ocorrer alterações ambientais (florestações, períodos de seca), originando habitats com diferentes condições.

A intensificação das diferenças pode contribuir para a formação de raças ou subespécies – variações de uma mesma espécie, com diferenças morfológicas, que ainda podem cruzar, originando descendentes férteis. Mesmo quando o processo de especiação é iniciado com isolamento geográfico, isso não significa que haverá obrigatoriamente formação de novas raças ou subespécies. O que indica a formação de novas espécies é o isolamento reprodutivo.

Diferentes espécies de cães, por exemplo, são consideradas raças ou subespécies, porque não ocorreu ainda a interrupção completa do fluxo gênico entre elas. Raças de tamanhos intermediários podem servir de pontes gênicas, transferindo genes entre raças de tamanhos extremos.

ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA

Mecanismo que ocorre sem isolamento geográfico entre populações, as quais evoluem no mesmo ambiente. A exploração de novo nicho pode automaticamente reduzir o fluxo gênico com indivíduos que exploram outros nichos. Apesar de o fluxo gênico entre indivíduos ser total, as interações ecológicas levam a

essa forma de especiação. Isso ocasionalmente pode acontecer quando, por exemplo, insetos herbívoros experimentarem uma nova planta hospedeira.

IRRADIAÇÃO E CONVERGÊNCIA ADAPTATIVA

IRRADIAÇÃO ADAPTATIVA

Mecanismo de especiação baseado na separação por barreira física de uma população inicial (grupo ancestral) em dois grupos. A passagem do tempo pode formar duas espécies adaptadas a ambientes diferentes.

Com base nesse modelo de especiação, uma questão pode ser levantada: novas espécies são geradas somente aos pares, ou seja, as duas simultaneamente, ou é possível a formação de várias espécies acumularão lentamente de um mesmo grupo ancestral? A questão pode ter uma resposta na irradiação adaptativa – modalidade de especiação na qual ocorre formação de várias espécies por meio de mecanismos de um ancestral comum, estando cada nova espécie adaptada ao seu ambiente. Esse fenômeno pode ser exemplificado pela evolução dos mamíferos.

Os achados fósseis e outras evidências possibilitaram a proposição da hipótese de que mamíferos atuais se originaram de um pequeno insetívoro. Morcego, hiena e hipopótamo são animais bastante diferentes, adaptados a ambientes com características bem diversas, e apresentam estruturas similares: pelos, glândulas mamárias, diafragma, coração com quatro cavidades, entre outras. Suas semelhanças indicam ancestralidade comum e, portanto, parentesco evolutivo.

CONVERGÊNCIA ADAPTATIVA

Processo resultante da adaptação de grupos de organismos de espécies diferentes ao mesmo hábitat. Em virtude dessa integração no ambiente, os grupos têm semelhanças em relação à organização corporal, sem necessariamente possuírem parentesco evolutivo próximo.

Tubarão (peixe), golfinho (mamífero) e ictiossauro (réptil extinto), por exemplo, apresentam algumas semelhanças, como nadadeiras e forma hidrodinâmica do corpo. Mas não têm parentesco evolutivo próximo (peixe, mamífero, réptil), ou seja, não descendem de ancestral comum recente. A explicação para as semelhanças, embora não haja parentesco entre esses animais, é que ambos ocorrem no mesmo ambiente (marinho) ou no mesmo nicho ecológico. As parecidas seleções naturais do ambiente para as três espécies caracterizam caso de **evolução convergente**.

Quando buscamos explicar a evolução de um grupo de organismos, é frequentemente necessário combinar processos evolutivos graduais, nos quais características vão tendo suas distribuições modificadas ao longo das gerações de uma população por seleção natural, com saltos morfológicos produzidos por alterações no desenvolvimento, em particular, na sua regulação. Neste último caso, podemos ter grandes mudanças da morfologia dos organismos.

ROTEIRO DE AULA

TEORIAS EVOLUTIVAS DE LAMARCK E DARWIN

Jean-Baptiste Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck, criou a teoria denominada:

Lamarckismo

Principal obra

Fisiologia zoológica (1809)

Princípios

lei do uso e desuso

herança dos caracteres adquiridos

Charles Darwin e Wallace Russel, criaram a teoria denominada:

Darwinismo

Principal obra

A origem das espécies (1859)

Princípios

adaptação

seleção natural

variabilidade

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

ROTEIRO DE AULA

TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

Mecanismos

Variabilidade gênica

mutação

Recombinação genética

fecundação

crossing over

segregação

Fluxo gênico

deriva genética

Seleção natural:

estabilizadora

direcional

disruptiva

Coevolução

Processos

Anagênese

evolução sequencial

Cladogênese

especiação

peripátrica

parapátrica

simpátrica

Isolamento reprodutivo

pré-zigótico

pós-zigótico

Mecanismos de especiação

Ecológico

Morte do zigoto

convergência adaptativa

Sazonal

Esterilidade dos descendentes

irradiação adaptativa

Mecânico

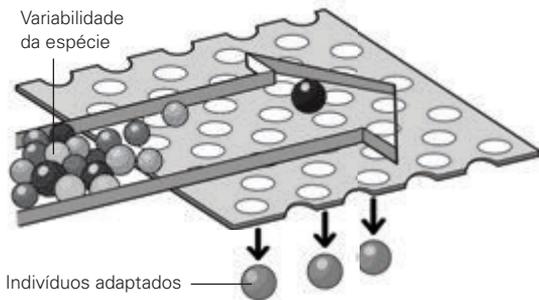
Etológico

Mortalidade gamética

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFSC – Em uma aula sobre evolução, o professor apresentou o seguinte modelo didático: uma tela que possibilita apenas a passagem das bolinhas pequenas.



FAVARETTO, J. A. *Biologia: unidade e diversidade*, 3º ano, 1. ed. São Paulo: FTD, 2016. p. 267. (Adaptado).

Com base no modelo didático e sobre o assunto evolução, é correto afirmar que

- 01** o modelo didático pode representar esquematicamente a ação da seleção natural.
- 02** a mutação é um mecanismo que promove a variabilidade da espécie.
- 04** os fenótipos necessários para a sobrevivência e a reputação dos indivíduos se modificam por causa da transmissão aos descendentes de novas características adquiridas, conforme proposto por Lamarck.
- 08** a teoria da evolução proposta por Darwin e Wallace foi elaborada após a descrição dos mecanismos genéticos que promovem a variabilidade da espécie.
- 16** os indivíduos adaptados não apresentarão variabilidade nas suas futuras gerações.
- 32** o *Aedes aegypti*, ao longo do seu processo evolutivo, apresentou um nicho ecológico em expansão, com novos comportamentos que favoreceram a propagação do vírus da dengue, chicungunha e zika.
- 64** a seleção artificial pode ser explicada através do modelo didático, no qual a tela representa os critérios estabelecidos pelo ser humano com o objetivo de selecionar indivíduos com características de interesse.

35 (01 + 02 + 32)

(04) Incorreta. Os fenótipos necessários para a sobrevivência e a reprodução das espécies se modificam por eventos genéticos, como mutações e recombinações gênicas.

(08) Incorreta. A teoria da evolução proposta por Darwin e Wallace foi apresentada antes da descrição dos mecanismos genéticos que promovem a variabilidade das espécies.

(16) Incorreta. A produção de variabilidade ocorre em todos os indivíduos.

(64) Incorreta. A seleção natural é explicada pelo modelo didático.

2. EBMSP-BA

C4-H16

Como nós, seres humanos, somos grandes e inteligentes o bastante para produzir e utilizar antibióticos e desinfetantes, convencemo-nos, facilmente, de que banimos as bactérias para a periferia da existência. Não acredite nisso. As bactérias podem não construir cidades nem ter vidas sociais interessantes, mas elas estarão presentes quando o Sol explodir. Este é o planeta estar, e só vivemos nele porque elas permitem.

BRYSON, Bill. *Breve história de quase tudo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005. p. 309.

A afirmativa que melhor esclarece os motivos científicos pelos quais a humanidade realmente não teria banido “as bactérias com o uso de antibióticos para a periferia da existência” é:

- a) O uso moderado dos antibióticos induziu o surgimento de novas características de resistência em superbactérias em relação aos medicamentos normalmente utilizados pela medicina.
- b) Os desinfetantes foram capazes de eliminar apenas a porção bacteriana mais sensível e incapazes de trazer informações herdáveis contidas no seu material genético, entretanto, mantiveram aquelas bactérias naturalmente ativas.
- c)** Os antibióticos orientam caminhos evolutivos mais adaptativos para as bactérias que já apresentavam estratégias de resistência a eles, alterando, assim, o conjunto gênico das populações que se apresentavam sob esse tipo de pressão seletiva.
- d) A população bacteriana se mostrou imune aos diversos esforços da humanidade em limitar a sua existência devido à sua alta capacidade mutacional, que é consequência da estrutura simplificada e acelular.
- e) As bactérias são consideradas os seres dominantes no planeta, visto que estão presentes em todos os tipos de nichos ecológicos existentes, como consequência do desenvolvimento de um novo tipo de código que se mostrou mais eficiente, quando comparado aos outros organismos.

Os antibióticos selecionam as variedades de bactérias naturalmente resistentes, eliminando as sensíveis, de maneira que os indivíduos resistentes se tornam mais frequentes na população.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

3. Fac. Santa Marcelina-SP – Lamarck, Darwin e Wallace foram importantes evolucionistas que contribuíram para esclarecer a transformação dos seres vivos ao longo do tempo.

- a) Cite as duas leis que norteavam o princípio evolutivo de Lamarck.

Segundo Lamarck, as transformações evolutivas ocorriam por modificações de órgãos devidas à lei de uso e desuso. Essas modificações adquiridas passariam para as próximas gerações hereditariamente.

- b) O meio ambiente desempenha um papel preponderante na adaptação dos seres vivos. Entretanto, para os evolucionistas citados, o meio exerce papéis diferentes. Como o meio atua sobre os seres vivos de acordo com o lamarckismo e de acordo com a teoria de Darwin-Wallace, respectivamente?

Para Lamarck, o meio impõe a necessidade da mudança de órgãos. Segundo a teoria de Darwin e de Wallace, o meio seleciona as variações mais vantajosas, que permitem melhor capacidade de sobrevivência e reprodução.

- c) Em relação à frequência de peixes que sobreviveram, explique por que a nova população que habita águas geladas será diferente da população original.

A nova população que habita as águas geladas é diferente da original por

que cerca de 5% dos animais sobreviveram após a mudança climática.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUCCamp-SP – A seleção natural é um conceito central para a teoria da evolução das espécies, proposta por Charles Darwin.

Considere os seguintes exemplos:

- I. Na prole de uma linhagem pura de moscas de olhos vermelhos encontra-se um indivíduo com olhos brancos.
- II. Pássaros com bicos diferentes que consomem estruturas das plantas.
- III. Insetos camuflados no ambiente.

A seleção natural explica o que está exemplificado em

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) I e III, apenas.
- d) I, II e III.
- e) II e III, apenas.

8. Famerp-SP – Após uma aula sobre a teoria evolutiva de Darwin-Wallace, cinco estudantes discutiram sobre o tema e cada um chegou a uma conclusão sobre as adaptações encontradas em algumas espécies de animais.

- I. Lucas: “As espécies animais tiveram que se adequar ao meio ambiente para sobreviver e foi assim que as características adaptativas favoráveis foram surgindo.”
- II. Bernardo: “O meio ambiente escolheu os seres vivos mais aptos e, assim, muitas espécies, como insetos, formaram as asas para atender a essa escolha.”
- III. Camila: “A seleção natural impôs às espécies de animais que se modificassem e, dessa forma, elas sobreviveram, caso contrário, teriam sido eliminadas.”
- IV. Karen: “Os animais com características favoráveis tinham mais chance de sobrevivência e de reprodução e essas características foram transmitidas aos descendentes.”
- V. Tatiana: “Animais, como os peixes, possuem adaptações semelhantes, uma vez que tinham as mesmas necessidades de sobrevivência na água e, por seleção natural, geraram filhotes semelhantes.”

O conceito da teoria de Darwin-Wallace foi corretamente apresentado por

- a) Tatiana.
- b) Karen.
- c) Camila.
- d) Lucas.
- e) Bernardo.

9. UEL-PR – Leia o texto a seguir e responda à questão.

O tempo nada mais é que a forma da nossa intuição interna. Se a condição particular da nossa sensibilidade lhe for suprimida, desaparece também o conceito de tempo,

que não adere aos próprios objetos, mas apenas ao sujeito que os intui.

KANT, I. *Crítica da razão pura*. Trad. Valério Rohden e Udo Balduer Moosburger. São Paulo: Abril Cultural, 1980. p. 47. Coleção Os Pensadores.

No início do século XIX, alguns naturalistas passaram a adotar ideias evolucionistas para explicar a diversidade do mundo vivo. Embora os teólogos naturais tivessem reconhecido a importância do meio ambiente e as adaptações dos organismos a ele, Jean-Baptiste Lamarck foi o primeiro a reconhecer a importância crucial do tempo para explicar a diversidade da vida.

Assinale a alternativa que apresenta, corretamente, uma contribuição de Lamarck para o pensamento evolucionista da época, além do fator tempo.

- a) Uma vez que, a cada geração, sobrevivem os mais aptos, eles tendem a transmitir aos descendentes as características relacionadas a essa maior aptidão para sobreviver.
- b) Os indivíduos que sobrevivem e se reproduzem, a cada geração, são os que apresentam determinadas características relacionadas com a adaptação às condições ambientais.
- c) Algumas características conferem a seus portadores vantagens para explorar o meio ambiente de forma a tornar a sobrevivência e a reprodução mais eficientes.
- d) A variação casual apresenta-se em primeiro lugar e a atividade ordenada do meio ambiente vem posteriormente, ou seja, a variação independente do meio.
- e) A adaptação é o inevitável produto final de processos fisiológicos requeridos pelas necessidades dos organismos de fazer face às mudanças de seu ambiente.

10. UNESP – Em uma ilha isolada, havia uma população de roedores cuja cor da pelagem era determinada pelos alelos A e a. O alelo dominante determinava pelagem escura e o alelo recessivo determinava pelagem clara. A proporção genotípica para cada 100 indivíduos era de 50 homocigotos recessivos, 30 homocigotos dominantes e 20 heterocigotos. Um terremoto local separou a ilha em duas porções de terra, uma maior e outra menor, e cada uma ficou com a metade da população inicial de roedores, sem que houvesse fluxo de animais entre as porções. Casualmente, na porção menor, não havia roedores de pelagem clara e as condições ambientais mudaram drasticamente. Uma geração depois, nasceram inúmeros roedores de pelagem clara nessa ilha. Após décadas, biólogos constataram que a população da ilha menor constituía uma nova espécie.

Por que, uma geração depois, nasceram inúmeros roedores de pelagem clara na ilha menor? Explique como a seleção natural contribuiu para a formação da nova espécie de roedores na ilha menor.

11. **UFTM-MG** – Um estudante do ensino médio, ao ler sobre o tegumento humano, fez a seguinte afirmação ao seu professor: “o ser humano moderno não apresenta tantos pelos como os seus ancestrais, pois deixou de usar esses anexos como isolante térmico. Isso só foi possível porque o ser humano adquiriu uma inteligência que permitiu a confecção de roupas, protegendo-o do frio”. Diante dessa informação dada pelo aluno, o professor explicou que isso

- a) não ocorreu e a informação está de acordo com a teoria evolutiva de Lamarck, que pressupõe que estruturas do corpo que não são solicitadas desaparecem e essas características adquiridas são transmitidas aos descendentes.
- b) não ocorreu e a informação está de acordo com a teoria evolutiva de Lamarck, que pressupõe que existe variação genotípica entre indivíduos, sendo que aqueles portadores de características adaptativas conseguem sobreviver e deixar descendentes.
- c) ocorreu de fato e a informação está de acordo com a teoria evolutiva de Darwin, que pressupõe que os seres vivos com características adaptativas favoráveis têm maiores chances de viver.
- d) ocorreu de fato e a informação está de acordo com a teoria evolutiva de Darwin, que pressupõe que os seres vivos por necessidade vão se modificando ao longo do tempo.

12. **UFRN** – A restrição à venda de antibióticos no Brasil foi uma medida tomada em função do aparecimento de bactérias super-resistentes. Atualmente, com os avanços na área da Genética e da Biologia Molecular, uma das explicações aceitas para o surgimento dessas bactérias é a ocorrência de mutações, a partir das quais haveria uma mudança aleatória em um determinado gene, e, dessa forma, as bactérias passariam a apresentar resistência ao antibiótico.

No passado, sem o conhecimento da Genética e da Biologia Molecular, Lamarck e Darwin elaboraram explicações para o surgimento de novas variedades de seres vivos.

Nesse contexto, como pode ser explicado o surgimento de bactérias super-resistentes

- a) com base na teoria da evolução de Lamarck?

- b) com base na teoria da evolução de Darwin?

13. **UECE** – Pitcairn é uma ilha vulcânica cuja prole dos primeiros colonizadores recebeu genes dos britânicos e dos polinésios. Os fatores que podem aumentar a diversidade genética da população de Pitcairn são

- a) migração e mutação.
- b) consanguinidade e seleção natural.
- c) migração e seleção natural.
- d) consanguinidade e mutação.

14. **UNESP** – Na natureza, a grande maioria dos gafanhotos é verde. No entanto, uma mutação genética incomum e pouco conhecida, chamada eritrismo, provoca alteração na produção de pigmentos, o que resulta em gafanhotos cor-de-rosa. Descobertos em 1887, esses gafanhotos raramente são encontrados.

Os gafanhotos cor-de-rosa são raros porque

- a) a mutação reduz a variabilidade genética na população de gafanhotos, prejudicando a seleção natural de indivíduos cor-de-rosa.
- b) concorrem por alimento com os gafanhotos verdes, que são mais eficientes por terem a mesma coloração das folhagens.
- c) destacam-se visualmente e são facilmente encontrados e predados, enquanto os gafanhotos verdes se camuflam na natureza.
- d) os gafanhotos verdes são mais numerosos na natureza e, portanto, se reproduzem e deixam muito mais descendentes.
- e) são muito menos evoluídos que os gafanhotos verdes e por isso sobrevivem por pouco tempo na natureza.

15. **UFJF-MG** – A borboleta-lua-azul, *Hypolimnas bolina*, habita as ilhas Samoa e estava sendo atacada por um parasita que destruía apenas embriões do sexo masculino, o que causou um sério desequilíbrio entre os sexos. Os machos chegaram a representar apenas 1% da população de borboletas. No entanto, após dez gerações, o sexo masculino voltou a representar 40% da população de borboletas. O aumento da proporção de machos não se deve ao desaparecimento do parasita, pois ele ainda estava presente, mas não era mais letal aos embriões do sexo masculino.

- a) Com base na teoria sintética da evolução, quais fatores evolutivos permitiram que a população de machos se restabelecesse?

b) Se essa população resistente ao parasita fosse isolada geograficamente, por um longo período de tempo, de outras populações da mesma espécie que não sofrem o ataque deste parasita, o que iria acontecer? Qual o processo evolutivo responsável?

c) Como no exemplo da borboleta-lua-azul, indivíduos de uma mesma população apresentam características diferentes. Quais os mecanismos responsáveis por gerar essa variação entre indivíduos?

16. UFJF-MG – Recentemente, uma nova espécie de caramujo aquático foi descrita para a América do Norte. Os pesquisadores estavam estudando o que acreditam se tratar de duas populações de uma espécie bem conhecida, quando observaram que os indivíduos da população "A" apresentam características morfológicas diferentes daquelas observadas nos indivíduos da população "B". Para confirmar que a população "A" representava uma nova espécie, os pesquisadores analisaram e compararam o DNA dos indivíduos provenientes das duas populações e provaram, através de experimentos de laboratório, que esses indivíduos não são capazes de se acasalar. As diferenças observadas no DNA e o fato de os indivíduos das duas populações não terem acasalado e, portanto, não gerarem descendentes férteis foram interpretados pelos cientistas como provas de que

essas duas populações correspondem a duas espécies diferentes.

- I. Os mecanismos de isolamento reprodutivo entre as populações de caramujos poderiam ser do tipo pré-zigótico, já que os indivíduos não foram capazes de se acasalar.
- II. Duas populações que se encontram em alopatria podem se tornar espécies diferentes ao longo do tempo devido à manutenção do fluxo gênico.
- III. Através de mutações no DNA e ausência de fluxo gênico, alelos diferentes vão sendo fixados nas duas populações, levando à formação de duas espécies diferentes.
- IV. O isolamento geográfico pode resultar em mudanças no fenótipo que tornam os indivíduos incompatíveis para a reprodução.
- V. O isolamento reprodutivo pode ocorrer em consequência do isolamento geográfico e ausência de fluxo gênico entre populações alopátricas.

Assinale a opção com as afirmativas corretas

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

17. UFPR – A hemoglobina falciforme (HbS) é uma variante estrutural da hemoglobina normal, gerada pelo alelo "s". Quando o alelo "s" é herdado de apenas um dos genitores, a criança heterozigota (Ss) é uma portadora assintomática. Quando é herdado dos dois genitores, a criança sofre de anemia falciforme, uma doença grave que comumente leva à morte nos primeiros anos de vida. Portadores do alelo "s" são resistentes à malária, que frequentemente é letal, especialmente nos primeiros anos de vida.

Que tipo de seleção natural atua em locais da África com alta incidência de malária e qual genótipo é favorecido?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C4-H16

Darwin, em viagem às Ilhas Galápagos, observou que os tentilhões apresentavam bicos com formatos diferentes em cada ilha, de acordo com o tipo de alimentação disponível. Lamarck, ao explicar que o pescoço da girafa teria esticado para colher folhas e frutos no alto das árvores, elaborou ideias importantes sobre a evolução dos seres vivos.

O texto aponta que uma ideia comum às teorias da evolução, propostas por Darwin e por Lamarck, refere-se à interação entre os organismos e seus ambientes, que é denominada de

- a) mutação.
- b) adaptação.
- c) seleção natural.
- d) recombinação gênica.
- e) variabilidade genética.

19. Enem

C4-H16

Alguns anfíbios e répteis são adaptados à vida subterrânea. Nessa situação, apresentam algumas características corporais como, por exemplo, ausência de patas, corpo anelado que facilita o deslocamento no subsolo e, em alguns casos, ausência de olhos.

Suponha que um biólogo tentasse explicar a origem das adaptações mencionadas no texto utilizando conceitos da teoria evolutiva de Lamarck. Ao adotar esse ponto de vista, ele diria que

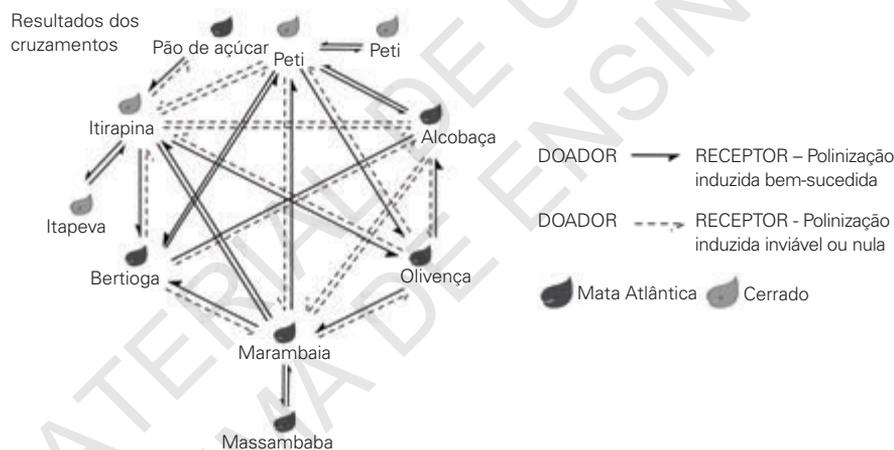
- as características criadas no texto foram originadas pela seleção natural.
- a ausência de olhos teria sido causada pela falta de uso deles, segundo a lei do uso e desuso.
- o corpo anelado é uma característica fortemente adaptativa, mas seria transmitida apenas à primeira geração de descendentes.
- as patas teriam sido perdidas pela falta de uso e, em seguida, essa característica foi incorporada ao patrimônio genético e então transmitida aos descendentes.
- as características citadas no texto foram adquiridas por meio de mutações e depois, ao longo do tempo, foram selecionadas por serem mais adaptadas ao ambiente em que os organismos se encontram.

20. Enem

C5-H17

O processo de formação de novas espécies é lento e repleto de nuances e estágios intermediários, havendo uma diminuição da viabilidade entre cruzamentos. Assim, plantas originalmente de uma mesma espécie que cruzam mais entre si podem ser consideradas como uma espécie se diferenciando. Um pesquisador realizou cruzamentos entre nove populações – denominadas de acordo com a localização onde são encontradas – de uma espécie de orquídea (*Epidendrum denticulatum*). No diagrama estão os resultados dos cruzamentos entre as populações.

Considere que o doador fornece o pólen para o receptor.



FIORAVANTI, C. Os primeiros passos de novas espécies: plantas e animais se diferenciam por meio de mecanismos surpreendentes. Pesquisa Fapesp, out. 2013. (Adaptado).

Em populações de quais localidades se observa um processo de especiação evidente?

- Bertiooga e Marambaia; Alcobaça e Olivença.
- Itirapina e Itapeva; Marambaia e Massambaba.
- Itirapina e Marambaia; Alcobaça e Itirapina.
- Itirapina e Peti; Alcobaça e Marambaia.
- Itirapina e Olivença; Marambaia e Peti.

14

EVOLUÇÃO DE POPULAÇÕES E EVOLUÇÃO HUMANA

- Genética de populações
- Equilíbrio de Hardy-Weinberg
- Origem e evolução dos grandes grupos
- Evolução dos primatas
- Evolução humana

HABILIDADES

- Compreender o conceito de genética de populações.
- Explicar o equilíbrio de Hardy-Weinberg e as frequências esperadas para uma população em razão dessa predição.
- Identificar a história evolutiva dos grandes grupos de seres vivos.
- Compreender o processo evolutivo dos primatas.
- Identificar a evolução humana por meio da história evolutiva.
- Entender o processo evolutivo como não linear e processual.

Quando tratamos de biodiversidade, normalmente pensamos em seres macroscópicos, florestas, savanas e oceanos. No entanto, o que vem à mente quando nos referimos à biodiversidade genética?

De maneira geral, quanto mais uma população é geneticamente diversa, maiores são as chances de sucesso evolutivo em situações de mudanças ambientais ou em casos de propagação de doenças letais. Esse fato ocorre porque a presença de determinado alelo é capaz de garantir a sobrevivência de uma população.

A perda da variabilidade genética afeta negativamente a habilidade de uma população se adaptar às mudanças no ambiente, o que pode levar à extinção da população ou da espécie, dependendo do tipo e da intensidade da transformação ambiental.

GENÉTICA DE POPULAÇÕES

A evolução de uma espécie depende da variação da frequência de certos genes na população. Diversos são os fatores que possibilitam essa variação, como: seleção natural, mutação, deriva genética, isolamento geográfico e isolamento reprodutivo.

A genética de populações estuda modelos matemáticos para estimar a frequência dos alelos e as alterações causadas por pressões evolutivas diversas.

EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG

O matemático inglês Godfrey Harold Hardy (1877-1947) e o médico alemão Wilhelm Weinberg (1862-1937) analisaram de maneira independente o comportamento dos genes. Eles verificaram que as frequências gênicas são constantes por muitas gerações em uma população bastante numerosa, isenta de fatores evolutivos, cujos cruzamentos ocorrem ao acaso.

As condições estabelecidas para tal população são:

- grande quantidade de indivíduos que permita todos os tipos de cruzamento possíveis, de modo que não haja deriva genética;
- panmixia (do grego *pan* = todos; e do latim *miscere* = misturar), isto é, cruzamentos ao acaso, sem haver preferência por indivíduos portadores de determinado genótipo – situação em que a frequência de alelos se mantém inalterada. No entanto, isso geralmente não acontece, pois implica a não ocorrência de evolução;
- isenção de qualquer fator evolutivo, como seleção natural, mutação, migração e deriva genética.

Esse estudo deu origem ao **equilíbrio de Hardy-Weinberg**. Segundo ele, somente a população com essas três condições permanece em equilíbrio gênico, ou seja, a frequência de seus alelos se mantém constante ao longo das gerações.

O postulado de Hardy-Weinberg tem grande importância para a genética de populações, pois estabelece um padrão teórico para se compreender o padrão gênico de uma população ao longo das gerações: os fatores evolutivos alteram a frequência gênica da população, mutações incrementam nela novos genes, a seleção natural promove maior sucesso reprodutivo de genótipos selecionados e a migração altera a frequência por promover o fluxo de alelos de uma população para outra.

FREQUÊNCIA GÊNICA

Vamos considerar uma população em equilíbrio gênico, na qual existam, para dado caráter, os alelos **A** e **a**, e para a qual suas frequências somadas são sempre 100%. Se a frequência do alelo **A** é dada por **p** e a frequência do alelo **a** é expressa por **q**, temos:

$$\begin{aligned} A &= p \text{ e } a = q \\ \text{Logo:} \\ A + a &= 100\% \rightarrow \\ \rightarrow P + q &= 100\% \\ P + q &= 1 \end{aligned}$$

Como os cruzamentos são ao acaso, os indivíduos podem apresentar os seguintes genótipos: AA, Aa e aa. A frequência dos genótipos é dada pela probabilidade de um alelo, somada à probabilidade do seu par. Ou seja:

$$\begin{aligned} AA: p \times p &= p^2 \\ Aa: p \times q \\ Aa: q \times p &\} 2pq \\ Aa: q \times q &= q^2 \end{aligned}$$

Todos os indivíduos da população são representados por 100% e resultam da soma dos homocigotos dominantes (AA), recessivos (aa) e heterocigotos (Aa) da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} AA + Aa + aa &= 100\% \\ \text{Logo:} \\ p^2 + 2pq + q^2 &= 100\% \end{aligned}$$

Assim, tem-se a fórmula que expressa as probabilidades dos genótipos para determinado par de alelos na população:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

APLICABILIDADE DO EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG

Aplicar o equilíbrio de Hardy-Weinberg ajuda a determinar se uma população hipotética está ou não em equilíbrio, a fim de destacar a presença de processos evolutivos que provocaram desvios ou estimar se um alelo está submetido à ação da seleção natural ou se apresenta um efeito neutro.

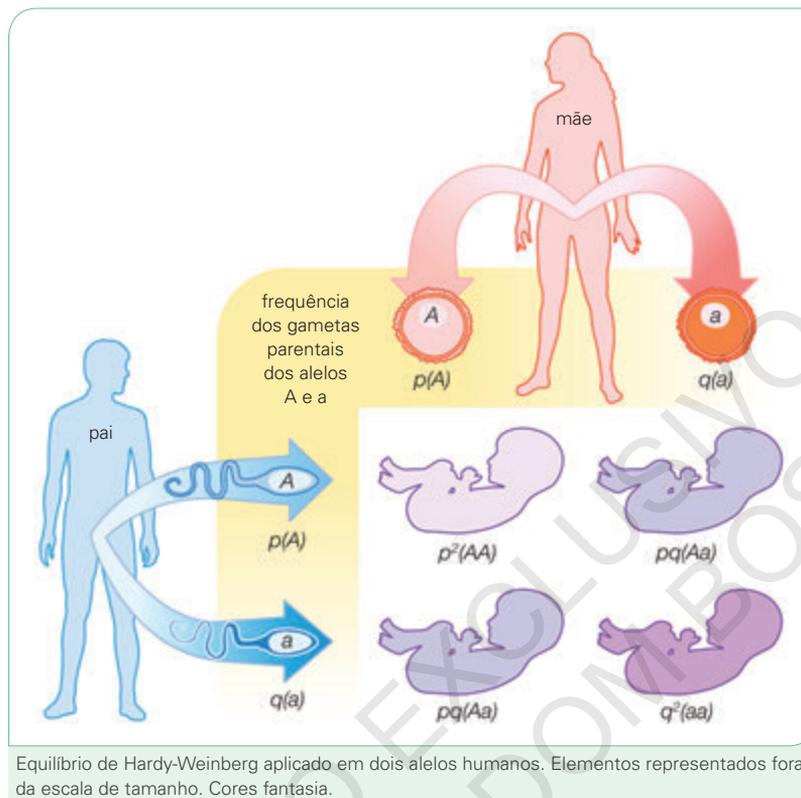
Se a frequência dos alelos autossômicos **A** e **a** é, respectivamente, 60% e 40% (0,6 e 0,4), cada gameta tem apenas um alelo de cada gene. Conclui-se, então, que 60% dos gametas produzidos por essa população têm o alelo **A** e que os outros 40% apresentam o alelo **a**.

Um indivíduo homocigoto (**AA** ou **aa**) origina-se quando o gameta portador de um alelo **A** ou **a** fecunda um gameta portador do mesmo alelo, **A** ou **a**. A probabilidade de esse evento acontecer é igual ao produto das frequências com que esses tipos de gametas ocorrem.

$$\begin{aligned} f(A) \times f(A) &= 0,6 \times 0,6 = 0,36 \text{ ou } 36\% \\ f(a) \times f(a) &= 0,4 \times 0,4 = 0,16 \text{ ou } 16\% \end{aligned}$$

A probabilidade de ocorrência de um indivíduo heterocigoto **Aa** é dada por:

$$\begin{aligned} f(A) \times f(a) + f(a) \times f(A) &= 0,6 \times 0,4 + 0,4 \times 0,6 = \\ &= 0,24 + 0,24 = 0,48 \text{ ou } 48\% \end{aligned}$$



UNIVERSAL IMAGES GROUP NORTH AMERICA LLC / ALAMY STOCK PHOTO

ORIGEM E EVOLUÇÃO DOS GRANDES GRUPOS

A origem do planeta Terra é explicada pela fusão de partículas oriundas de uma grande explosão cósmica, o *Big Bang*. As condições ambientais daquela Terra recém-formada não eram adequadas para as formas de vida conhecidas atualmente. Havia diversos elementos que impossibilitavam a existência de vida, como forte radiação ultravioleta, ausência da camada de ozônio, constantes erupções vulcânicas e violentos choques com asteroides.

Com a presença de fortes descargas elétricas, a atmosfera primitiva (rica em metano, amônia, gás hidrogênio e água) se rearranjou após o abrandamento da situação do planeta. Deu-se então a formação dos coacervados, que provavelmente se aperfeiçoaram a ponto de adquirir composição orgânica.

A análise da idade das rochas por paleontólogos revelou que a Terra se tornou um corpo sólido no espaço há cerca de 4,5 bilhões de anos, período no qual decorreu toda a história do planeta, como o aparecimento da vida (há cerca de 4 bilhões de anos) e a evolução das espécies.

Em 1953, o cientista Stanley Miller (1930-2007) reproduziu em laboratório o ambiente atmosférico da Terra primitiva e o surgimento de diversas substâncias orgânicas.

Por meio de seus experimentos, Miller concluiu que a primeira forma de vida – marinha, unicelular, heterotrófica e procariota – teria se originado de um coacervado e que a evolução haveria atuado desde o surgimento desse primeiro organismo vivo.

ERAS GEOLÓGICAS

Para se estudar a idade referente ao surgimento dos seres vivos, a história da Terra é dividida em eras, períodos e épocas, que compreendem espaços de tempo da ordem de milhões de anos.

Essa divisão dos períodos é chamada **tempo geológico** e confere um retrato temporal evolutivo da história do nosso planeta e do surgimento dos diversos tipos de seres vivos.

As eras geológicas são divididas em quatro grandes intervalos: Proterozoica, Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica. Estes, por sua vez, estão divididos em etapas menores: os períodos.

Na tabela a seguir, constam as eras e os períodos geológicos do planeta, além de um resumo do surgimento dos principais animais e vegetais ao longo do tempo.

Quadro-resumo das eras geológicas			
Eras	Períodos (milhões de anos - M.a.)	Animais	Vegetais
Azoica (sem vida)	4 600	ausência de vida	ausência de vida
Proterozoica	Pré-Cambriano: 2 500	invertebrados aquáticos com esqueletos moles	algas
Paleozoica	Cambriano: 543	dominância dos trilobitas; ágnatos; primeiros cordados	algas
	Ordoviciano: 510	diversificação dos invertebrados	algas
	Siluriano: 439	artrópodes terrestres; abundância de invertebrados	primeiras plantas vasculares terrestres (psilófitas)
	Devoniano: 409	primeiros anfíbios; muitos tipos de peixes; animais terrestres (artrópodes)	desenvolvimento de musgos, samambaias e pteridófitas
	Carbonífero: 354	idade dos anfíbios; primeiros répteis	vegetação luxuriante; florestas de musgos e samambaias
	Permiano: 300	expansão dos répteis; últimos trilobitas	proliferação das coníferas
Mesozoica	Triássico: 250	primeiros dinossauros; mamíferos; répteis semelhantes a mamíferos (<i>Therapsida</i>)	domínio das coníferas
	Jurássico: 206	domínio dos dinossauros primeiras aves (<i>Archaeopteryx</i>); prototérios	domínio das coníferas
	Cretáceo: 144	extinção dos dinossauros; primeiros primatas; insetos sociais	primeiras plantas com flores (angiospermas)
Cenozoica	Terciário (Paleolítico): 65	hominídeos; diversificação de mamíferos e aves	domínio de plantas com flores
	Quaternário (Neolítico): 0,01	evolução da espécie humana; gêneros e espécies atuais; homens pré-históricos	plantas atuais

Durante os períodos Cambriano e Ordoviciano, a vida nos oceanos passou por grande evolução. Surgiram diversos invertebrados marinhos, como cnidários, moluscos e equinodermos. Os artrópodes, como os trilobitas, distribuíram-se mundialmente em grande número e tiveram sucesso evolutivo em virtude do desenvolvimento de carapaça e da origem de animais com notocorda (estrutura que futuramente originou a coluna vertebral). O final do Período Cambriano foi marcado pela primeira extinção em massa, provocada principalmente por grandes erupções vulcânicas.

EVOLUÇÃO DOS VERTEBRADOS

Esses animais caracterizam-se pela presença de coluna vertebral segmentada e contam com uma estrutura protetora do cérebro, o crânio, conforme estudado anteriormente.

Os fósseis de vertebrados mais antigos foram encontrados na China e datam do início do Cambriano. Pertenciam a animais pequenos, alongados, com vértebras rudimentares e provavelmente aquáticos.

Mesmo que os fósseis de animais do Ordoviciano (há cerca de 450 milhões) sejam escassos, os cientistas acreditam que nesse período ocorreram as grandes mudanças dos vertebrados. Os fósseis só começam a ser abundantes no Período Silúrico, há cerca de 400 milhões de anos.

Apesar da grande variedade desse subfilo, todos os vertebrados têm ancestral comum, o **ostracodermo**, um pequeno peixe que viveu há aproximadamente 400 milhões de anos. De sua evolução, surgiram os agnatos atuais e o placodermo – primeiro peixe com mandíbula, considerado ancestral de todos os vertebrados atuais (peixes cartilagosos, peixes ósseos, anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

EVOLUÇÃO DAS PLANTAS

A origem dos organismos autótrofos data de 2,1 bilhões de anos atrás. Esses seres promoveram a liberação de oxigênio, o que transformou a atmosfera do planeta.

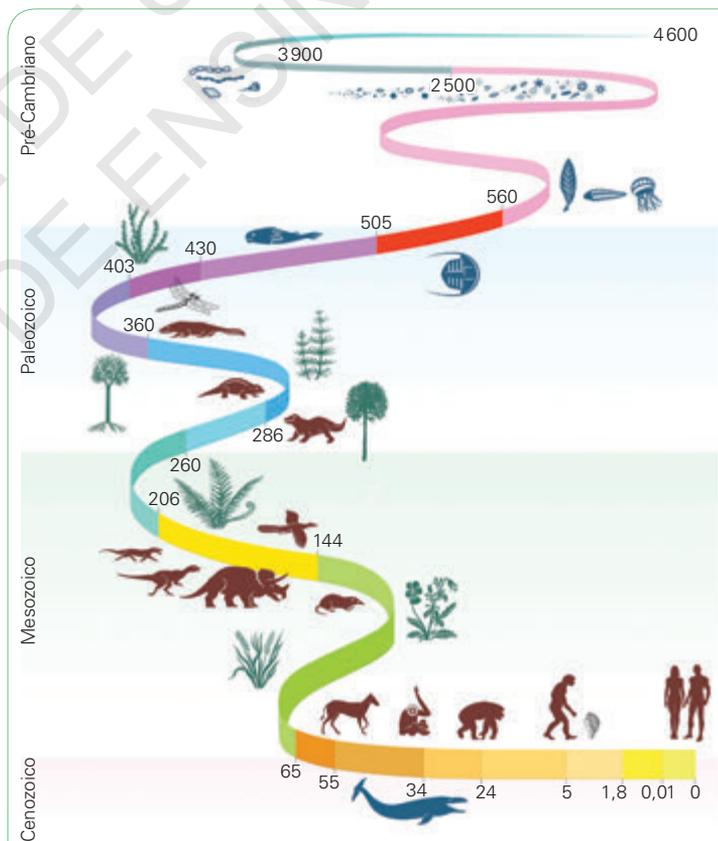
Os primeiros seres autótrofos provavelmente teriam sido aquáticos costeiros, já que essas localidades eram ricas em nitratos e minerais, elementos que se tornaram escassos com o aumento dos organismos aquáticos.

Os organismos vegetais aos poucos evoluíram e ficaram mais complexos. O talo das macroalgas, por exemplo, passou a apresentar estruturas de fixação e de transporte de nutrientes.

O primeiro grupo de plantas terrestres foi o das **psilófitas**, no Período Silúrico. Elas não tinham folhas e raízes verdadeiras, apenas um sistema vascular dentro de um caule com ramificação cilíndrica.

Em seguida, no Devoniano, apareceram musgos e samambaias (**pteridófitas**) com tecido condutor de seiva – xilema e floema. As samambaias em formato de árvores (**pteridospermas**) predominaram no Carbonífero. É provável que destas tenham surgido plantas vasculares, com pólen, tubo polínico, óvulo e sementes sem frutos (**gimnospermas**), as quais dominaram a Era Mesozoica.

No Cretáceo, surgiram plantas com flores e frutos (**angiospermas**), também originadas das pteridospermas.



Escala de tempo e vida geológica codificada por cores. Elementos representados fora da escala de tamanho. Cores fantasia.

LEITURA COMPLEMENTAR

Dinos entre nós

Estudos recentes demonstram que a relação de parentesco entre as aves e os dinossauros é bem mais próxima do que se pensava. Atualmente existem cerca de 10 000 espécies de aves, e todas elas são descendentes diretas dos dinossauros. O pescoço longo em forma de “S” que surgiu nos dinossauros provavelmente para ampliar o campo de visão e aumentar o acesso a alimentos é característica dos cisnes atuais. Alguns pesquisadores acreditam que até mesmo grandes carnívoros, como o tiranossauro, apresentavam algum tipo de bico dentado. O mesmo tipo de dedo virado para trás é usado pelos pombos para se manterem empoleirados nos fios elétricos. Os maniraptores apresentavam o mesmo tipo de articulação no punho (para deixar as mãos mais ágeis) que as aves possuem nas asas para ampliar a movimentação. Ossos pneumáticos responsáveis por facilitar o voo nas aves atuais deixavam os gigantes terópodes mais leves e ágeis. Os sacos aéreos nos dinossauros auxiliavam na captação de oxigênio em grandes corridas de fuga.

As semelhanças são tantas que pensar em aves como dinossauros evoluídos se torna plausível.

Adaptado de: <<https://super.abril.com.br/ciencia/dinos-entre-nos/>>. Acesso em: fev. 2019.

MIKKEL JUUL JENSEN / SCIENCE PHOTO LIBRARY / SCIENCE PHOTO LIBRARY / FOTOARENA



Evolução da adaptação dos dinossauros ao voo.

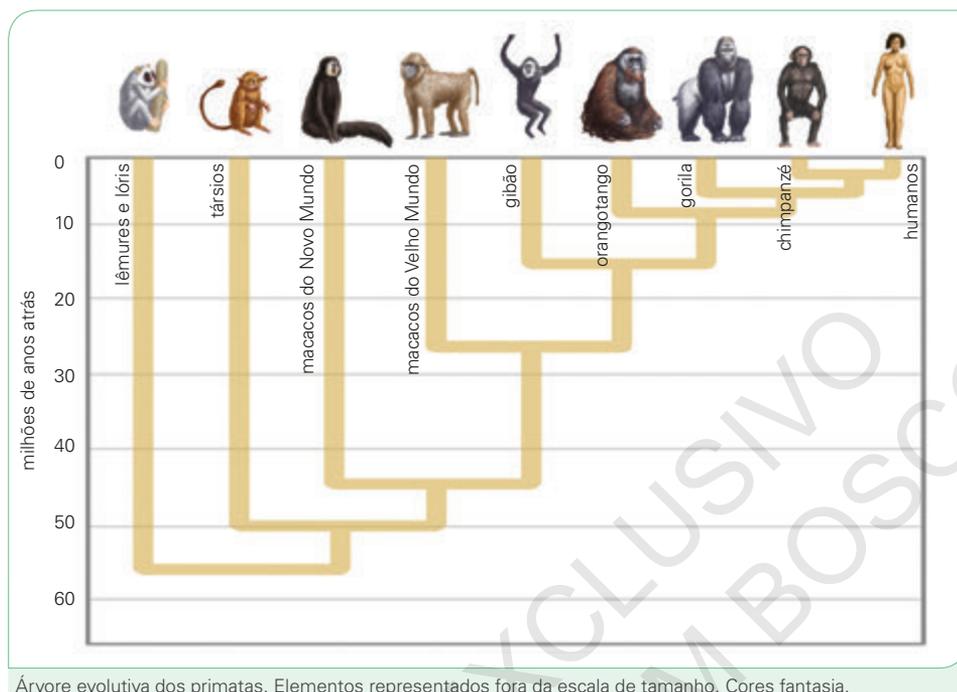
Entender a evolução humana é bastante complexo. Atualmente, estão catalogadas cerca de 600 espécies e subespécies de primatas. Não é possível explicar todas as características humanas em termos evolutivos porque estamos sujeitos não somente à evolução biológica mas também à evolução cultural que cada sociedade estabelece com o passar dos anos. Com o desenvolvimento de um cérebro complexo, que nos dá grande capacidade de aprendizagem, houve também o aprimoramento da linguagem, da cultura e da consciência. Mais do que as outras espécies, somos capazes de prever consequências de nossos atos, o que significa que podemos, conscientemente, escolher como vamos viver.

Este módulo tem como objetivo principal elucidar a origem da espécie humana moderna, os *Homo sapiens sapiens*, e as relações evolutivas dela com os outros primatas.

EVOLUÇÃO DOS PRIMATAS

Acredita-se que os primeiros mamíferos surgiram na era Mesozoica, por volta de 200 milhões de anos atrás, e somente há 66 milhões de anos que se tem notícias dos **pró-símios**, os primeiros ancestrais dos primatas. Assim como os pró-símios atuais (lêmures e társios, comuns na Ilha de Madagascar), os primeiros pró-símios provavelmente eram de hábitos arborícolas, com características basais, como o focinho molhado, mucosa do nariz ainda não internalizada como nos demais primatas (inclusive os humanos).

No caso de qualquer árvore evolutiva, é preciso observar que o tempo é interpretado de baixo para cima, ou seja, em cima temos os animais recentes e, abaixo, as linhagens antigas. Os pontos de encontro entre os traços são os ancestrais comuns, aqueles a partir dos quais as linhagens se ramificam. Os traços pretos representam as linhagens de todas as gerações até chegar aos grupos atuais.



O grupo mais basal da árvore evolutiva é o dos lêmures, seguido do grupo dos *Haplorrhini*, os társius, animais notívagos e insetívoros da África e da Ásia; dos *Anthropoidea* com os *Platyrrhini*, que são os macacos do Novo Mundo, ou seja, todos os macacos da América do Sul, como o macaco-prego, o mico-leão-dourado, o macaco-barrigudo e tantos outros. Os macacos do Novo Mundo apresentam, por exemplo, rabos bem desenvolvidos, usados como forma de locomoção.

Os *Catarrhini* representam os primeiros grupos dos macacos do Velho Mundo, que exibem rabos pouco desenvolvidos sem função específica. São representados também pelos macacos dos outros continentes, como o *Macaca mulatta*, o macaco-de-gibraltar, entre outros.

O grupo dos *Hominioidea* são os primatas sem rabo. Tem como seus representantes mais basais os *Hylobatidae*, indicados pelos gibões (macacos que vivem na Ásia), e os *Hominidae*, encarnados pelos orangotangos asiáticos e pelos africanos: gorilas, chimpanzés, bonobos e os seres humanos. Chama-se *Homininae* a linhagem que dá origem aos seres humanos.

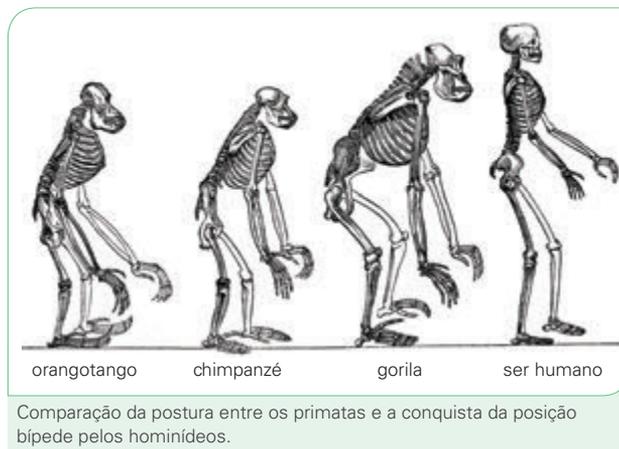
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS PRIMATAS

Todos os primatas (incluindo os humanos) dividem características em comum: são mamíferos placentários de características dentárias muito semelhantes; apresentam órbitas saltadas com visão estereoscópica bem desenvolvida; cérebro aumentado muito desenvolvido; mobilidade dos ossos ao redor da clavícula; movimentação rotacional do punho; membros com cinco dedos, entre eles, polegar opositor, e impressões digitais; almofadas táteis nas pontas dos dedos; presença de unhas no lugar de garras; apenas duas glândulas mamárias; gravidez prolongada e cuidado parental; frequentemente sociáveis, com divisão social definida.

Observa-se nos primatas uma tendência para a mudança na posição dos olhos: em vez de eles estarem localizados nos lados da cabeça, como nos outros mamíferos, ficam em posição frontal, o que permite uma visão em três dimensões, com percepção de profundidade. Quase todos os primatas apresentam, também, cones na retina, que possibilitam a visão das cores e tornam ainda mais eficiente esse sentido.

Os macacos do Novo Mundo são capazes de manter a postura ereta, parados ou caminhando, por um curto tempo, precisando usar as quatro patas para a locomoção.

Na evolução dos hominídeos, a posição bípede foi uma característica extremamente vantajosa por deixar os membros superiores livres. Esse fato permitiu, por exemplo, que as fêmeas conseguissem carregar seus filhotes e também facilitou a corrida nas savanas, a observação de presas e predadores a distâncias maiores, economizando energia no deslocamento.



Ainda não se sabe ao certo quais foram as causas que favoreceram a postura ereta do ser humano. Uma hipótese aceita atualmente é a de que o grupo de prima-

tas que originou a espécie humana teria abandonado a floresta e explorado os campos ou as savanas da África.

EVOLUÇÃO HUMANA

De acordo com os estudos da **Paleoantropologia**, nossos ancestrais mais próximos são conhecidos como **hominídeos** e englobam aproximadamente 20 espécies extintas. Há mais de 1 milhão de anos nasceu o *Australopithecus*, representante com muitos caracteres humanos, e depois dele surgiram o *Pithecanthropus*, o *Sinanthropus*, o *Homo heidelbergensis*, o homem de Neandertal e o homem de Cro-Magnon – e finalmente a espécie *Homo sapiens*, há cerca de 200 mil anos.

OS PRIMEIROS HOMINÍDEOS

Os hominídeos mais antigos são coletivamente chamados de *australopithecíneos*, ou *Australopithecus*. Embora tivessem o crânio e os dentes semelhantes aos dos chimpanzés, apresentavam traços característicos dos hominídeos.

A espécie mais antiga viveu há 4,2 milhões de anos, a *Australopithecus anamensis*. Há cerca de 3,5 milhões de anos surgiu o *Australopithecus afarensis*, e seu fóssil mais conhecido é o de uma fêmea, que foi batizada de **Lucy**. Apesar de 40% completo, o seu estudo permitiu entender os hábitos e as características que esse ancestral apresentava, com cerca de 1,10 m de altura, 23 kg e volume craniano de 430 mL, em média – semelhante ao de um chimpanzé, com um cérebro do tamanho de uma bola de tênis. Pegadas fossilizadas na Tanzânia comprovam que os hominídeos que viveram na época dos *H. afarensis* eram bípedes. O *Australopithecus africanus* (o grande macaco do sul da África), por sua vez, viveu há pouco menos de 3 milhões de anos. De pequena estatura, pesava mais ou menos 30 kg, com volume craniano com aproximadamente 1/3 do tamanho do cérebro humano (450 mL), era bípede e apresentava mãos e dentes muito similares aos dos seres humanos.



Reconstituição da Lucy, *Australopithecus afarensis* encontrado na Etiópia que data de 3,3 milhões de anos. Seu nome é uma homenagem à música *Lucy in the Sky with Diamonds*, dos Beatles.

O *Australopithecus robustus*, chamado por alguns paleontologistas de *Paranthropus robustus*, tinha uma caixa craniana um pouco maior do que a do *A. africanus*, com mais ou menos 500 mL. Esses representantes exibiam crânios muito mais robustos e aparato para alimentação muito mais desenvolvido, composto de dentes molares grandes capazes de triturar alimentos duros e resistentes, o que permite supor que se alimentavam de material vegetal de constituição enrijecida, como raízes, nozes e frutos de casca grossa.

O *Australopithecus boisei* viveu desde 2,4 milhões até 1,2 milhão de anos atrás. Com capacidade craniana de 530 mL, tinha molares ainda maiores do que os do *A. robustus*.

O USO DE FERRAMENTAS

A origem do uso de ferramentas na complexa evolução humana é um dos maiores desafios da paleontologia pela dificuldade de associar seus fósseis a seus prováveis criadores.

Louis Leakey encontrou na Tanzânia fósseis hominídeos com volume de crânio de 700 mL, datados com 1,8 milhão de anos, e os batizou de *Homo habilis*, que significa “homem hábil”, já que nas mesmas camadas em que os fósseis foram encontrados descobriram-se as ferramentas mais antigas de que se tem conhecimento. Esses instrumentos, feitos de pedra, provavelmente eram produzidos e utilizados pelo *H. habilis*.



Crânio do *Homo habilis*.

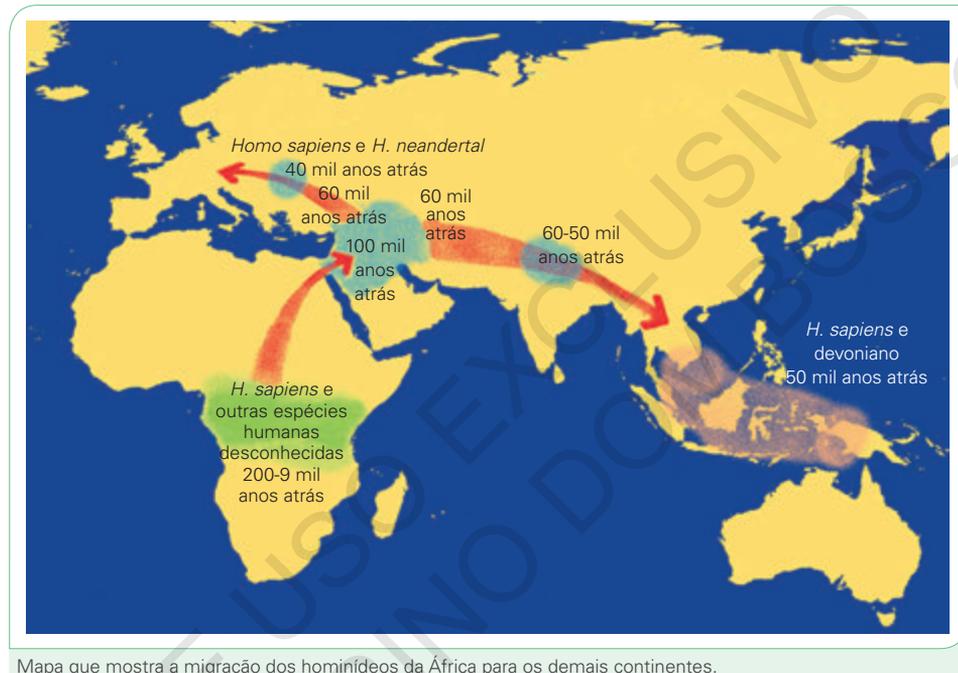
A habilidade de utilizar objetos para facilitar as atividades diárias é encontrada também nos outros grupos de primatas. Os chimpanzés, por exemplo, conseguem empregar rochas para esmagar e abrir alimentos, os orangotangos são capazes de moldar gravetos para conseguir capturar insetos de seus ninhos etc.

O USO DO FOGO

Foram descobertos, no final do século XIX, em Java, na Indonésia, e posteriormente na China, restos de carvão, cinzas e ossos queimados em cavernas com o primeiro fóssil de *Homo erectus*. Seu volume craniano era bem próximo ao do homem moderno adulto, variando entre 700 mL e 1 200 mL. A utilização e o controle do fogo propiciaram ao *H. erectus* aumento de seu reper-

tório alimentar, possibilitando o cozimento de alimentos duros quando crus, como partes rígidas dos vegetais, melhor conforto térmico em dias frios e mecanismos de defesa contra predadores.

Atualmente, os *Homo erectus* com habilidades para controlar o fogo são reconhecidos como *Homo ergaster*. Para grande parte dos paleontólogos em atividade hoje, o *H. erectus* se originou na África e foi o primeiro hominídeo a migrar para lugares distantes em outros continentes – seus fósseis já foram encontrados na Indonésia. As evidências fósseis indicam que os *H. erectus* foram extintos há cerca de 200 mil anos, enquanto o *Homo ergaster* data de 1,9 a 1,5 milhão de anos.



Mapa que mostra a migração dos hominídeos da África para os demais continentes.

O homem de Neandertal (*Homo neanderthalensis*)

O *Homo neanderthalensis* viveu, aproximadamente, de 150 mil a 30 mil anos atrás e recebe esse nome por seus fósseis terem sido encontrados em 1856 no vale do Neander, na Alemanha. Essa espécie se espalhou por toda a Europa, pelo Oriente Médio e pelas partes central e ocidental da Ásia.

Mais encorpado do que o ser humano moderno, tinha um volume craniano pouco maior que o nosso (1 200 mL a 1 750 mL) e usava ferramentas tão sofisticadas que provavelmente conseguia manipular peles de animais, as quais usava para se proteger do frio. Os homens de Neandertal provavelmente tinham algum tipo de comunicação verbal rudimentar. Há vários indícios de que eles tinham certo grau de organização social. Além disso, enterravam seus mortos, muitas vezes com alimentos, armas e até flores. Todas essas habilidades evolutivas, entretanto, não evitaram sua extinção há cerca de 30 mil anos.

Homens de Cro-Magnon

Pesquisas com as relações evolutivas dos neandertais e dos *Homo sapiens* indicam que elas divergiram há cerca de 400 mil anos, sinalizando que ambas as espécies evoluíram de um ancestral comum, e não diretamente uma da outra.

O *Homo sapiens* é a única espécie de hominídeo sobrevivente nos dias atuais. Os fósseis mais antigos têm pouco mais de 100 mil anos. Humanos primitivos dessa espécie são comumente chamados de **Homens de Cro-Magnon**, por causa da região em que foram descobertos, na França. Fabricavam ferramentas muito sofisticadas e bastante variadas, nem todas de pedra: utilizavam também ossos e marfim para confeccionar pontas de projéteis e de lanças, arpões, anzóis e agulhas.

O homem de Cro-Magnon é, inclusive, responsável por uma série de trabalhos artísticos, como esculturas em marfim e pinturas nas paredes das cavernas, que

retratam com maior frequência temas como caça e fertilidade. As cores das obras eram obtidas com pigmentos minerais misturados à gordura animal.

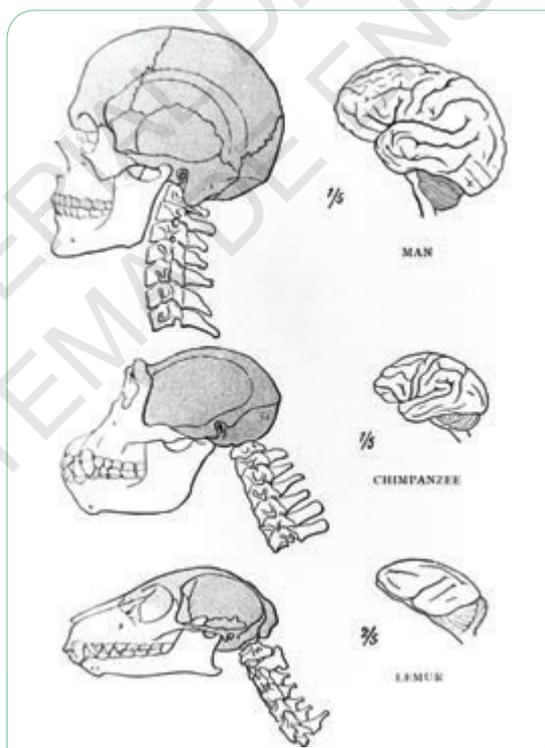
Análises fósseis sugerem que os seres humanos deixaram a África e se espalharam em levas, primeiramente para a Ásia e depois para a Europa e a Austrália. A chegada dos hominídeos ao Novo Mundo é ainda bem incerta; as teorias mais aceitas datam a chegada em 15 mil anos.

O humano moderno

O humano moderno, pertencente à subespécie *Homo sapiens sapiens*, apresenta diversas características que o diferenciam de seus ancestrais. A principal é a presença de um cérebro bem desenvolvido, com 1 350 cm³, e um sistema nervoso extremamente complexo, o que possibilitou o aprimoramento da capacidade de raciocínio, inteligência e linguagem simbólica, inerentes ao pensamento humano.

Diversas são as características que nos distinguem dos demais macacos. Caminhamos sobre duas pernas (bípedes), apresentamos cérebro muito maior, conseguimos utilizar diversas formas de linguagem, expressamos artisticamente os sentimentos, produzimos manufaturas, usamos ferramentas complexas, temos ossos mandibulares menores, trato digestório mais curto, capacidade de raciocínio lógico mais apurado e noção das consequências das ações, entre tantas outras ações que nos fazem ter tanto sucesso evolutivo.

A evolução rápida dos seres humanos pode ser, inclusive, relacionada com esses avanços cognitivos ao longo da evolução. É importante lembrarmos que essas habilidades não surgiram do nada em nossa espécie; nossos ancestrais, aos poucos, foram desenvolvendo e aprimorando habilidades incríveis, com cada vez mais complexidade cognitiva. Por exemplo, marcações geométricas com alto grau de precisão em superfície de ocre foram achadas em 2002 e datam de 77 mil anos; há 30 mil anos os hominídeos já produziam pinturas incríveis nas cavernas etc. Outra característica importante aprimorada pelo *H. sapiens sapiens* foi a vida em sociedade, e o que atualmente chamamos de cultura, englobando seus sistemas de comunicação, tradições, hábitos alimentares e de vida.



SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

Evolução do volume craniano e do tamanho do cérebro dos lêmures até os seres humanos modernos.

ROTEIRO DE AULA

EVOLUÇÃO DE POPULAÇÕES

Genéticas de populações

Equilíbrio de Hardy-Weinberg

Condições

muitos indivíduos

panmixia

evolução ausente

Equilíbrio gênico

fórmula geral

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Evolução de grandes grupos

Características:

marinho

unicelular

procarioto

heterótrofo

origem

primeiro ser vivo

coacervados

ancestral comum

Eras geológicas

evolução

Azoica

espécies atuais

Proterozica

psilófitas

Paleozoica

pteridófitas

anfíbios

répteis

Mesozoica

dinossauros

angiospermas

Cenozoica

homem pré-histórico

plantas atuais

ROTEIRO DE AULA

EVOLUÇÃO HUMANA

Mamíferos

200 milhões de anos

Primatas

66 milhões de anos

pró-símios

lêmures

társios

macacos do Novo Mundo

macacos do Velho Mundo

gibões

hominídeos

*A. anamensis**A. afarensis**A. africanus**A. robustus**A. boisei**Australopithecus**Homo**H. habilis**H. erectus**H. ergaster**H. neanderthalensis**H. sapiens*

Homem de Cro-Magnon

H. sapiens sapiens

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. EBMSP-BA – A captação de doadores de sangue é uma atividade voltada ao desenvolvimento de programas que objetivem conscientizar a população quanto à importância da doação voluntária. O trabalho deve voltar-se não apenas para assegurar a quantidade necessária de doadores, mas também para aprimorar o perfil das doações, garantindo a elevação do padrão de qualidade do sangue coletado e transfundido.

Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: set. 2017.

Sabe-se que a distribuição da frequência dos tipos sanguíneos em uma população não é homogênea, variando conforme a etnia e/ou localização geográfica.

Considere uma determinada população de 120 000 indivíduos, em equilíbrio gênico, em que, no sistema ABO, a frequência do gene I^B , responsável pela expressão do tipo sanguíneo B, é de 0,23, e a frequência do gene I^A , que determina o tipo sanguíneo A, é de 0,32.

Com base nesses dados e nos conhecimentos sobre genética de população, determine o número estimado de indivíduo que apresentam, ao mesmo tempo, no plasma, os dois tipos de aglutininas para esse sistema sanguíneo.

Os indivíduos que apresentam os dois tipos de aglutinina no plasma

são do grupo O (genótipo ii). Assim, $I^A + I^B + i = 1 \rightarrow 0,32 + 0,23 + i = 1$.

Logo, $i = 0,45$. Tipo O = $i^2 \rightarrow (0,45)^2 = 0,20 \cdot 120\ 000 = 24\ 000$.

O número estimado é de 24 000 indivíduos portadores do sangue tipo O.

2. UFRGS-RS – Assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações abaixo, referentes aos mecanismos de mudança evolutiva.

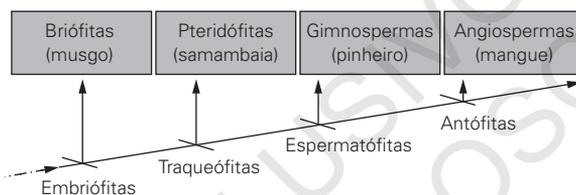
- () O equilíbrio de Hardy-Weinberg descreve uma situação modelo na qual as frequências alélicas mudam ao longo das gerações.
- () As mutações são fonte de variabilidade, pois ocorrem em taxas elevadas para a maioria dos loci estudados.
- () O movimento de gametas entre populações, referido como fluxo gênico, pode alterar as frequências alélicas de uma população.
- () Quando uma população passa por um evento de gargalo populacional, a variação genética pode ser reduzida por deriva genética.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é:

- a) V – V – F – V
- b) V – F – V – F
- c) F – V – V – F
- d) F – F – V – V**
- e) V – F – F – V

O equilíbrio de Hardy-Weinberg descreve uma situação-modelo na qual estão ausentes os fatores evolutivos. Portanto, esses fatores não modificam as frequências alélicas ao longo das gerações. As mutações gênicas são alterações raras e espontâneas no número e/ou na ordem dos nucleotídeos da porção codificante do DNA.

3. UEMA – O Reino Plantae é representado por mais de 300 000 espécies, cuja história evolutiva foi marcada pela grande capacidade adaptativa na conquista gradual e extensa do ambiente terrestre, durante a qual as plantas desenvolveram estruturas e mecanismos especiais capazes de superar problemas como a perda de água para o ar e a garantia da fecundação. A árvore abaixo representa o surgimento de algumas dessas características, mostrando que a longa história evolutiva das plantas envolveu vários passos.



Após analisar a árvore, explique cada passo evolutivo característico das embriófitas, traqueófitas, espermatófitas e antófitas.

O processo evolutivo demonstra uma sequência de características adaptativas, sendo que as plantas embriófitas apresentam embriões, e as traqueófitas, vasos condutores de seiva. As espermatófitas formam sementes, com ou sem frutos, e as antófitas produzem flores.

4. PUC-RJ

C4-H16

O movimento de pessoas na Terra tem aumentado constantemente. Isso tem alterado o curso da evolução humana, pois possibilita o aumento de

- a) acasalamento não aleatório.
- b) isolamento geográfico.
- c) deriva genética.
- d) mutações.
- e) fluxo de genes**

O fluxo gênico é a transferência de alelos de uma população para outra. A movimentação de pessoas por diferentes continentes possibilita o acasalamento entre indivíduos de diferentes populações que por muito tempo estiveram praticamente isoladas, aumentando o fluxo gênico e a frequência dos indivíduos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

5. Sistema Dom Bosco – Uma mutação é uma alteração em um gene que pode ocorrer de maneira espontânea ou pode ser induzida por fatores externos, como agentes químicos e radiações, os chamados agentes mutagênicos. As mutações nem sempre são benéficas, podem ser neutras e também prejudiciais, causando doenças genéticas como a doença de Huntington, doença neurodegenerativa que se manifesta a partir dos 35 anos e conduz a uma perda progressiva nas capacidades neurológicas.

Considerando o exposto, explique como a mutação contribui beneficemente para a evolução humana.

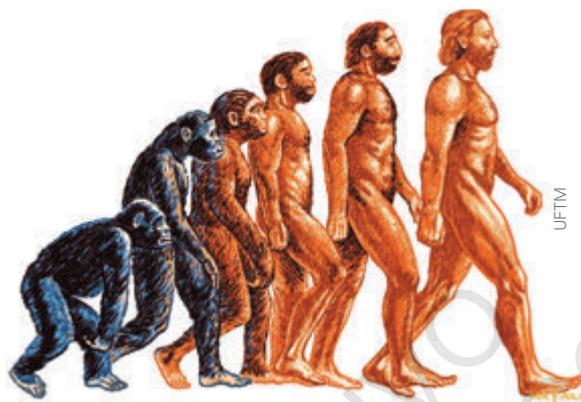
O conjunto de mutações gênicas possibilita o surgimento de novos

genes favoráveis a uma melhor adaptação dos ancestrais humanos

quanto ao desenvolvimento de características como: bipedismo, fala,

raciocínio, capacidade de fabricação de instrumentos, entre outras.

6. UFTM-MG (adaptado) – O desenho ilustra, em suas extremidades, o chimpanzé e o ser humano, ambos mamíferos primatas. Ele busca representar a evolução humana a partir da mudança de características morfológicas ao longo do tempo. Porém, tal representação é considerada incorreta, considerando as atuais premissas sobre evolução biológica e seus mecanismos.



a) Explique por que o desenho é considerado incorreto do ponto de vista evolutivo.

Do ponto de vista evolutivo, a imagem sugere que ser humano foi originado

diretamente dos macacos, o que é falso. Sabe-se que tanto os seres hu-

manos quanto os demais primatas vivos, apresentam um ancestral comum.

b) Cite duas características morfológicas compartilhadas por chimpanzés e seres humanos.

Seres humanos e chimpanzés apresentam sistema nervoso dorsal e cefal-

ização, circulação dupla e completamente separada, visão estereoscópica,

entre outras características.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – Em uma população caracterizada pelo equilíbrio gênico de Hardy-Weinberg, com todos os pressupostos que o tornam válido, a frequência de homocigotos recessivos para um par de alelos autossômicos é 0,49. Com base nessa informação, estima-se que, nessa mesma população, a frequência de heterocigotos seja

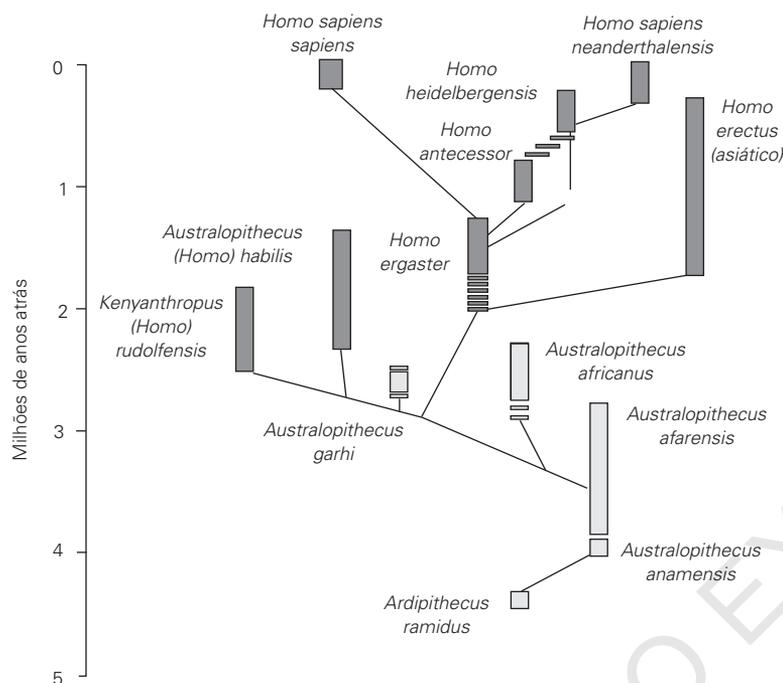
- a) 0,03.
- b) 0,07.
- c) 0,21.
- d) 0,42.
- e) 0,51.

8. PUC-RJ (adaptado) – O daltonismo em humanos é uma característica recessiva ligada ao X. Aproximadamente 10% dos homens em determinada população são daltônicos.

a) Assumindo-se que a população está em equilíbrio, qual a frequência do alelo de daltonismo nessa população?

b) Qual a proporção esperada de mulheres heterocigotas portadoras do alelo de daltonismo?

13. UFSC – A figura a seguir representa a idade geológica das principais espécies de homínídeos, com base na datação de fósseis.



Com base na figura e nos conhecimentos atuais sobre a evolução humana, é correto afirmar que

- 01) algumas espécies do gênero *Australopithecus* coexistiram com as primeiras espécies do gênero *Homo*.
- 02) o *Homo sapiens sapiens* não coexistiu com nenhuma outra espécie de homínídeos.
- 04) o *Homo erectus* foi a primeira espécie de homínídeos que adquiriu a postura bípede.
- 08) um evento aceito cientificamente sobre a evolução humana foi a dispersão do *Homo sapiens sapiens* a partir da África.
- 16) a espécie de homínídeos que existiu por maior período foi a *Australopithecus afarensis*.
- 32) o *Homo erectus* surgiu anteriormente ao *Australopithecus (Homo) habilis*.
- 64) a postura bípede possibilitou maior liberdade de locomoção e de exploração dos ambientes nas savanas africanas.

14. UFMG (adaptado) – A paleontologia vem contribuindo para o entendimento da evolução dos seres vivos, inclusive do homem. Mais recentemente, técnicas de biologia molecular têm permitido o estudo de processos evolutivos a partir da análise de DNA de fósseis e de populações modernas.

Em 2010, cientistas anunciaram o sequenciamento parcial do genoma do homem de Neandertal, espécie humanoide que coexistiu com o moderno *Homo sapiens* na Pré-história durante milhares de anos. A partir desse estudo, revelou-se que as atuais populações humanas, exceto as da África, têm de 1% a 4% de DNA herdado do neandertal. Explique o que sugerem esses dados.

15. UERJ (adaptado)

Árvore genealógica: a linhagem dos homens modernos

TEMPO	você está aqui			
Hoje	<i>Homo sapiens</i>	<i>Homo floresiensis</i>	<i>Homo neanderthalensis</i>	<i>Homo heidelbergensis</i>
1 milhão de anos atrás		<i>Homo erectus</i>	<i>Paranthropus robustus</i>	
2 milhões de anos atrás	<i>Homo naledi</i> <i>A. sediba</i>			
3 milhões de anos atrás	<i>Australopithecus africanus</i>	<i>Homo habilis</i>	<i>Homo rudolfensis</i> <i>P. boisei</i>	A altura das barras mostra o período de tempo em que cada espécie existiu
4 milhões de anos atrás	<i>A. afarensis</i> (Lucy)	<i>A. garhi</i>		
5 milhões de anos atrás	<i>A. anamensis</i>	<i>Ardipithecus ramidus</i>		
6 milhões de anos atrás		<i>Ardipithecus kadabba</i>		
7 milhões de anos atrás	<i>Orrorin tugenensis</i>	<i>Sahelanthropus tchadensis</i>		

Fonte: O Globo.

Na árvore genealógica, observam-se mudanças na linhagem que deu origem ao homem moderno. Todos os eventos evolutivos são caracterizados pelo seguinte aspecto

- alterações populacionais ao longo do tempo.
- aumento da eficácia dos processos metabólicos.
- manutenção da variabilidade do material genético.
- transformações estruturais durante a vida do indivíduo.

16. UERJ (adaptado) – Quando os primeiros humanos modernos (*Homo sapiens*) surgiram na África, há cerca de 200 mil anos, é provável que outras espécies de humanos ainda habitassem o continente. Até agora, porém, os registros fósseis não traziam evidências da convivência da nossa espécie com outras mais arcaicas na região. Mas análises dos restos de uma dessas espécies humanas antigas, encontrada na África do Sul, indicam pela primeira vez que isso teria acontecido de fato. Conhecida como *Homo naledi*, seus integrantes teriam vivido entre 236 mil e 335 mil anos atrás, na mesma época em que se acredita que o *Homo sapiens* evoluiu na África subsaariana. Segundo o pesquisador Lee Berger, “não podemos mais presumir que sabemos que espécies fizeram quais ferramentas, ou se foram os humanos modernos os inovadores responsáveis por avanços na tecnologia”.

O Globo, 10 maio 2017. (Adaptado).

Com base nos conhecimentos científicos atuais sobre a evolução humana, identifique-se no texto o princípio de

- diversidade biológica.
- semelhança fisiológica.
- paralelismo etnográfico.
- condicionamento geográfico.

17. Sistema Dom Bosco – Leia o texto.

Vivemos organizados em sociedade. Essa forma de existência pode parecer óbvia, mas jamais para um filósofo. [...] A explicação de Aristóteles aponta o fato de haver na natureza humana uma tendência a viver em sociedade e que ao realizar essa inclinação o homem realiza seu próprio bem. Quer dizer, se vivemos em sociedade é porque essa é a finalidade do ser humano. Isso é tão próprio do homem quanto é próprio da semente de pessegueiro tornar-se uma árvore e produzir pêssegos.

Disponível em: <<https://www.tribunapr.com.br/noticias/aristoteles-por-que-vivemos-coletivamente/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Aristóteles foi um pensador da Antiguidade grega que justificava a socialização humana pela teleologia, ou seja, acreditava que a socialização seria uma característica inerente e funcional da condição humana. Aristóteles acreditava também que os seres vivos teriam sido criados com uma essência perfeita por um Deus perfeito e, portanto, seriam imutáveis.

Com as teorias evolutivas atuais, explique por que na Pré-história viver em grupos aumentava as chances de sobrevivência dos hominídeos e cite algum tipo de registro que comprove essa vida em grupos cooperativos.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Sistema Dom Bosco

C4-H16

Leia o trecho abaixo.

Diversas características presentes nos ovos de répteis permitiram que eles não dependessem de água para se reproduzir. O ovo desses animais possui uma casca grossa que impede o dessecação do embrião. No entanto, a casca é porosa, permitindo a troca entre o embrião e o meio externo. Existe também, internamente, membranas e bolsas, chamadas de anexos embrionários, que participam de funções como proteção, a nutrição, as trocas gasosas e a excreção dos embriões.

Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/ciencias/repteis-primeiros-vertebrados-a-conquistar-o-ambiente-terrestre.htm>>. Acesso em: abr. 2019.

O surgimento de ovos com cascas calcárias nos répteis foi essencial para a conquista do ambiente terrestre pelos répteis. Esse tipo de ovo, chamado de amniota, é presente em vários outros animais, como as galinhas e os ornitorrincos. Todo mundo já ouviu o questionamento: “quem nasceu primeiro, o ovo ou a galinha?” Do ponto de vista evolutivo, com base nos seus conhecimentos e no texto acima, assinale a alternativa correta.

- a) Os ovos amniotas surgiram antes das galinhas, com a conquista do ambiente terrestre pelos répteis.
- b) Os ovos amniotas surgiram com os dinossauros, antes das galinhas.
- c) As galinhas surgiram antes dos répteis, portanto antes dos ovos amniotas.
- d) As aves e os répteis surgiram no mesmo período geológico, portanto o ovo amniota e a galinha surgiram ao mesmo tempo.
- e) Os ovos amniotas surgiram antes das galinhas, com os primeiros seres vivos.

19. Sistema Dom Bosco

C4-H16

Em 2014, o jogador de futebol negro e brasileiro Daniel Alves foi acertado por uma banana atirada em campo, durante partida do time Barcelona. Esse foi só mais um entre tantos outros atos racistas no ambiente futebolístico. O inusitado desse acontecimento foi a reação do jogador, que comeu a banana lançada durante o ato racista. Acompanhando a atitude do jogador, no mesmo dia, uma agência de publicidade lançou a campanha “somos todos macacos”, que, mesmo sob duras críticas, viralizou na internet.

Do ponto de vista biológico, podemos dizer que

- a) a espécie humana descende diretamente dos macacos.
- b) os macacos e os humanos são integrantes da mesma espécie.
- c) os macacos e os seres humanos são primatas que apresentam um mesmo ancestral comum.
- d) os macacos são os ancestrais mais recentes dos seres humanos.
- e) somente os macacos fazem parte do grupo dos primatas.

20. Sistema Dom Bosco

C5-H17



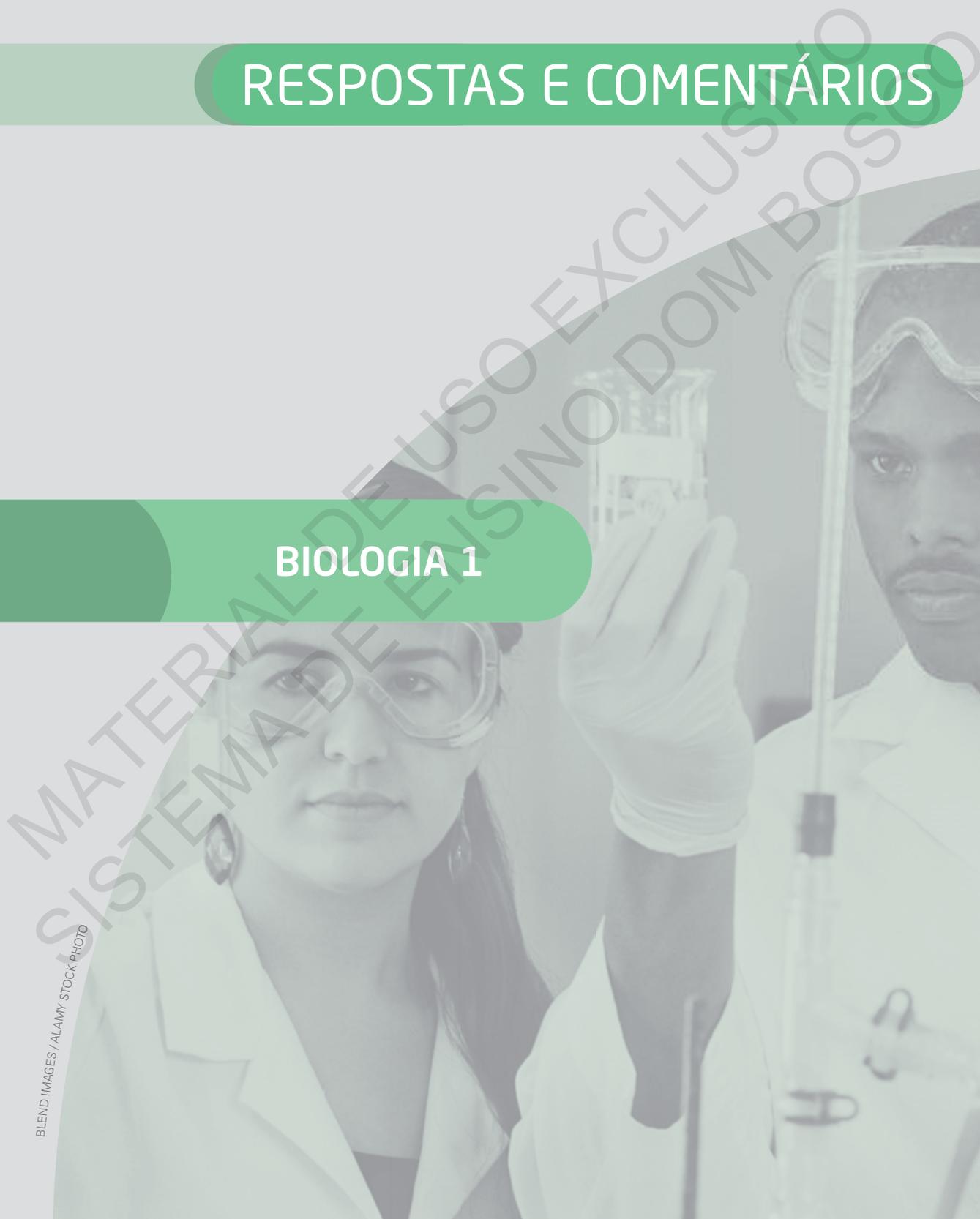
FERNANDO GONSALES

Na tirinha o cartunista Fernando Gonsales compara a inteligência do chimpanzé com a de um ser humano. A evolução das características cognitivas da espécie humana torna nossa espécie mais complexa intelectualmente do que os chimpanzés e os demais primatas. Essas características envolvem

- a) redução no volume cerebral, refinamento das habilidades motoras finas e perda da capacidade cognitiva.
- b) aumento no volume cerebral, refinamento das habilidades motoras finas e diminuição das funções cognitivas.
- c) manutenção do volume cerebral e das habilidades motoras finas com refinamento das funções neurológicas.
- d) manutenção do volume cerebral e das funções cognitivas com o aprimoramento das habilidades motoras finas.
- e) aumento no volume cerebral, refinamento das habilidades motoras, aumento da capacidade cognitiva e das funções neurológicas.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 1



APRESENTAÇÃO

BIOLOGIA

Em uma sociedade constantemente conectada e com acesso a informações sobre temas relacionados à ciência e tecnologia, o ensino de Biologia contemporâneo encontra o desafio de desenvolver a habilidade de interpretação dessas informações e aplicar o pensamento científico na resolução dos problemas.

A formação com base científica reconhece os fenômenos naturais do cotidiano descritos e apresentados nos meios de comunicação, bem como os temas referentes ao aquecimento global, biodiversidade, poluição, clonagem, biotecnologia, alimentos geneticamente modificados, epidemias resultantes da impotência da área de saúde frente à velocidade da globalização e, em contrapartida, os avanços da medicina.

A proposta do material de Biologia para o ensino pré-vestibular é gerar reflexão sobre as interações entre o saber sistematizado e os fatos do cotidiano, o que exige estímulo à leitura crítica das interferências científicas e tecnológicas na sociedade, sempre ressaltando a busca por melhor qualidade de vida, com base na relação entre saber adquirido, valores e atitudes. A obra respeita a legislação vigente. A disposição das habilidades no início de cada unidade facilita a análise dos objetivos do conteúdo, propiciando ampla visão da abrangência dessa área científica ao aluno.

O material contém informações e análises sobre diversos temas relacionados às exigências do Enem e dos principais vestibulares do país. O emprego de linguagem clara e precisa favorece a compreensão e a aproximação do tema. A estrutura e o projeto gráfico adequados aos objetivos pedagógicos contribuem para deixar a leitura mais agradável. A articulação entre os aspectos reais e culturais se faz presente em vários sentidos. Tudo converge para facilitar o ensino e a aprendizagem.

Os tópicos em sequência adequada, respeitando pré-requisitos para compreensão dos temas em estudo, iniciam com características particulares e aumentam gradativamente o enfoque, em benefício do aprendiz, enriquecido com análise de descobertas recentes, que desencadeiam o pensamento crítico direcionado ao desenvolvimento de autonomia. A adequação das atividades às competências e habilidades norteia os objetivos e o trabalho do docente em cada atividade. O embasamento teórico-prático faz frente a qualquer vestibular e ao Enem.

No final de cada segmento, as seções *Comentário sobre o módulo* e *Para ir além* indicam sugestões ao docente que deseje ir além com seus alunos.

CONTEÚDO

BIOLOGIA 1

Volume	Módulo	Conteúdo
2	17	Casos especiais de mono-hibridismo: dominância incompleta, codominância e alelos múltiplos
	18	Heranças dos grupos sanguíneos: sistema ABO, sistema RH e sistema MN
	19	Segunda lei de Mendel e determinação genética do sexo
	20	Herança relacionada ao sexo, pleiotropia e alelos letais
	21	Interações gênicas, ligação gênica e permutação
	22	Gametas parentais, recombinantes, mapas cromossômicos e biotecnologia
	23	Biotecnologia, bioética e fundamentos da ecologia
	24	Fluxo de matéria, energia e ciclos biogeoquímicos da água e do carbono
	25	Ciclos biogeoquímicos do oxigênio, cálcio, fósforo e do nitrogênio
	26	Biomassas terrestres e relações ecológicas harmônicas
	27	Relações ecológicas desarmônicas e ecologia de populações
	28	Controle populacional, sucessão ecológica e desequilíbrios ambientais

BIOLOGIA 2

Volume	Módulo	Conteúdo
2	9	Poríferos, cnidários, platelmintos e nematódeos
	10	Anelídeos e moluscos
	11	Artrópodes e equinodermos
	12	Cordados e peixes
	13	Anfíbios e répteis
	14	Aves e mamíferos

BIOLOGIA 3

Volume	Módulo	Conteúdo
2	9	Sistema respiratório e sistema circulatório comparado
	10	Sistema circulatório humano e sistema urinário
	11	Excreção, homeostase e sistema imunitário humano
	12	Recomposição histórica e evidências da evolução
	13	Lamarckismo, darwinismo e teoria sintética da evolução
	14	Evolução de populações e evolução humana

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

17 CASOS ESPECIAIS DE MONO-HIBRIDISMO: DOMINÂNCIA INCOMPLETA, CODOMINÂNCIA E ALELOS MÚLTIPLO

Comentário sobre o módulo

Na herança de dominância incompleta (tipo de herança mono-híbrida), os genótipos heterozigotos têm fenótipo intermediário em relação aos alelos homozigotos, em razão da ausência de dominância entre os alelos. Dentro desse conceito, discutimos a probabilidade esperada dos fenótipos e genótipos que sejam característicos desse tipo de herança, bem como a relação da funcionalidade das proteínas produzidas por eles. O exemplo clássico da coloração das pétalas da flor maravilha (*Mirabilis* sp.) é apresentado para introduzir o conceito para o aluno. Para não tornar o assunto enfadonho, é importante demonstrar novos exemplos descobertos pela ciência.

Neste módulo, abordamos, também, o conceito de codominância, com ênfase nas semelhanças e diferenças em relação à dominância incompleta. Foram apresentados também os sistemas tradicionalmente cobrados em exames de vestibular: sistema ABO, sistema MN, coloração de gados shorthorn e anemia falciforme.

Discutimos ainda a doença de Von Willebrand, pouco conhecida entre leigos. Os alelos múltiplos com padrão de herança polialélico foram estudados com ênfase nos principais casos conhecidos: sistema ABO, coloração da pelagem de coelhos e formato de trevos. Assim, o aluno é capaz de compreender como de nir a quantidade genotípica esperada com base em determinada quantidade de alelos presentes em uma população, além de identificar quando um caso específico se refere à polialelia.

Para ir além

O artigo “Dominante ou recessivo?”, da revista *Genética na Escola*, traz uma reflexão cautelosa a respeito dos conceitos ligados ao tema, incluindo o tema ausência de dominância. Disponível em:

<http://www.ciencias.seed.pr.gov.br/arquivos/File/sugestao_leitura/Genetica_na_Escola_72.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

O artigo “A seleção natural em ação: o caso das joaninhas” trata de dominância, recessividade, ausência de dominância e seleção natural. Disponível em:

<http://genoma.ib.usp.br/sites/default/files/atividades_interativas/genetica-na-escola-42-artigo-09.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

A reportagem da Unifesp “Sangues raros: um universo em uma hemácia” trata da descoberta de novos sistemas sanguíneos e antígenos. Disponível em:

<<http://www.unifesp.br/noticias-antiores/item/2284-sangues-raros-um-universo-em-uma-hemacia>>.

Acesso em: mar. 2019.

Este artigo trata da percepção do conceito de polialelia entre alunos do 3º ano do Ensino Médio, a partir da teoria de Galperin. Disponível em:

<<http://sbenbio.journals.com.br/index.php/sbenbio/article/view/147/27>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. B

A afirmativa II está incorreta, porque a proporção das flores maravilhas será 1 vermelha, 2 rosas e 1 branca. A afirmativa III está incorreta, pois as galinhas andaluzas são exemplos de dominância incompleta.

8. E

As flores cor-de-rosa têm genótipo $F^V F^B$. Portanto, cruzando $F^V F^B \times F^V F^B$, teremos 1/4 $F^V F^V$, 1/2 $F^V F^B$ e 1/4 $F^B F^B$.

9. A

A afirmativa III se refere a um exemplo de dominância completa.

10. C

Pelo fato de F_1 ser 100% oval quando rabanetes com raízes redondas e longas são cruzados, sabemos que se trata de um organismo heterozigoto. Ao cruzarmos dois heterozigotos, teremos 1/4 de raízes redondas, 1/2 ovais e 1/4 longas. Isso porque sabemos que o exemplo se refere a um caso de dominância incompleta.

11. B

Como os pais apresentam membros curtos, seus genótipos são Cc. Ao realizarmos o cruzamento, temos: $Cc \times Cc = 1/4 CC$; $1/2 Cc$; $1/4 cc$. Entretanto, das quatro possibilidades, uma é letal, logo apenas três possibilidades são viáveis. Entre estas, duas apresentam o fenótipo Cc.

12. As galinhas *frizzle* têm genes com herança do tipo dominância incompleta, pois, do cruzamento entre duas galinhas *frizzle* ($Ff \times Ff$), são produzidos 50% com o mesmo fenótipo, 25% com penas normais e 25% com penas que cairão (proporção 1:2:1). Além disso, é possível perceber que o fenótipo plumagem frizada é intermediário em relação aos demais e sempre será encontrado em 50% da prole, o que evidencia o tipo de herança citado inicialmente. Com base nesses argumentos, para conseguir produzir em massa galinhas frizadas é preciso cruzá-las

entre si, uma vez que 50% da prole apresentará o mesmo fenótipo; cruzar as galinhas peladas com as de plumagem comum, porque 100% da prole será *frizzle*.

13. D

Os alelos A e S são codominantes, porque ambos expressam os respectivos fenótipos em indivíduos heterozigotos, o que torna incorretas as alternativas A, B e C. Além disso, como a mãe tem o traço falciforme (genótipo AS) e o pai é normal (genótipo AA), 50% dos filhos serão AA e 50% serão AS, sem apresentarem a anemia em sua forma severa (genótipo SS). A alternativa E está incorreta, porque há apenas dois alelos: A e S.

14. E

Sabendo-se que o alelo C é dominante sobre o alelo P e que este é dominante sobre o B, temos que, no cruzamento II, o macho tem genótipo BB, e a fêmea, genótipo CB. Isso origina 50% CB e 50% BB. No cruzamento V, o macho tem genótipo PP, e a fêmea, genótipo BB. Isso gera 100% dos filhotes com genótipo PB. Portanto, o cruzamento do enunciado será: CB x PB, o que dará origem a 25% CP, 25% CB, 25% PB e 25% BB. Fenotipicamente, o resultado será 50% cinza (CB e CP), 25% preto (PB) e 25% branco (BB).

15. A

Para encontrar o número possível de genótipos na população, basta utilizar a fórmula $n(n + 1) / 2$. Como existem 7 alelos: $7(7 + 1) / 2 = 7(8) / 2 = 56 / 2 = 28$.

16. De acordo com os cruzamentos do quadro, a hierarquia fenotípica é negra > rajada > amarela. Dessa forma, supondo que a cor negra é determinada pelo alelo N, a cor rajada, pelo alelo R, e a cor amarela, pelo alelo A, na geração F₁ do cruzamento 1, todos os indivíduos têm genótipo RA. Na geração F₁ do cruzamento 3, todos os indivíduos apresentam genótipo NR. Portanto, ao cruzar indivíduos dessas gerações, teremos: NR x RA. Desse cruzamento originam-se 25% NR, 25% NA, 25% RR e 25% RA. Com base nesses resultados, temos a seguinte proporção fenotípica: 50% negra e 50% rajada.

17. B

O quadro representa a relação de dominância em um caso de polialelia ou alelos múltiplos. Na linha 7, b^m domina b^p e expressa o fenótipo marrom. Na linha 3, b^p domina bⁿ e expressa o fenótipo pérola.

Na linha 4, bⁿ domina b^c e determina o fenótipo neve. Na linha 6, bⁿ domina b e expressa o fenótipo creme. Temos, assim, a seguinte relação de dominância: b^m > b^p > bⁿ > b^c > b.

Estudo para o Enem

18. C

Como a cabra tem orelha élfica (EE), e o bode, orelha de rato (MM), temos o cruzamento EE x MM. Como resultado, 100% da prole terá genótipo ME, responsável por orelhas de tamanho intermediário.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. C

A herança em questão se refere à dominância incompleta, pelo fato de a geração F₂ apresentar um fenótipo intermediário e ter proporção aproximada de 1:2:1.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. D

A anomalia em questão é um exemplo de codominância, em virtude de a doença atingir igualmente ambos os sexos e em razão de indivíduos heterozigotos apresentarem um fenótipo diferente quando comparados a indivíduos homozigotos.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

18 HERANÇAS DOS GRUPOS SANGUÍNEOS: SISTEMA ABO, SISTEMA RH E SISTEMA MN

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, discute-se a constituição sanguínea, incluindo a descoberta do sistema ABO, bem como sua importância clínica para as transfusões sanguíneas. As bases genéticas do sistema ABO – como os alelos, o tipo de herança – e sua importância forense também são abordadas. Apresenta-se também como é feita a tipagem sanguínea, procedimento crucial para reconhecimento dos tipos sanguíneos.

As características fenotípicas e genotípicas dos sistemas sanguíneos Rh e MN são o tema deste módulo, bem como sua importância na compreensão da eritroblastose fetal e na identificação de pessoas por meio desses tipos sanguíneos. Utilizando o histórico familiar, estudos de aconselhamento genético ajudam casais a determinar as probabilidades de seus filhos terem doenças genéticas, como a eritroblastose fetal.

Para ir além

O texto “A nova luz do sistema ABO”, da Agência Fapesp, trata das novas variantes do sistema ABO em pessoas com leucemia. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/nova-luz-no-sistema-abo/8466/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Além dos sistemas estudados neste módulo, o texto da Academia de Ciência e Tecnologia descreve os sistemas sanguíneos Kell e Kidd. Disponível em:

<http://www.ciencianews.com.br/arquivos/ACET/IMAGENS/Artigos_cientificos/3-Os_sistemas_de_grupos_sanguineos.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Considerando que o paciente seja do tipo sanguíneo A, ele teria chance de receber sangue compatível apenas do indivíduo 1, por ser do tipo A também, e do indivíduo 5, por ser do tipo O, que é doador universal. Levando em conta que havia 5 indivíduos disponíveis e apenas 2 deles são compatíveis, a probabilidade de receber sangue compatível é $\frac{2}{5}$, isto é, 40%.

8. Janaína não é adotada, porque, embora os pais tenham tipo sanguíneo A, sabemos que ambos possuem genótipos heterozigotos pelo fato de ela e seu irmão Anderson apresentarem tipo sanguíneo O. Ao cruzarmos os genótipos dos pais, temos: $I^A i \times I^A i = 50\% I^A i$, 50% ii, o que explica corretamente o fato de Janaína e Anderson terem sangue tipo O, e Telma e Pedro terem sangue tipo A.

9. D

O pai deverá ser obrigatoriamente $I^A I^A$ ou $I^A i$ ou $I^A I^B$, para gerar uma filha com sangue tipo A, com uma mãe tipo O (genótipo $I^A i$). Entre as opções, a única possível de originar esse genótipo é o sangue tipo AB.

$I^A I^B \times ii = 50\% I^A i$, 50% $I^B i$.

10. D

A afirmativa II está incorreta, porque, se um dos pais é do grupo sanguíneo A e o outro é do grupo sanguíneo B, seus filhos poderão ser do tipo sanguíneo A, AB, B, ou O.

11. O grupo sanguíneo do tipo O não apresenta aglutinogênios em suas hemácias e, portanto, não é aglutinado por nenhuma das aglutininas existentes nos outros tipos sanguíneos. Entretanto, ele produz aglutininas anti-A e anti-B em baixas concentrações e, assim, elas são diluídas no sangue do receptor, de modo que não há risco de aglutinação das hemácias.

12. D

Ao analisarmos o heredograma, é possível verificar que o pai do João possui genótipo $I^B i$, pelo fato de João ter irmãos dos tipos B e O. A mãe de Maria possui genótipo $I^A I^B$, pelo fato de ter irmãos com tipo sanguíneo A e B. Portanto, para que o filho de João e Maria tenha genótipo $I^A I^B$, obrigatoriamente João precisa ter o genótipo $I^B i$. Ao cruzar os genótipos de seus pais, temos: $I^B i \times ii = 50\% I^B i$ e 50% ii. Maria obrigatoriamente precisa ter genótipo $I^A i$: ao cruzar o genótipo de seus pais temos: $I^A I^B \times ii = 50\% I^A i$ e 50% $I^B i$. Levando em conta que ambos apresentam os genótipos necessários, temos: $I^B i \times I^A i = 25\% I^A I^B$, 25% $I^B i$, 25% $I^A i$ e 25% ii. Portanto, para o filho do casal ter tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), basta multiplicar a probabilidade de João ter o genótipo $I^B i$ ($\frac{1}{2}$) pela probabilidade de Maria ter o genótipo $I^A i$ ($\frac{1}{2}$) e multiplicar pela probabilidade de o filho deles ser $I^A I^B$ ($\frac{1}{4}$) = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$.

13. Considerando que ambos os casais têm filhos com tipos sanguíneos diferentes e que um casal possui o mesmo tipo sanguíneo, e o outro, tipos sanguíneos diferentes, um casal apresenta tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), gerando filhos A, B e AB, e o outro casal provavelmente é formado por um indivíduo do tipo A e um indivíduo do tipo B, ambos heterozigotos (genótipos $I^A i$ e $I^B i$), gerando filhos com tipos sanguíneos A, AB, B e O. Com base nessas

informações, o filho adotivo pertence ao casal que tem o mesmo tipo sanguíneo (AB), o que justifica todos os filhos apresentarem fenótipos sanguíneos diferentes entre si.

14. B

A alternativa A está incorreta, porque a mãe poderá produzir anticorpos anti-RH durante o contato com o bebê no momento do parto. A alternativa C está incorreta, porque é a partir da segunda gestação que a criança será atingida pela doença. A alternativa D está incorreta, porque a injeção é dada até 72 horas após o parto, em uma única dose. A alternativa E está incorreta, porque não há necessidade de transfusão de sangue.

15. A mãe da moça apresenta genótipo $I^A i$, rr , e o pai apresenta genótipo $I^B i$, Rr . Portanto, a moça tem genótipo ii , Rr . Ao realizarmos o cruzamento, temos: $I^B i \times ii = 1/2 I^B i$ e $1/2 ii$; $Rr \times Rr = 1/4 RR$, $1/2 Rr$, $1/4 rr$. Assim, para que a moça gere uma criança doadora universal, isto é, O^- , basta multiplicar a probabilidade de ser tipo O (genótipo ii) pela probabilidade de ser Rh^- (genótipo rr): $1/2 \times 1/4 = 1/8$.

16. D

A afirmativa I está incorreta, porque podem nascer indivíduos com Rh positivo ou negativo, caso o indivíduo AB^+ seja heterozigoto.

17. O sangue tipo O produz anti-A e anti-B e não possui aglutinogênios na membrana das hemácias. Portanto, tanto o pai quanto a mãe da criança apresentam sangue tipo O (genótipo ii). Dessa maneira, a chance de o casal ter uma criança com tipo sanguíneo O é de 100%. O pai tem fenótipo Rh^- e, portanto, tem genótipo rr . A mãe tem genótipo Rr , uma vez que tem fenótipo Rh^+ e sua progenitora ter fenótipo Rh^- . Para calcular a probabilidade de esse casal ter uma menina com sangue tipo O^+ é preciso multiplicar as três probabilidades, ou seja, de ser menina (50%), de ter sangue O (100%) e de ser Rh^+ (50%): $1/2 \times 1 \times 1/2 = 1/4$.

Estudo para o Enem

18. A

Como a mãe apresenta tipo sanguíneo AB (genótipo $I^A I^B$), e o filho, tipo sanguíneo B, a única opção

que não permite o homem ser pai da criança é o genótipo $I^A I^A$, pois, ao cruzar $I^A I^A \times I^A I^B$, teremos 50% $I^A I^A$ e 50% $I^A I^B$, ou seja, não é possível gerar tipo sanguíneo B.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. B

O sangue tipo A aglutina apenas na presença do soro anti-A. Portanto, refere-se ao lote II, de 25 L.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. B

Como a mãe apresenta sangue tipo Rh^- e o bebê apresenta sangue tipo Rh^+ , a injeção é dada à mãe para que as células sanguíneas do bebê que passam para o corpo dela sejam destruídas, na tentativa de prevenir que o próximo filho sofra eritroblastose fetal. Se as células sanguíneas do primeiro filho não forem destruídas, ela passará a produzir anticorpos anti-Rh, de maneira que atacará o próximo feto caso ele tenha sangue Rh^+ .

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19 SEGUNDA LEI DE MENDEL E DETERMINAÇÃO GENÉTICA DO SEXO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, a segunda lei de Mendel foi discutida e relacionada com a meiose na produção de gametas com alelos independentes, uma vez que os genes se encontram em pares diferentes de cromossomos homólogos. De forma resumida, abordou-se, ainda, o conceito de ligação cromossômica ou *linkage*. Por fim, foram apresentadas algumas alternativas para se calcular o número possível de gametas com base em determinado genótipo di-híbrido, tri-híbrido ou poli-híbrido.

Discutimos as principais diferenças entre os sistemas XY, ZW e X0, enfatizando os sexos heterogaméticos, as possíveis formas de gametas originados de cada sexo e a ocorrência desses sistemas em diferentes organismos.

Apresentamos a importância de se reconhecer o corpúsculo de Barr e alguns exemplos de determinação de sexo não relacionada à Genética, como ocorre em quelônios, em virtude da alteração de temperatura do ambiente. Além disso, abordamos o balanço gênico e a probabilidade de ocorrência de determinado fenótipo sexual em espécies de moscas-das-frutas (*Drosophila melanogaster*).

Para ir além

O texto da revista *Pesquisa Fapesp* sobre a história da Genética no Brasil enfatiza os principais avanços no país a partir das descobertas mendelianas. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/09/23/raizes-da-genetica-no-brasil/>>.

Acesso em: mar. 2019.

O texto "O mistério dos animais que são metade macho, metade fêmea", da BBC News, aborda a presença de dois sexos em um mesmo indivíduo. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/09/150924_vert_earth_ginandromorfos_ml>.

Acesso em: mar. 2019.

A revista *Pesquisa Fapesp* publicou um artigo sobre a determinação do sexo em diversos organismos, incluindo o ornitorrinco, que, embora seja um mamífero, apresenta características do grupo das aves. Disponível em:

<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/03/058_cromossomos_265.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. E

Todos os indivíduos da geração F_1 têm genótipo AaVv, apresentando cor laranja. Cruzando indivíduos laranja, temos: 1 AAVV, 2 AAVv, 2 AaVV e 4 AaVv (9 laranjas); 1 AAav e 2 Aavv (3 amarelos); 1 aaVV e 2 aaVv (3 vermelhos) e 1 aavv (branco).

8. B

Ao realizarmos os cruzamentos entre os genótipos dos pais heterozigotos, temos: AaVv \times AaVv, o que resultará em 1 AAVV, 2 AAVv, 2 AaVV e 4 AaVv (9/16 amarelas e lisas). Se a cada 16 indivíduos 9 apresentam esse fenótipo, em um total de 3 200 plantas, realizando um cálculo de regra de três simples, temos: $3\ 200 (9/16) = 1\ 800$.

9. Como em ambas as situações ocorreu duplicação cromossômica e o indivíduo possui genótipo duplo heterozigoto, sua constituição genética será AAaaBBbb para os dois tipos celulares analisados.

10. E

A primeira afirmação está incorreta, porque há dominância de um alelo sobre o outro. A última afirmativa está incorreta, porque os pares de alelos dos genes estão localizados em cromossomos não homólogos, o que permite que as características segreguem independentemente e haja diversas combinações possíveis entre as características que serão expressas nos indivíduos.

11. B

A primeira lei de Mendel se refere à segregação de alelos, transmitindo características, e a segunda se refere à transmissão independente de cada alelo e, conseqüentemente, de cada característica. Portanto, a primeira lei está relacionada com a segregação dos cromossomos homólogos, que ocorre na anáfase I, e a segunda lei está relacionada à distribuição independente dos cromossomos na metáfase I.

12. A probabilidade é $3/512$. Como os pais são heterozigotos, isto é, apresentam o genótipo liQqFfCc, a probabilidade de a criança ser sensível ao PTC, sem queratose, com fenilcetonúria e canhota, separadamente, é, respectivamente, $3/4$, $1/4$, $1/4$ e $1/4$, e a probabilidade de nascer menina é $1/2$. Portanto, basta multiplicar os valores de todas as probabilidades: $1/2 \times 3/4 \times 1/4 \times 1/4 \times 1/4 = 3/512$.

13. A

O corpúsculo de Barr corresponde a um cromossomo X inativado aleatoriamente logo após a fecundação, o que explica as duas últimas afirmativas estarem incorretas.

14. A

A afirmativa III está incorreta, porque fêmeas apresentam cromossomos XX, e machos, X0, sendo este heteromórfico. A afirmativa IV está incorreta, pois machos apresentam cromossomos ZZ e fêmeas, ZW.

15. D

A alternativa A está incorreta, porque a quantidade de alelos homozigotos não influencia no fenótipo, uma vez que apenas um deles é expresso. A alternativa B está incorreta, pois o fato de o indivíduo ser originado por clonagem não promove deleção no cromossomo. A alternativa C está incorreta, porque a clonagem não influencia na forma pela qual o gene se expressa. A alternativa E está incorreta, pois a coloração da pelagem de gatos apresenta herança ligada ao X, ou seja, depende de um gene localizado no cromossomo X, e não de vários.

16. C

A cromatina sexual possibilita diferenciar células dos dois sexos, uma vez que as células femininas são de cromatina sexual positiva. Já as células masculinas são de cromatina sexual negativa.

17. D

A gônada do lado direito produz ovócitos, constituídos pelo cromossomo Z ou pelo W, uma vez que o sexo heterogamético é o feminino.

Estudo para o Enem

18. B

Como os parentais são heterozigotos, apresentam genótipo LlPp e têm fenótipo asa longa e corpo preto, ao realizar o cruzamento, temos: 1 LLPP, 2 LLPp, 2 Llpp e 4 LlPp (9/16 com asa longa e corpo preto). Fazendo uma regra de três simples, temos: 9, a cada 16, possuem o fenótipo dos pais. Portanto, em 288 serão 162.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. A

A descendência apresenta a proporção de 1:1:1:1, admitindo A (rosado) e a (amarelo) e M (grãos cheios) e m (grãos murchos). Além disso, essa proporção indica que os genes estão localizados em cromossomos diferentes. Trata-se, portanto, de um caso de segregação independente. A alternativa B está incorreta, porque não apresentam somente a característica dominante. A alternativa C está incorreta, porque essa proporção será obtida do cruzamento entre uma planta Aamm × aaMm ou entre uma planta duplo heterozigota (AaMm) e outra duplo recessiva (aamm). A alternativa D está incorreta, porque a proporção seria 9:3:3:1. A alternativa E está incorreta, porque foi realizado cruzamento natural, sem melhorias genéticas, segundo o enunciado.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. B

A cromatina sexual está presente na região periférica do núcleo de células femininas, de forma condensada e em formato de grânulo. Ela é denominada corpúsculo de Barr e se refere a um cromossomo X inativado em mulheres.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20 HERANÇA RELACIONADA AO SEXO, PLEIOTROPIA E ALELOS LETAIS

Comentário sobre o módulo

Para elucidar o conceito de heranças relacionadas ao sexo, neste módulo são estudados exemplos de heranças ligadas ao cromossomo X, como o daltonismo, a hemofilia e a distrofia muscular de Duchenne. Também são abordados os tipos de herança limitada ao sexo, como a hipertricosose auricular e a calvície.

As alterações genéticas abordadas neste módulo se referem à pleiotropia, na qual um único gene interfere em fenótipos diferentes. São citadas doenças relacionadas aos genes pleiotrópicos, como a relação entre a pelagem de ratos (*Mus musculus*) e o grau de agressividade, a fenilcetonúria e a síndrome de Marfan.

Os alelos letais podem causar morte do indivíduo, e seus efeitos são exemplificados por meio da acondroplasia, da raça de gatos Manx e da anemia falciforme.

Para ir além

Este estudo sobre a mosca-da-fruta (*Drosophila*) amplia o entendimento sobre a transmissão de caracteres ligados ao sexo. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-37014344>>.

Acesso em: mar. 2019.

Saiba como a terapia gênica é utilizada como tratamento de hemofilia. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2018/07/novas-estrategias-contr-hemofilia-incluem-terapia-genica-e-prevencao-mensal.shtml>>.

Acesso em: mar. 2019.

Confira a matéria da *Revista da Biologia* sobre alelos letais no controle do *Aedes aegypti*. Disponível em:

<http://www.ib.usp.br/revista/system/files/Oliveira%20-%20Mosquito%20transg%C3%AAnico%20do%20paper%20a%20realidade_0.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

Estudos feitos no Laboratório de Genética Molecular do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP) abordam as várias faces da síndrome de Marfan. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/as-varias-faces-da-sindrome-de-marfan/13119/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

A alternativa A está incorreta, porque não é citado o tipo de cromossomo (sexual ou autossômico). A alternativa B está incorreta, pois não necessariamente é um gene autossômico. A alternativa C

está incorreta, porque no heredograma A deveria haver ao menos um afetado.

8. C

O heredograma sugere que se trata de uma herança de um gene cuja expressão é influenciada pelo sexo, uma vez que o fenótipo se manifesta de forma diferenciada em homens e em mulheres.

9. Como são características que apresentam herança limitada ao sexo, ambos os sexos têm os alelos responsáveis por cada fenótipo. Entretanto, são expressos de forma diferente nos sexos masculino e feminino.

10. D

No primeiro heredograma, há ao menos um indivíduo da primeira geração afetado e que gera filhos afetados. No segundo heredograma, apenas um indivíduo da segunda geração é afetado. Ou seja, são características desses dois tipos de herança.

11. A

A afirmativa I está incorreta, porque se refere a uma doença recessiva ligada ao cromossomo X, pelo fato de nascer uma mulher afetada com um filho afetado. A afirmativa IV está incorreta, pois se trata apenas de uma doença. A afirmativa V está incorreta, porque a herança apresenta padrão mendeliano.

12. $1/8 \times 1/8 = 1/64$

Filho com DM e míope = X^dY ; mm; homem com DM e visão normal = X^dY ; Mm; mulher sem DM e míope = $X^D X^d$; Mm. Os possíveis cruzamentos para DM são: $X^dY \times X^D X^d = 1/4 X^d X^d$; $1/4 X^D X^d$; $1/4 X^D Y$; $1/4 X^d Y$. Portanto, a probabilidade de nascer um menino sem DM é de $1/4 (X^D Y)$. Os possíveis cruzamentos para miopia são: $Mm \times mm = 1/2 Mm$ e $1/2 mm$. Portanto, há $1/2$ de probabilidade de a criança nascer com visão normal (Mm). A probabilidade de nascer um menino com visão normal e sem DM será de $1/4 \times 1/2 = 1/8$. A chance de esse fenômeno ocorrer nas próximas duas gestações é de $1/8 \times 1/8 = 1/64$.

13. C

Ao cruzarmos indivíduos $Aa \times Aa$, sabendo que o genótipo AA é letal, temos como resultado $2/3 Aa$ e $1/3 aa$. Os respectivos fenótipos são branco e preto.

14. D

Como indivíduos que apresentam a doença são Dd e pessoas normais, dd, o genótipo letal é DD.

15. A

São alelos letais em homozigose em virtude da proporção encontrada (2:1). Além disso, é um alelo dominante, porque a proporção de indivíduos anômalos é mais frequente que a de indivíduos normais.

16. a) Sim, ambos apresentam o alelo A1, uma vez que são heterozigotos.

b) $AA1 \times AA1 = 1/4 AA; 1/2 AA1; 1/4 A1A1$. Portanto, a probabilidade de se gerar um indivíduo com a forma grave da doença, representada pelo genótipo A1S1, é de 25%.

17. E

Como os pais são acondroplásicos, apresentam genótipo Aa. Ao realizarmos o cruzamento, teremos 2 Aa e 1 aa. Não há, portanto, indivíduos AA, pois se trata de um genótipo letal. Logo, a proporção será de 2/3 e 1/3, ou 66% e 33%, respectivamente.

Estudo para o Enem

18. A

Como os pais são saudáveis, somente os filhos do sexo masculino podem ser afetados. Em famílias cujo pai é acometido pela doença e cuja mãe é portadora do gene, 50% da descendência é afetada, independentemente do sexo. A doença apresenta herança recessiva ligada ao X.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. D

Não é recessivo, porque existem afetados em todas as gerações. Não está ligado ao Y, pois existem mulheres afetadas. Não é codominante, porque não fala a respeito do fenótipo, apresentam-se ambos simultaneamente. Portanto, é dominante ligado ao sexo, porque uma característica específica dessa herança é que todas as filhas de pais afetados também apresentem a doença.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

A alternativa A está incorreta, porque se trata de uma doença congênita. A alternativa B está incorreta, pois essas características são produzidas por um único gene. A alternativa C está incorreta, porque se refere à lipodistrofia. A alternativa D está incorreta, pois se trata de uma doença pleiotrópica, em que um único gene determina diversas características.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATEMÁTICA E FÍSICA
SISTEMA DE ENSINO

21 INTERAÇÕES GÊNICAS, LIGAÇÃO GÊNICA E PERMUTAÇÃO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo são apresentadas as diferenças entre as interações recessivas e dominantes, segundo o conceito das interações gênicas epistáticas, com exemplos como a coloração das abóboras. Os genes complementares são explicados por meio de exemplos como a surdez humana congênita, a diversidade de cristas em galinhas e a coloração de cobras do milharal. No tema herança quantitativa explica-se a variação da pigmentação da pele e como calcular o número de fenótipos com base na quantidade de pares de alelos e no número de fenótipos extremos que determinada característica pode apresentar.

Neste módulo, veri ca-se que a ligação gênica ocasiona duas possibilidades de posições dos alelos em *linkage* (cis e trans). Outros assuntos abordados são a permutação gênica e o padrão de segregação de alelos na formação de gametas, tanto para genes ligados quanto para genes não ligados. Estuda-se também a importância da variabilidade genética para a evolução das espécies diante das alterações ambientais.

Para ir além

A reportagem da British Broadcasting Corporation (BBC) aborda a estatura dos seres humanos, comparando as variações em nível mundial e relacionando os possíveis fatores ligados a esses fenótipos. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/05/150522_vert_fut_mais_altos_ml>.
Acesso em: mar. 2019.

Nos estudos apresentados no artigo, a seleção natural está relacionada à epistasia, que colabora para a criação de conjuntos de características complexas interligadas. Disponível em:

<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2015/04/052-053_gen%C3%A9tica_230.pdf>.
Acesso em: mar. 2019.

Confira um estudo sobre estabelecer populações prioritárias para a conservação da variabilidade genética. Disponível em:

<http://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_da006769a9e34838974f42fe2c2f2886.pdf>.
Acesso em: mar. 2019.

Este artigo da agência Fapesp discute como a variabilidade genética em populações de *Plasmodium vivax* dificulta o controle da malária. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/variabilidade-genetica-do-parasita-dificulta-controle-da-malaria-indica-estudo/23454/>>.
Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

O gene W é epistático sobre B ou b, ou seja, ele inibe a manifestação dos pelos pretos e marrons. O indivíduo que tiver WW ou Ww consequentemente terá pelos brancos. O enunciado pede o resultado do cruzamento de indivíduos heterozigotos para os dois pares de genes.

8. A

AaBb × AaBb produzirá 9 A_B_ (vermelhas), 4 aa__ (brancas) e 3 A_bb (creme).

9. A

Indivíduos A_B_ apresentam coloração selvagem, indivíduos AAB_ apresentam coloração preta, indivíduos A_bb apresentam coloração laranja e indivíduos aabb são albinos.

10. E

Quanto maior o número de alelos dominantes, mais alta a planta será. Portanto, para um indivíduo apresentar a altura máxima deverá ter genótipos AABBCC. Para que uma planta apresente 28 cm, deverá, então, ter o genótipo AABbCc, já que cada alelo adiciona 2 cm.

11. E

Analisando o exercício, concluímos que A é epistático sobre B e sobre b, visto que onde há o alelo dominante A a cor sempre será branca. Portanto, o gene A é epistático (está inibindo B e b).

12. Cinco fenótipos.

O número de fenótipos é igual a $2n + 1$, em que n é o número de pares de alelos: $2(4) + 1 = 5$. Portanto, a característica poderá apresentar até cinco fenótipos diferentes, de acordo com seus alelos.

13. B

Como não ocorre *crossing over*, ao final da divisão as células podem apresentar somente as constituições parentais, acrescidas do cromossomo com os alelos C ou c. Portanto, terão os gametas apresentados na alternativa B.

14. D

A alternativa D está incorreta. O duplo heterozigoto apresenta constituição *trans*, isto é, Ab/aB produz, sem permutação, gametas Ab e aB.

15. A

Como a célula se encontra em divisão mitótica, as duas cromátides irmãs são geneticamente iguais, contendo os mesmos alelos. Por estarem

em *linkage*, os pares de alelos se encontram no mesmo cromossomo.

16. Como houve *crossing over* apenas na região 2, são produzidos gametas recombinantes ABc, abC, ABC, aBc, AbC e abc. Isso porque a região 2 pode compreender o gene B ou C. Como não ocorre permutação na região 1, os únicos gametas que não são produzidos são Abc e aBC. Além disso, por se tratar de um caso de permutação entre os genes presentes no mesmo cromossomo, não são produzidos gametas parentais (ABC e abc), apenas gametas recombinantes.

17. C

A fêmea produzirá apenas gametas ve, enquanto o macho vai gerar gametas VE ou ve. Portanto, ao realizar o cruzamento, 50% apresentarão o genótipo VEve. Os outros 50% terão genótipo veve. Assim, metade (2 400) será do tipo selvagem, e a outra metade (2 400) terá asas vestigiais e corpo escuro.

Estudo para o Enem

18. E

Como o alelo W inibe a produção de qualquer pigmento, trata-se de um exemplo de epistasia dominante.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. B

A anomalia citada no enunciado se refere a um tipo de interação gênica não epistática, pois há dois genes diferentes interagindo entre si, produzindo o fenótipo surdo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. C

Com base na permutação gênica, novas combinações de alelos aparecerão nos gametas, o que contribuirá no aumento da biodiversidade.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

MATERIAL DE USO
SISTEMA DE ENSINO

22 GAMETAS PARENTAIS, RECOMBINANTES, MAPAS CROMOSSÔMICOS E BIOTECNOLOGIA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram estudados os gametas parentais e recombinantes e também as diferenças na formação deles. O cálculo da taxa de recombinação entre genes e sua relação com genes ligados e não ligados, bem como a variação na posição dos genes dentro de um cromossomo também são analisados para melhor compreensão do aluno a respeito de mapas cromossômicos.

Neste módulo foram abordadas, também, algumas técnicas de biotecnologia, como o uso das enzimas de restrição e de ligação e suas relações com a clonagem gênica e produção de organismos transgênicos. Discute-se ainda a diferença entre organismos geneticamente modificados e organismos transgênicos, bem como os prós e contras do consumo de alimentos transgênicos.

Para ir além

Estudo sobre altas taxas de variabilidade genética no vírus HIV. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/estudo-indica-que-hiv-ganha-diversidade-genetica-em-sao-paulo/18089/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Breve história de como se deu o primeiro mapeamento cromossômico. Disponível em:

<<http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto11.pdf>>.

Acesso em: mar. 2019.

A linhagem da cana-de-açúcar mais resistente é produzida por uma empresa de Piracicaba, com o intuito de combater lagartas e fungos por meio da inserção de um gene de *Bacillus* sp. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/08/18/canaviais-mais-resistentes/>>.

Acesso em: mar. 2019.

O texto trata do projeto de lei de 2017 que desobriga fabricantes a informar na embalagem se o produto é transgênico. Disponível em:

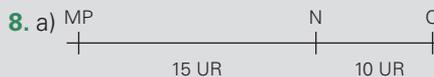
<<https://jornal.usp.br/atualidades/alimentos-transgenicos-voltam-a-gerar-polemica/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A alternativa A está incorreta, porque os genótipos em menores proporções são gametas recombinados. A alternativa B está incorreta, porque as proporções variam. A alternativa D está incorreta, porque estão em arranjo *cis*.



b) Não houve descendentes com permutação entre os genes M e P, porque provavelmente eles se encontram muito próximos.

9. E

Como estão em posição *trans*, isso quer dizer que o macho apresenta genótipo *De/dE* e que os gametas parentais (*De* e *dE*) são gerados em maior proporção. Os gametas recombinantes (*DE* e *de*) são gerados a partir de permutação (*crossing over*). Sendo 28 UR a distância entre os genes, serão gerados 28% de gametas recombinantes, ou seja, 14% de gametas *DE* e 14% de gametas *de*. Portanto, é esperado que sejam produzidos 14% de gametas *DE*.

10. B

Como a frequência de permutação é 20%, então 10% se referem ao genótipo em questão. Portanto, se a cada 100 indivíduos 10 apresentaram esse genótipo, em 200 indivíduos, o total é de 20 indivíduos.

11. D

A alternativa A está incorreta, porque as proporções não condizem com as esperadas pela segunda lei de Mendel. A alternativa B está incorreta, porque distam em 18%. A alternativa C está incorreta, porque o arranjo é do tipo *cis*. A alternativa E está incorreta, porque ocorrem em percentual menor que os parentais.

12. A

A afirmativa III está incorreta, porque os plasmídeos são amplamente utilizados em todas as áreas da biologia molecular relacionadas às técnicas de clonagem. A afirmativa V está incorreta, pois a biotecnologia favorece diversos setores além da área da saúde; também é recorrente seu uso na agricultura, na indústria alimentícia (como produção de fermentados) etc.

13. B

Através de engenharia genética é possível transferir determinado gene a partir de um vetor, podendo ser um plasmídeo ou bacteriófago, originando indivíduos geneticamente modificados.

14. D

O vetor tem como função transportar o gene de interesse e replicá-lo.

15. A

O DNA inserido no DNA do vetor sofrerá transcrição e tradução, produzindo a proteína de interesse.

16. E

Trata-se de transgenia, por ser um gene específico, transferido para um organismo diferente.

17. Uma vantagem na produção de organismos transgênicos é a redução de custos na produção de soja e milho. Caso sejam linhagens transgênicas, podem ser resistentes a pragas, o que automaticamente reduz o custo de produção. Uma desvantagem é a redução da diversidade genética na população pelo fato de serem selecionados apenas indivíduos com características vantajosas para a produção.

Estudo para o Enem

18. E

Basta iniciar o esquema da maior distância entre os genes até a menor distância. Como os genes C e H apresentam maior taxa de recombinação, então se encontram em pontas opostas. Os genes E e H apresentam 40% de taxa de recombinação, então provavelmente o gene E se encontra no meio do cromossomo. O gene F está a 20 UR do gene C, assim como o gene E do gene G. Por fim, basta olhar as menores porcentagens e adicioná-las ao esquema.



Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

19. A

A partir da técnica de clonagem gênica foi possível produzir insulina sintética no laboratório, promovendo um grande avanço no tratamento de diabetes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

20. C

Como há ativação da expressão demasiada do músculo do atleta, é impossível ter controle sobre qual característica está sendo estimulada.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

23 BIOTECNOLOGIA, BIOÉTICA E FUNDAMENTOS DA ECOLOGIA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram apresentadas as técnicas de clonagem reprodutiva e terapêutica (como a terapia gênica) e a técnica de CRISPR na seção *Leitura complementar*, com ênfase ao modo de realização dos procedimentos. Também foram abordadas as vantagens e desvantagens desses métodos, assim como as relações com a Bioética.

Foram estudadas as principais técnicas utilizadas na identificação de pessoas (DNA *fingerprint*): marcadores moleculares (microssatélites, DNA mitocondrial e cromossomo Y), PCR e eletroforese.

Se achar adequado, proponha um debate sobre os temas estudados pela Bioética e considerados polêmicos, respeitando-se os princípios dessa área da Biologia.

Além disso, os níveis de organização ecológicos foram trabalhados em paralelo a conceitos como hábitat, biótopo, ecótono, nicho ecológico e biodiversidade.

Este último está relacionado à riqueza de espécies, à abundância e à distribuição delas na biosfera, bem como aos fatores abióticos e bióticos.

Para ir além

Neste material da Universidade Federal de São Paulo, é possível aprofundar-se sobre os conhecimentos de Bioética. Disponível em:

<https://www.unasus.unifesp.br/biblioteca_virtual/esf/2/unidades_conteudos/unidade18/unidade18.pdf>.

Acesso em: mar. 2019.

O texto indicado trata dos testes feitos por pesquisadores da Unifesp para combater a mucopolissacaridose, doença que causa prejuízos cognitivos e lesões em diversos órgãos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/grupo-da-unifesp-testa-terapia-genica-contra-mucopolissacaridose-/22114/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Por meio do texto a seguir, é possível conhecer um novo método de identificação de paternidade com base no sequenciamento genético desenvolvido pelo Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. A técnica ajuda a solucionar casos de tráfico de aves no país. Disponível em:

<<https://ufmg.br/comunicacao/noticias/teste-de-dna-desenvolvido-no-icb-combate-traffic-de-aves>>.

Acesso em: mar. 2019.

O vídeo “As cores do Cerrado e jardins urbanos” aborda a restauração do bioma por meio de jardins. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=05Oh8LFldwc&feature=youtu.be>>.

Acesso em: fev. 2019.

O texto a seguir aborda o uso de modelagem de nicho ecológico como técnica para conservação das espécies. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/prioridade-paraconservacao-com-olho-no-passado/27579/>>.

Acesso em: fev. 2019

Exercícios propostos

7. A

O DNA mitocondrial é proveniente do ovócito anucleado, enquanto o DNA nuclear é oriundo da célula somática. Portanto, como o ovócito foi isolado de Fluffy, Dolly apresenta o mesmo DNA mitocondrial que aquela.

8. Uma técnica capaz de solucionar a doença seria a terapia gênica, que consiste em substituir o alelo causador da patologia por um alelo normal. O processo pode ser realizado de duas maneiras: 1. *in vivo* (em que os alelos normais são clonados com uso de um vetor, que é inserido diretamente por injeção no indivíduo doente. Assim, os alelos se incorporam às células dele e produzem a proteína corretamente); 2. *ex vivo* (em que as células do indivíduo são retiradas, modificadas e reintroduzidas).

9. a) A identificação de corpos por meio da análise de DNA é possível porque este contém regiões polimórficas em que há repetições únicas para cada pessoa. Enzimas de restrição (endonucleases) fragmentam o filamento de DNA, o que produz pequenas porções de tamanhos variáveis. Estas, após a análise por eletroforese, podem ser utilizadas na identificação de pessoas.

b) Sim. É necessário incluir parentes, porque as amostras de DNA da vítima precisam ser comparadas para a identificação do perfil familiar.

10. C

Os indivíduos do casal 3 são os possíveis pais biológicos do bebê, pois este apresenta 50% do perfil genético materno e 50% do paterno.

11. a) A probabilidade é zero, uma vez que o DNA mitocondrial é herança exclusivamente materna. Ou seja, as mitocôndrias do zigoto que originaram Louise provêm do ovócito da mãe, e não do espermatozoide do pai.

b) Sim. O genoma nuclear de Dolly era idêntico ao da ovelha doadora. Esta, por sua vez, tinha 50% do genoma nuclear de origem paterna e 50%, de origem materna.

12. B

A alternativa A está incorreta, porque se trata de uma doença possível de ser editada pela técnica CRISPR. A alternativa C está incorreta. Ainda não foi descoberto nenhum procedimento que retarde o envelhecimento, apenas se sabe que este está relacionado à redução dos telômeros. A alternativa D está incorreta, porque a edição do genoma não promove estabilidade. A alternativa E está incorreta. Raramente ocorre superprodução de imunoglobulinas, que são proteínas altamente específicas.

13. C

A afirmativa II é falsa. O conceito apresentado na afirmativa é o de nicho ecológico. Hábitat é o local onde determinada espécie vive. A afirmativa III é falsa, porque se refere ao conceito de população, enquanto comunidade é o conjunto de populações.

14. C

A alternativa A está incorreta. A emissão de gases poluentes colabora com a perda da biodiversidade. A alternativa B está incorreta. A diversidade diminui com o aumento da latitude. A alternativa D está incorreta. A biodiversidade aumenta em regiões equatoriais. A alternativa E está incorreta. A biodiversidade diminui com a urbanização.

15. a) Se considerarmos apenas o conjunto de populações, estamos nos referindo ao conceito de comunidade presente naquele ambiente.

b) Se considerarmos o conjunto das populações do ambiente associado aos fatores abióticos, estamos nos referindo ao conceito de ecossistema.

16. E

De acordo com as informações apresentadas pelo enunciado, podemos supor que não haverá competição territorial nem alimentar entre as quatro espécies. Isso porque as espécies I e II, que fazem teias, predam tipos diferentes de presas. Enquanto a espécie I espera os insetos em galhos, a espécie II espera os insetos que ficam suspensos, provavelmente insetos alados. As espécies III e IV, que não fazem teias, também predam tipos diferentes de presas. Enquanto a espécie III espera as presas em flores, a espécie IV ataca ativamente as presas que passam pelo barranco. Assim, as quatro espécies de aranhas apresentam nichos distintos uns dos outros.

17. Quantidade de oxigênio, densidade de ar e sustentação, regulação da temperatura, diversidade de habitats e luminosidade.

Estudo para o Enem

18. E

As vacinas gênicas são produzidas com base em genes dos vírus previamente amplificados em vetores e inseridos nas pessoas, a fim de que haja reconhecimento do sistema imune. Assim, é produzida memória imunológica contra aquela linhagem de vírus.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. E

As alternativas A e B estão incorretas, porque constituem uma comunidade por serem três espécies distintas. A alternativa C está incorreta, pois se trata de um biótopo, onde há três espécies coexistindo. A alternativa D está incorreta, porque dependem de fatores abióticos para sobreviver, sendo, portanto, parte de um ecossistema.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

20. A

A alternativa B está incorreta, porque uma única espécie não configura uma comunidade. A alternativa C está incorreta, pois esse ato descreve parte do seu nicho ecológico. A alternativa D está incorreta, porque o Pantanal apresenta diversas espécies. A alternativa E está incorreta, pois os tatus-canastas são heterótrofos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

24 FLUXO DE MATÉRIA, ENERGIA E CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DA ÁGUA E DO CARBONO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo foi apresentado o conceito de nível trófico entre os produtores, consumidores e decompositores e como estes se distribuem na cadeia e na teia alimentar. Os exemplos de pirâmides ecológicas (de número, biomassa e energia) procuram levar o aluno a compreender o fluxo de energia em um ecossistema. A leitura complementar aborda como os resíduos industriais impactam a cadeia alimentar marinha, podendo levar espécies mais afetadas, como as orcas, à extinção em poucos anos.

Além disso, o ciclo da água é abordado com base nas duas mudanças de estado físico e nos diversos processos químicos envolvidos na sua restituição ao ambiente. Também se consideram a importância deste processo para a vida e como a integração com os outros organismos vivos participam do seu ciclo de renovação. O ciclo do carbono é abordado com base nas etapas que o compõem e como os organismos autótrofos e heterotróficos estão envolvidos e interligados em seus processos de renovação no ambiente.

Para ir além

Leia a matéria sobre um estudo feito com base em simulações dos hábitos alimentares de alguns animais extintos. Essa pesquisa possibilitou a compreensão das relações ecológicas e do fluxo de energia entre os seres vivos de determinada época. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/05/15/jardineiros-da-pesada/>>.

Acesso em: fev. 2019.

O texto da Agência Europeia do Ambiente aborda o lixo marinho e como ele afeta nossa saúde e todos os níveis tróficos nos oceanos, que correspondem a 70% da superfície do planeta. Disponível em:

<<https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2014/em-analise/o-lixo-nos-nossos-mares>>.

Acesso em: fev. 2019.

O vídeo produzido pela Agência Nacional das Águas (ANA) aborda como as alterações climáticas podem influenciar na disponibilidade de água. Disponível em:

<<http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/474>>.

Acesso em: mar. 2019.

A reportagem da Agência Fapesp aborda o mapeamento dos principais emissores de CO₂ no país. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/estudo-aponta-quem-e-o-donodocarbono-no-brasil/27812/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

A alternativa A está incorreta, porque a pirâmide de energia não pode ser representada invertida, uma vez que a energia é produzida no primeiro nível trófico e é reduzida ao longo dos demais níveis. A alternativa B está incorreta, porque a pirâmide de energia representa a quantidade de energia em cada nível trófico em uma cadeia alimentar. A alternativa C está incorreta, porque a energia é calculada por unidade de área e em determinado período.

8. E

A drósera é um organismo autótrofo, ocupando o nível trófico de produtor na cadeia alimentar. A larva da mosca é heterotrófica, sendo uma consumidora secundária.

9. B

A alternativa A está incorreta, porque houve redução de biomassa no primeiro nível trófico. As demais estão incorretas, porque a população foi reduzida.

10. D

Metais pesados têm efeito bioacumulativo, assim são encontrados em maior concentração nos organismos do topo da cadeia alimentar.

11. D

Como a população de aves foi reduzida, a população de insetos aumentou em número, o que provocou a redução da população de grãos produzidos pela agricultura.

12. A pirâmide de biomassa e de energia é a II, e a barra que representa as joaninhas é a 3.

13. E

Todas as afirmativas estão corretas.

14. O processo I corresponde à fixação do CO₂ pelas plantas, equivalente a uma parte da fotossíntese. O processo II corresponde à respiração. O processo III corresponde à utilização de matéria orgânica da fotossíntese para a obtenção de energia.

15. D

A afirmativa I está incorreta, porque o solo da Floresta Amazônica é rico em detritos e demais organismos em decomposição, o que possibilita que atue como fonte de estoque de carbono. Além do mais, toda a matéria orgânica encontrada

no solo é formada por carbono. A afirmativa V está incorreta, porque a conversão das florestas reduzirá a polinização e, conseqüentemente, influenciará nas monoculturas.

16. A

A alternativa B está incorreta, porque a radiação solar será a mesma. A alternativa C está incorreta, porque uma cidade urbanizada tende a ter um nível razoável de evaporação e escoamento. A alternativa D está incorreta, porque a intensidade solar será a mesma. A alternativa E está incorreta, porque estarão mais susceptíveis a enchentes.

17. Os fitoplânctons são os principais responsáveis pela reposição de O_2 na atmosfera. Trata-se de organismos fotossintetizantes que sequestram o CO_2 presente na atmosfera, balanceando não só sua concentração atmosférica como a de O_2 . A queda nas populações globais desses fitoplânctons implica diretamente no aumento de CO_2 na atmosfera.

Estudo para o Enem

18. C

O pesticida se acumula no último nível trófico. Portanto, o valor da concentração deverá aumentar à medida que avançar um nível.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. B

A forma larval do parasitoide é um consumidor secundário, uma vez que se alimenta dos tecidos da lagarta, isto é, apresenta hábito carnívoro. Não é um decompositor por se alimentar do organismo ainda vivo. Além disso, não apresenta maior nível energético da cadeia, mas o menor, uma vez que a energia é reduzida à medida que passa pelos demais níveis tróficos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20. B

A alternativa A está incorreta, porque o ciclo hidrológico é composto do vapor de água. A alternativa C está incorreta, porque queimadas e demais poluentes têm afetado negativamente o ciclo da água, dificultando ou impossibilitando a formação de nuvens. A alternativa D está incorreta, porque nuvens de maior altitude são formadas na floresta e precipitam em regiões distantes dela. A alternativa E está incorreta, porque a intervenção humana tem alterado a atmosfera da região negativamente.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo de energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

25 CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DO OXIGÊNIO, CÁLCIO, FÓSFORO E DO NITROGÊNIO

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, foram apresentados os ciclos biogeoquímicos do oxigênio, do carbono e do fósforo, com ênfase à importância desses elementos para os seres vivos. Além disso, descreveu-se detalhadamente cada etapa dos ciclos, de maneira que o aluno consiga compreender semelhanças e diferenças entre eles.

Além disso, foram apresentadas ao aluno todas as etapas do ciclo do nitrogênio, bem como os seres vivos nele envolvidos e as principais reações oxidativas ocorridas ao longo do processo. Na introdução, foram discutidos alguns problemas gerados pelo uso de fertilizantes nitrogenados, como a poluição dos lençóis freáticos na China. Além disso, foram apresentadas certas técnicas de cultivo, como a rotação de cultura (que facilita a disponibilidade de compostos nitrogenados no solo) e a hidroponia (técnica em que as plantas não necessitam estar diretamente no solo).

Para ir além

Pesquisa inédita tenta recuperar de esgoto elemento químico crucial para produção de alimentos. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-41387521>>.
Acesso em: mar. 2019.

O texto a seguir trata da liberação de nitrogênio e fósforo por excretas das aves marinhas e como esse fato influencia os ciclos biogeoquímicos. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/03/20/fezes-de-aves-marinhas-influenciam-ciclo-global-de-nutrientes/>>.
Acesso em: mar. 2019.

Esta reportagem da BBC Brasil explica o que é a chamada “zona morta” do Golfo do México, região onde animais não sobrevivem. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-40824337>>.
Acesso em: mar. 2019.

Esta reportagem da Agência SBPC alerta sobre a alteração do ciclo do nitrogênio em razão das queimadas para criação de pasto na Floresta Amazônica. Disponível em:

<http://www.sbpcnet.org.br/manaus/Newsletter16_2.php>.
Acesso em: mar. 2019.

Este vídeo elaborado pela Embrapa aborda os resultados da fixação do nitrogênio nas plantações de arroz, o que reduz custos e impactos na produção. Disponível em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=jTywXCVFbc8>>.
Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

A alternativa B está incorreta. Seres fotossintetizantes necessitam obrigatoriamente de luz solar. A alternativa C está incorreta. Fungos e bactérias são organismos decompositores; portanto, atuam decompondo matéria orgânica presente no aquário. A alternativa D está incorreta, pelo mesmo motivo descrito anteriormente. Além disso, fungos e bactérias forneceriam CO_2 ao ambiente, sem necessitar obrigatoriamente de luz solar. A alternativa E está incorreta. Zooplânctons atuam como predadores dos animais aquáticos herbívoros, consumindo O_2 e liberando CO_2 no ambiente, também sem necessitar obrigatoriamente de luz.

8. C

A oxidação do ferro nas rochas, por meio do intemperismo, libera esse elemento em rios e mares.

9. E

A afirmativa I está incorreta. O oxigênio do qual os animais dependem provém do processo de fotossíntese, que consome CO_2 . A respiração celular, por outro lado, consome oxigênio e libera CO_2 .

10. Os animais consomem o O_2 produzido na fotossíntese que está disponível na atmosfera. Desse processo originam-se água e CO_2 . A água é utilizada no metabolismo e liberada pela transpiração, excreção e respiração. As plantas utilizam CO_2 na formação de moléculas orgânicas e devolvem o oxigênio à atmosfera novamente.

11. C

A alternativa A está incorreta. A produção de oxigênio no mundo é realizada por todos os seres autótrofos, e não somente os que vivem na Amazônia. A alternativa B está incorreta. O oxigênio também pode ser liberado por meio da transpiração e respiração. A alternativa D está incorreta. As plantas realizam respiração, não apenas fotossíntese. A alternativa E está incorreta. Oxigênio e ozônio também estão presentes na atmosfera.

12. E

Todas as alternativas estão corretas.

13. C

A amônia é fixada pelas bactérias presentes no solo ou nas raízes de plantas leguminosas. A alternativa A está incorreta, porque não é assimilado por fungos. A

alternativa B está incorreta. A respiração libera CO_2 e não está relacionada ao ciclo do nitrogênio. A alternativa D está incorreta. A fotossíntese produz matéria orgânica. A alternativa E está incorreta, porque são liberados CO_2 e hidróxido de amônio.

14. D

A alternativa D é única incorreta. As bactérias do gênero *Nitrosomonas* são responsáveis por converter amônia em nitrito.

15. A técnica de rotação de cultura é benéfica porque as plantas leguminosas apresentam em suas raízes bactérias fixadoras de nitrogênio. Dessa forma, aumenta-se a concentração de nitrogênio disponível no solo, que será utilizado pelas plantas não leguminosas cultivadas posteriormente. Essa rotação melhora as condições químicas, físicas e biológicas do solo e melhora o controle de populações de plantas daninhas. Além disso, a técnica reduz doenças e pragas, protege o solo da ação de agentes climáticos e diminui gastos excessivos com adubo.

16. a) Os vegetais necessitam de nutrientes minerais (N, P, K etc.) para sintetizar compostos orgânicos.

b) O nitrogênio é constituinte de proteínas e de aminoácidos presentes no DNA e no RNA, além de formar a molécula de ATP.

17. A produtividade deveria ser maior na área intacta, por apresentar maior drenagem de nitratos em razão da chuva. De acordo com o gráfico, a área desmatada é uma região mais pobre em nutrientes que a área intacta.

Estudo para Enem

18. D

A queda das folhas aumenta a quantidade de matéria orgânica no solo, que é decomposta por fungos e bactérias aeróbios. Nesse processo, então, há consumo de O_2 .

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo de energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

19. D

Os animais não são capazes de absorver nitrogênio diretamente da atmosfera pela respiração, sendo que isso só ocorre por meio da alimentação. No entanto, nem todo alimento é fonte de nitrogênio. Os animais obtêm esse elemento pela transferência de matéria orgânica ao longo da cadeia trófica.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo de energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

20. A

As plantas assimilam tanto a amônia quanto o nitrato presentes no solo e utilizam esses compostos na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas. Porém, a quantidade de amônia assimilada é menor se comparada à quantidade de nitrato. Vale lembrar que, em pequena escala, a amônia também apresenta toxicidade para as plantas. As moléculas com nitrogênio são transferidas das plantas para os demais consumidores ao longo da cadeia alimentar.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo de energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

26 BIOMAS TERRESTRES E RELAÇÕES ECOLÓGICAS HARMÔNICAS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, apresentamos os principais biomas terrestres do planeta (Tundra, Taiga, Floresta Temperada, Floresta Pluvial Tropical, Chaparral, Campos e Desertos), incluindo os biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal e Pampa). Além disso, descrevemos as características da fauna e da flora desses biomas e expusemos os impactos ambientais que vêm sofrendo, evidenciando a importância desses locais para o planeta.

Além disso, foram apresentadas as principais relações ecológicas intraespecífica (colônia e sociedade) e interespecíficas (mutualismo, protozooperação, inquilinismo e comensalismo). Foram descritas também cada uma das interações entre os organismos, diferenciando-as entre si e exemplificando cada uma.

Para ir além

O artigo da Agência Fapesp aborda o estudo sobre os fatores que contribuem diretamente para a fitofisionomia encontrada no bioma da Amazônia. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/insolacao-e-mais-importante-do-que-chuva-na-producao-de-folhas-na-amazonia/25982/>>.

Acesso em: abr. 2019.

O texto a seguir discorre sobre o acordo feito entre o Ministério do Meio Ambiente e o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio) para implementar estratégias de conservação e manejo da biodiversidade dos biomas Caatinga, Pampa e Pantanal. Disponível em:

<<http://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/10076-acordo-ajudara-na-protecao-da-caatinga-pampa-e-pantanal>>.

Acesso em: abr. 2019.

Um estudo apresentado pela Agência Fapesp aborda as interações ecológicas mutualísticas, seus desafios com as alterações climáticas e como isso reflete no processo de coevolução. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/interacoes-indiretas-podemter-maior-peso-na-evolucao-de-especies-em-redesecologicas/26447/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Em uma das edições do programa Na onda da vida, da rádio da UFMG, foi debatido o sistema de comunicação entre formigas de um mesmo formigueiro. Disponível em:

<<https://www.ufmg.br/ciencianoar/conteudo/formigas-feromonios/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. E

O manguezal é considerado berçário de espécies marinhas, além de ser um ecótono entre ambiente terrestre e marinho. O deserto apresenta plantas xerófitas, alta intensidade de luz solar e pouca água. Os Campos apresentam, principalmente, vegetação rasteira, como gramíneas. O Cerrado apresenta vegetação com caules espessos e tortuosos e folhas coriáceas. A Floresta Tropical apresenta clima quente e úmido e folhas longas.

8. D

O Cerrado é sujeito a queimadas em razão do clima seco durante o inverno. Quando essas queimadas ocorrem, tanto em decorrência de ações humanas como de causas naturais, muitas espécies são destruídas. Entretanto, várias delas também necessitam de fogo para que as sementes germinem.

9. B

A afirmativa II está incorreta, porque existem apenas 12,5% desse bioma no Brasil. A afirmativa III está incorreta, porque o crescimento urbano, o desmatamento e o aumento de indústrias foram os principais fatores que levaram à redução da Mata Atlântica.

10. D

A terceira afirmativa está incorreta, porque os mangues apresentam vegetação com raízes aéreas. A quarta afirmativa está incorreta, porque o Pantanal abrange uma pequena área alagável: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, apenas.

11. E

O bioma 4 (Caatinga) apresenta plantas xeromórficas; o 1 (Mangue) e o 3 (Amazônia) apresentam plantas epífitas pelo fato de os dosséis serem muito densos. Os biomas 2 e 5 se referem, respectivamente, ao Cerrado e à Mata Atlântica.

12. C

Todas as alternativas, exceto a C e a respectiva imagem, referem-se ao bioma Caatinga. A alternativa C está incorreta, porque se refere ao Cerrado, pelo fato de descrever os galhos retorcidos.

13. A

Há uma interação de epifitismo entre os líquens e a árvore, em que uma planta se desenvolve sobre outra, sem que haja prejuízo para a árvore na qual os líquens se fixam. Tal interação também ocorre com orquídeas, em que a árvore serve apenas como uma base de ancoragem. Já entre os microrganismos que compõem o líquen, tem-se uma relação mutualística, que se caracteriza por uma dependência entre os indivíduos com troca de benefícios entre eles.

14. Trata-se de uma relação mutualística, na qual a planta recebe compostos nitrogenados provenientes do metabolismo das bactérias e que são importantes para o próprio metabolismo dela. As bactérias, por outro lado, utilizam como alimento a matéria orgânica das plantas.

15. B

É um tipo de mutualismo, pois as formigas recebem o néctar da planta (alimento) e, em troca, dão proteção contra os pulgões, sendo ambas as partes beneficiadas.

16. E

A raflésia é parasita, pois retira água e nutrientes da planta hospedeira. A ação das moscas, ao beneficiar apenas a planta asiática, caracteriza um caso de comensalismo, pois elas transportam pólen (polinização) para outra flor da mesma espécie.

17. B

A alternativa A está incorreta, porque o excesso de formigas não permitirá floração da planta. A alternativa C está incorreta, porque as formigas não polinizam, mas protegem a planta contra outros insetos. As alternativas D e E estão incorretas, porque se trata de uma associação obrigatória, em que ambas as partes são favorecidas de algum modo.

Estudo para o Enem

18. D

As plantas com raízes mais profundas conseguirão alcançar o lençol freático, podendo absorver água e sais minerais. A superfície da folha coberta com cera, por sua vez, evita a perda excessiva de água, além de realizar proteção contra a desidratação e os incêndios naturais.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar,

avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial, ambientes brasileiros.

19. D

A Caatinga tem a característica de chuvas irregulares e escassas, havendo grande período de seca. Por isso, as plantas desse bioma apresentam diversas adaptações para sobreviver ao ambiente, como sistema radicular bem desenvolvido e profundo, capaz de absorver água e íons do solo.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial, ambientes brasileiros.

20. D

As algas absorvem os compostos nitrogenados excretados pelos animais para a produção de sua matéria orgânica e, durante o processo de fotossíntese, libera oxigênio para o meio ambiente, que será consumido por seres que realizam respiração aeróbica.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

27 RELAÇÕES ECOLÓGICAS DESARMÔNICAS E ECOLOGIA DE POPULAÇÕES

Comentário sobre o módulo

Neste módulo foram apresentadas as principais relações ecológicas desarmônicas, tanto intraespecíficas (como o canibalismo e a competição) quanto interespecíficas (como amensalismo, predatismo, esclavagismo e competição entre espécies). Como exemplo de estratégia competitiva entre indivíduos da mesma espécie por uma fêmea, citamos o pássaro cetim, que enfeita seu ninho e realiza uma dança pré-acasalamento para conquistar sua parceira. As estratégias evolutivas que alguns animais desenvolveram para fugir de predadores, como mimetismo, aposematismo e camuflagem, são também tratadas por serem importantes para a sobrevivência de diversas espécies.

Além disso, foi apresentado o funcionamento das dinâmicas populacionais e os dados a serem observados, como densidade populacional, distribuição etária e potencial biótico. São explorados o cálculo do índice de crescimento de uma população e como esse valor é interpretado por meio de fórmulas e gráficos. Também são abordados pontos importantes como taxa de crescimento de uma população e seu crescimento.

Para ir além

Nesta reportagem da BBC Earth, discute-se as formigas zumbis, que são parasitadas por fungos, que exercem "poder" sobre elas. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-40206590>>.

Acesso em: fev. 2019.

O texto fala sobre a descoberta de espécies invasoras no Brasil, enfatizando a importância em estudá-las e o impacto delas nas relações ecológicas de um ecossistema nativo. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/seis-especies-de-anfibios-invasores-sao-identificadas-no-brasil/26611/>>.

Acesso em: fev. 2019.

O texto "Brasil terá sexta maior população de idosos do mundo até 2025" trata da dinâmica populacional de humanos brasileiros e das estimativas para o futuro. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/brasil-tera-sexta-maior-populacao-de-idosos-no-mundo-ate-2025/23513/>>.

Acesso em: mar. 2019

Exercícios propostos

7. B

A análise dos gráficos mostra claramente que a diversidade de espécies de ervas é maior nas áreas de pastagens, o que reflete uma menor competição com as gramíneas.

8. A

Neste caso, ocorre parasitismo, pois o inseto depende da cana-de-açúcar para se desenvolver. O inseto obtém alguma vantagem, enquanto a cana-de-açúcar é prejudicada. A relação entre o verme e as bactérias é mutualística pelo fato de ambos obterem vantagens mútuas.

9. D

Ao caçar o morcego para se alimentar, a coruja atua como predador. Os ácaros e os piolhos competem por alimento fornecido pela coruja. Já as moscas hematófagas se alimentam de sangue do morcego, sem provocar sua morte, e são, portanto, parasitas.

10. As interações mais prováveis entre as espécies de ácaros, segundo o gráfico, são de predação ou competição.

Predação: o defensivo agrícola mata todos os indivíduos da espécie B. A espécie A é resistente ao defensivo e consegue se reproduzir o suficiente para aumentar sua população novamente.

Competição: o defensivo agrícola mata todos os indivíduos da espécie B. Ocorre maior disponibilidade de recursos alimentares e aumento de sua densidade populacional.

11. D

Colônias são um grupo de indivíduos da mesma espécie que dividem trabalhos entre si. Mutualismo é uma relação em que ambas as espécies obtêm vantagens. Canibalismo se refere à relação em que um indivíduo se alimenta de outro da mesma espécie. Sociedade é uma relação intraespecífica em que há divisão de trabalho conforme a morfologia do indivíduo.

12. A espécie B apresenta uma interação ecológica desarmônica com a espécie A, sendo predadora ou competidora dela. Por isso, há redução da população A quando ambas são cultivadas em conjunto.

13. D

A população B está em maior risco de extinção, porque tem um número muito reduzido de plântulas e juvenis. A população C está em equilíbrio, pois apresenta grande densidade de indivíduos plântulas, juvenis e adultos. A população A está começando a se expandir, porque apresenta alta densidade de indivíduos plântulas.

14. C

A primeira afirmativa está incorreta. A densidade é a relação entre o número de indivíduos de uma

população e o espaço que ela ocupa. A terceira afirmativa está incorreta. A curva de crescimento populacional depende do potencial biótico e da resistência ambiental.

15. D

A afirmativa A está incorreta. A curva se refere ao crescimento populacional. A afirmativa B está incorreta. A taxa de mortalidade reduz em relação à de reprodução entre 4 e 12 horas. A afirmativa C está incorreta. Refere-se apenas ao aumento da população. A alternativa E está incorreta. Às 16h a população atingiu a capacidade máxima do meio.

16. E

A alternativa A está incorreta. A taxa de aumento de tigres nesse período foi de 21,5%. A alternativa B está incorreta. Para estimar a taxa de crescimento de uma população, deve-se considerar o número de nascidos, de mortos, de indivíduos que entraram para a população e de indivíduos que saíram. A alternativa C está incorreta. A densidade populacional é o número de indivíduos que ocupam determinada área. A alternativa D está incorreta. A população de tigres tem aumentado em razão dos esforços pela preservação da espécie no mundo.

17. D

A afirmativa IV está incorreta. A resistência ao ambiente aumenta, decaindo em número a população. A afirmativa V está incorreta. O intemperismo não abrange todas as formas de atuação antrópica no ambiente contra determinada espécie.

Estudo para o Enem

18. D

Trata-se de uma relação de predação, pelo fato de o macho servir de alimento para a fêmea de outra espécie. A alternativa A está incorreta, porque se refere a uma espécie beneficiada em termos alimentares, sendo a outra indiferente. A alternativa B está incorreta, porque se refere a uma espécie que vive sobre ou no interior de uma espécie dita hospedeira a fim de se proteger ou conseguir recursos adicionais, sem que esta última seja prejudicada. A alternativa C está incorreta, porque se refere a espécies que possuem condições de viverem sozinhas, mas que se associam a outras, trocando benefícios. A alternativa E está incorreta, porque

se refere a ambas as espécies que se beneficiam da relação e esta é indispensável à sobrevivência, uma vez que pode envolver trocas de alimentos e de produtos de metabolismo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. B

Não há competição entre indivíduos da mesma espécie, uma vez que eles caçam em bando. Há, entretanto, competição com outras espécies que estiverem buscando o mesmo recurso alimentar.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20. C

Formando a cadeia alimentar, temos: moluscos → arraia → tubarões. O declínio dos tubarões (predador) promove o crescimento no número de arraia. Esse aumento ocorre em razão do maior consumo das presas (moluscos). Desse modo, haverá redução de moluscos e tubarões, com aumento de arraia.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

28 CONTROLE POPULACIONAL, SUCESSÃO ECOLÓGICA E DESEQUILÍBRIOS AMBIENTAIS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, apresentamos as principais relações ecológicas capazes de controlar populações diferentes dentro de uma comunidade, como o predatismo, o parasitismo e as competições intraespecífica e interespecífica, relacionando gráficos e exemplos para elucidar os conceitos. O módulo trouxe textos complementares com exemplos de controle populacional em situações reais. Foram trabalhados, ainda, o conceito de sucessão ecológica e os estágios desse processo em ambientes terrestres e aquáticos.

Além disso, foram apresentados os principais impactos ambientais, sendo eles de origem abiótica (como a emissão de gases poluentes, a redução da camada de ozônio, a inversão térmica, a chuva ácida, o derramamento de petróleo, a magnificação trófica e a eutrofização) ou de origem biótica (a introdução de espécies invasoras e a extinção de espécies). Cada um desses impactos foi explicado detalhadamente e discutido de maneira contemporânea, com exemplos do cotidiano. Além disso, foi descrito na introdução do módulo os principais impactos ambientais promovidos pelo rompimento de barragens de rejeitos de mineração.

Para ir além

Pesquisa anuncia descoberta de controle biológico do *Aedes aegypti* utilizando um fungo capaz de atacar o mosquito. Disponível em:

<<http://www.ceed.uerj.br/noticias/detalhe/pesquisa-anuncia-descoberta-sobre-controle-biologico-do-aedes-aegypti-85>>.

Acesso em: mar. 2019.

Conheça o papel fundamental de algumas espécies para o equilíbrio da natureza. Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2014/11/conheca-alguns-animais-considerados-fundamentais-para-o-equilibrio-da-natureza>>.

Acesso em: mar. 2019.

Na reportagem a seguir são apresentados os impactos ambientais do rompimento da barragem em Brumadinho. Disponível em:

<<https://ufmg.br/comunicacao/noticias/entenda-qual-impacto-ambiental-do-rompimento-da-barragem-em-brumadinho>>.

Acesso em: mar. 2019.

Conforme matéria da Agência Fapesp, pesquisadores têm utilizado a árvore tipuana (*Tipuana tipu*) como marcadora dos níveis de poluição da cidade por metais pesados e outros elementos químicos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/rvores-revelam-evolucao-dapoluicao-ambiental-em-sao-paulo/28464/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

Espécies pioneiras são de pequeno porte, produzem grande quantidade de biomassa e são, principalmente, formadas por seres autótrofos.

8. C

A alternativa A está incorreta, porque competem entre si. A alternativa B está incorreta, porque a espécie Y é melhor competidora. A alternativa D está incorreta, porque influenciam diretamente na competição entre as duas espécies. A alternativa E está incorreta, porque a melhor competidora, nesse caso, é a espécie X.

9. C

A segunda afirmativa está incorreta, porque a curva II representa a taxa de mortalidade estável e igual nas diferentes idades, sendo típica de uma população natural equilibrada.

10. D

A alternativa A está incorreta, porque organismos pioneiros alteram as condições originais do local. A alternativa B está incorreta, porque apenas C representa a comunidade clímax. A alternativa C está incorreta, porque em B temos espécies intermediárias. A alternativa E está incorreta, porque se refere à comunidade secundária.

11. A

A alternativa B está incorreta, porque a biodiversidade tende a aumentar. A alternativa C está incorreta, porque espécies pioneiras sempre são de pequeno porte. A alternativa D está incorreta, porque comunidade clímax é atingida em ambas as formas de sucessão.

12. D

A alternativa A está incorreta, pois, se há o aumento de organismos anaeróbicos, eles não influenciam diretamente na concentração de oxigênio. A alternativa B está incorreta, pois a matéria orgânica adiciona fosfato, e não o diminui. A alternativa C está incorreta, pois a matéria orgânica não promove a diminuição dos peixes herbívoros que vão se alimentar dela. A matéria orgânica estimula a proliferação de seres aeróbicos, o que resulta em redução de oxigênio e, conseqüentemente, na proliferação de seres anaeróbicos, levando à morte dos seres aeróbicos. A alternativa E está incorreta, pois o processo de floração, quando há o aumento do teor de substâncias minerais, acarreta a proliferação de algas, o que dificulta a penetração de luz no meio e ocasiona a destruição das cadeias alimentares que dependem da fotossíntese.

13. B

(II) Incorreta. O Cerrado contribui significativamente com a emissão de gases do efeito estufa.

(III) Incorreta. Transferir todo o rebanho da Amazônia e do Cerrado para outros biomas diminui o problema na Amazônia, mas aumenta nos demais biomas.

14. D

No início do processo de eutrofização, ocorre um aumento do número de microrganismos aeróbicos, levando a um maior consumo de oxigênio. Com isso, há uma diminuição da concentração de oxigênio na água, resultando na morte dos peixes e de outros organismos aeróbicos. A baixa concentração de oxigênio na água leva, com o tempo, a um predomínio de microrganismos anaeróbicos.

15. E

Todas as alternativas estão corretas.

16. Uma característica das espécies invasoras é a sua rápida adaptação ao ambiente. Além disso, essas espécies competem com as nativas, o que muitas vezes promove a extinção dessas últimas.

17. C

A alternativa A está incorreta, pois as águas foram enriquecidas com dejetos minerais, e não orgânicos. A alternativa B está incorreta, pois a lixiviação está relacionada à entrada de dejetos na água de maneira natural, ou seja, por meio da chuva, dos ventos ou da remoção da vegetação. No caso de Mariana, o rompimento arrastou tudo para dentro do curso de água. A alternativa D é incorreta, pois a bioacumulação resulta na mortalidade dos níveis tróficos das cadeias alimentares aquáticas e dos níveis mais superiores, e isso leva tempo. No caso da questão, isso foi instantâneo. A alternativa E é incorreta, pois as algas que causam a maré vermelha pertencem ao ecossistema oceânico.

Estudo para o Enem

18. A

A inclusão de vespas para o controle biológico de larvas de borboletas, nesse caso, é um exemplo

claro de parasitismo, pois há benefício à larva da vespa em detrimento da larva das borboletas, que não conseguem sobreviver e, com isso, não devastam a plantação.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

19. D

O poema faz referência ao despejo de detergentes sintéticos no rio, como evidenciado no trecho “espuma de dodecilbenzeno irreduzível”, sendo o dodecilbenzeno um produto usado na fabricação de sabão.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

20. B

Espécies exóticas não possuem predadores naturais; elas apresentam nichos ecológicos sobrepostos aos de espécies nativas, ocasionando grande competição. Além disso, elas representam um grande risco, pois crescem descontroladamente, invadindo todo o ambiente.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 2

GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM POSitivo



9 PORÍFEROS, CNIDÁRIOS, PLATELMINTOS E NEMATÓDEOS

Comentário sobre o módulo

Os animais são organismos eucariotos, multicelulares e heterotróficos. A blástula é a novidade evolutiva compartilhada por todos os animais. O módulo apresenta o grupo dos poríferos, considerado o primeiro grupo animal que surgiu. São seres de organização simples, sésseis e quase todos marinhos. Não apresentam tecidos verdadeiros, tampouco órgãos e sistemas. Também são filtradores e dependem do fluxo de água para obter alimento e oxigênio.

É apresentado também o grupo dos cnidários, que são animais diblásticos, possuem cavidade digestória incompleta e sistema nervoso difuso ou não centralizado. Conhecidos pelo seu comportamento de defesa, os cnidários possuem duas formas corporais básicas, a medusa e o pólip.

Simetria bilateral do corpo e centralização do sistema nervoso são novidades evolutivas compartilhadas por platelmintos e nematódeos em comparação a poríferos e cnidários. Além disso, esses animais têm três folhetos embrionários (triblásticos). São vermes que não apresentam corpo segmentado e têm representantes de vida livre e parasitas.

As formas parasitas são responsáveis por doenças humanas frequentes e graves. São exemplos a esquistossomose (causada pelo platelminto trematódeo – *Schistosoma mansoni*), a teníase (causada pela *Taenia solium* e *Taenia saginata*) e a cisticercose (causada pelos platelmintos cestódeos *Taenia solium*, cujas formas adultas são hermafroditas e realizam autofecundação). Por sua vez, as formas parasitas dos nematódeos são responsáveis por doenças como a ascaridíase (ou lombriga – *Ascaris lumbricoides*); a filariose (ou elefantíase – *Wuchereria bancrofti*); o amarelão (ou ancilostomose – *Ancylostoma duodenale* e *Necator americanus*); a oxiurose (*Enterobius vermicularis*); e o bicho-geográfico (*Ancylostoma braziliensis*). Higienização dos alimentos, tratamento da água, saneamento básico e tratamento dos doentes são medidas profiláticas adequadas para a maioria das doenças causadas por platelmintos e nematódeos.

Para ir além

Pesquisadores brasileiros descobriram um recife de coral associado a esponjas em rio da Amazônia. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/cientistas-descobrem-recife-oculto-pela-pluma-do-rio-amazonas/23116/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Neste artigo é discutida a importância das áreas protegidas para a biodiversidade dos corais. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/biodiversidade-marinha-aumenta-em-areas-protegidas/25402/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Espécie de coral invasor tem colonizado a costa brasileira e causado situações irrecuperáveis para o ecossistema. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/coral-invasor-da-costa-brasileira-apresenta-grande-capacidade-de-regeneracao/27769/>>.

Acesso em: fev. 2019.

O artigo do *link* a seguir aborda as novas estratégias no combate à esquistossomose. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/nova-estrategia-de-combate-a-esquistossomose/>>.

Acesso em: mar. 2019.

A redução de áreas verdes é um dos principais fatores responsáveis pela migração de mosquitos transmissores de doenças para as regiões urbanas. Leia mais sobre o assunto no texto do *link* abaixo. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mosquitos-vetores-de-doencas-ganham-com-reducao-de-areas-verdes-em-sao-paulo/27009/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Além de parasitas animais, existem nematódeos que causam muitos prejuízos econômicos ao parasitar plantas. Para saber mais, leia o texto a seguir. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/embrapa-divulga-lista-de-pragas-agricolas-de-mais-alto-risco/26364/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. E

As esponjas são animais aquáticos e não possuem tecidos verdadeiros. Podem apresentar espículas calcárias ou silicosas e fibras de espongi-na como elementos de sustentação do corpo do animal. São animais filtradores, alimentando-se de partículas em suspensão na água, que entram pelos porócitos, células em forma de “tubo” ou de “rosca”, presentes na parede externa do corpo do animal. Por meio do batimento dos flagelos dos coanócitos, um fluxo contínuo de água é criado. Do meio externo a água entra pelos porócitos, chegando até a espongiocela, onde as partículas alimentares são capturadas (filtradas) pelos coanócitos. Da espongiocela a água volta ao meio externo através do ósculo.

8. a) As etapas F e E são as que podem ser revertidas, pois o texto informa que a espécie é capaz de se transformar do estágio de medusa para o estágio de pólipo.

b) Dois folhetos embrionários, ou seja, são animais diblásticos (presença de ectoderme e endoderme); presença de um tubo digestório incompleto (apenas um orifício, a boca, está presente), possibilitando o início da digestão do alimento extracelularmente; células especializadas chamadas cnidócitos, que atuam principalmente na defesa e na captura de alimento.

9. D

Os coanócitos são células flageladas presentes nas esponjas que promovem o fluxo contínuo de água pelo animal, garantindo assim a oxigenação e a nutrição das demais células. O fluxo hídrico também contribui para a remoção de resíduos do metabolismo.

10. a) Os recifes de coral são formados pelos polípedes coloniais da classe dos antozoários, pertencentes ao filo dos cnidários.

b) A colonização de novas áreas por indivíduos resultantes da reprodução sexuada pode dar origem a um novo recife de coral. Posteriormente, a colônia de corais se desenvolve principalmente por meio da reprodução assexuada dos pólipos por brotamento. O broto formado nos pólipos dos antozoários origina novos indivíduos, que permanecem unidos ao indivíduo parental e assim aumentam o tamanho da colônia.

11. 07 (01 + 02 + 04)

(08) Incorreta. O carbonato de cálcio (CaCO_3) é uma substância inorgânica.

(16) Incorreta. O CO_2 produzido pela queima de combustíveis e pelas queimadas provoca o aumento desse gás na atmosfera, contribuindo assim para o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, para o aumento da temperatura média do planeta.

12. F – F – V – F – F

No ciclo do *S. mansoni*, as larvas miracídios originam as larvas cercárias no interior do caramujo. As cercárias, quando penetram a pele ou as mucosas de uma pessoa ou outro hospedeiro, perdem suas caudas e passam a ser chamadas de esquistossômulos.

Os esporocistos (primário e secundário) são formados no interior do caramujo, que é o hospedeiro intermediário.

As metacercárias se transformam em cercárias e invadem o hospedeiro definitivo.

A introdução de caramujos resistentes ao platelminto parasita é uma forma de diminuir o número de caramujos infectados pelo esquistossomo. Conseqüentemente, há redução do número de pessoas que podem ser parasitadas.

13. a) A transmissão da ascariíase ocorre principalmente pela ingestão de água ou alimentos contaminados por ovos do verme nematódeo. No intestino delgado da pessoa, as larvas saem dos ovos e migram pelo corpo do hospedeiro. Passam então pelo sistema circulatório, pelos pulmões, pela traqueia e faringe. Assim, são engolidas e retornam ao intestino delgado, em que se fixam já na forma adulta. Durante esse trajeto, as lombrigas jovens atravessam os tecidos e lesionam os órgãos pelos quais passam, principalmente intestino, fígado e pulmão.

b) As fêmeas são maiores que os machos. Além disso, a parte posterior do corpo dos machos tem formato de gancho, que serve para fixação no corpo da fêmea durante a cópula. A lombriga é classificada como um parasita monóxeno ou monogenético, porque seu ciclo de vida envolve um único hospedeiro, o ser humano.

14. a) No ciclo de vida do platelminto *Schistosoma mansoni*, as formas infectantes para o hospedeiro humano (vertebrado) são as larvas cercárias. As formas infectantes para o hospedeiro invertebrado, caramujos da família dos planorbídeos, são as larvas chamadas miracídios.

b) Saneamento básico, uso de calçados e cuidados para não entrar em contato com lagoas infestadas de caramujos são medidas profiláticas para prevenir a esquistossomose.

15. E

Wuchereria bancrofti é o nematódeo agente da filariose, que causa a elefantíase. *Enterobius vermicularis* é o nematódeo causador da oxiurose, ou enterobiose.

Schistosoma mansoni é o platelminto causador da esquistossomose.

Taenia é o platelminto causador da teníase e da cisticercose (espécie *T. solium*).

16. F – F – V – F – V

Um único hospedeiro humano pode abrigar dezenas de vermes da espécie *Ascaris lumbricoides*.

Uma pessoa adquire a neurocisticercose quando ingere os ovos de *Taenia solium* (parasita do porco), por meio de alimentos mal lavados ou água contaminada com esgoto. Assim, o indivíduo torna-se hospedeiro intermediário do parasita.

Adquire-se o nematódeo parasita *Enterobius vermicularis*, causador da enterobiose ou oxiurose, pela ingestão de seus ovos. Isso pode ocorrer de forma direta (contaminação anal) ou indireta (pela ingestão de água e alimentos contaminados).

17. a) O nematódeo *Ascaris lumbricoides* (lombriga) é um endoparasita monoxeno, isto é, apresenta apenas um hospedeiro durante seu ciclo de vida, o ser humano.

b) A lombriga é adquirida pela ingestão de águas não tratadas ou de alimentos crus ou mal lavados que contenham ovos de embriões de *Ascaris lumbricoides*.

c) O *A. lumbricoides* se reproduz no intestino delgado humano.

d) Saneamento básico e tratamento dos doentes evitam que os ovos dos vermes contaminem o ambiente.

Estudo para o Enem

18. E

A redução do pH das águas marinhas pode causar danos à estrutura dos esqueletos calcários dos corais, que são formados a partir dos íons de carbonato presentes na água do mar. Com a acidificação do meio, haverá menos carbono inorgânico dissolvido na forma de carbonato e mais na forma de bicarbonato, dificultando sua utilização pelos corais. Assim, a sobrevivência dos recifes de coral ficará comprometida, acarretando a diminuição do tamanho de suas populações.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. A

O amarelão ou ancilostomíase é uma verminose causada pelo platelminto *Schistosoma mansoni*. O contágio ocorre pelo consumo de água contaminada ou pelo contato com o solo contaminado pela larva (cercária) do parasita. A cercária penetra ativamente a pele das pessoas. Por esse motivo, o uso de calçados e o cuidado para não nadar em lagoas contaminadas são medidas importantes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

20. C

A teníase (solitária) é causada pela presença do platelminto adulto do gênero *Taenia* no intestino humano. Ela é adquirida pela ingestão de carne suína ou bovina crua ou mal cozida que esteja contaminada pelas larvas cisticercos (popularmente conhecidas como "canjiquinhas"). A *T. solium* parasita suínos, enquanto a *T. saginata* parasita bovinos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

10 ANELÍDEOS E MOLUSCOS

Comentário sobre o módulo

Há cerca de 15 mil espécies conhecidas no filo dos anelídeos. A metameria, o celoma e a presença de um sistema circulatório fechado são novidades evolutivas dos anelídeos em relação aos demais filos animais estudados até o momento (poríferos, cnidários, plattelmintos e nematódeos). O celoma preenchido por fluido funciona como um esqueleto hidrostático nos anelídeos.

O corpo dos anelídeos é revestido por uma cutícula fina e transparente, secretada pela epiderme. Anelídeos possuem respiração cutânea ou branquial (como em poliquetas marinhas). A excreção é feita por nefrídios, também chamados de metanefrídios. Possuem um sistema nervoso desenvolvido, chamado de ganglionar ventral (um par de gânglios nervosos por segmento do corpo e um par de cordões nervosos longitudinais).

Anelídeos realizam reprodução sexuada. Minhocas e sanguessugas são espécies monoicas ou hermafroditas (fecundação cruzada mútua e interna; desenvolvimento direto); e poliquetas são em sua maioria dioicos (fecundação cruzada externa; desenvolvimento indireto).

Moluscos são animais de corpo mole. Com mais de 100 mil espécies conhecidas, são o segundo maior animal em diversidade. A grande maioria é marinha, mas há espécies de água doce e terrestres.

São animais triblásticos, protostômios, enterozoários completos, com simetria bilateral e um corpo constituído de três partes principais (pé muscular, massa visceral e manto). Gastrópodes e cefalópodes têm cabeça e órgãos sensoriais desenvolvidos. Os bivalves têm cabeça reduzida ou quase ausente. Na cavidade do manto, estão as brânquias e as aberturas digestivas, excretoras e reprodutoras.

O manto vascularizado possibilita trocas gasosas entre a hemolinfa e o ambiente (no ar ou na água).

Moluscos podem apresentar respiração branquial, pulmonar ou cutânea. A maioria tem sistema circulatório aberto ou lacunar, com exceção dos cefalópodes.

A excreção é realizada por nefrídios ou metanefrídios, e o sistema nervoso é ganglionar.

Esses animais têm reprodução sexuada. Há espécies monoicas e dioicas, cuja fecundação pode ser interna ou externa, de desenvolvimento direto ou indireto.

Para ir além

Texto aborda a relação entre as minhocas e o aumento da produção agrícola. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/aliadas-minhocas/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Fezes de minhoca podem conter a chave para entender o clima no planeta. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/07/130711_coco_minhoca_clima_gm>.

Acesso em: mar. 2019.

Texto da Agência Fapesp cita a existência de anelídeos marinhos que emitem bioluminescência. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/bioluminescencia-profunda/10952/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Entenda a semelhança e a relação evolutiva entre as células fotorreceptoras humanas e as dos poliquetas. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/olho-da-evolucao/2791/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. A

(I) Correta. As minhocas vivem no solo e sua escavação torna o solo mais poroso e aerado.

(II) Correta. Alimentam-se de matéria orgânica, portanto contribuem para o processo de decomposição e reciclagem de nutrientes para o solo.

(III) Incorreta. As minhocas não são animais predadores, alimentando-se de restos de matéria orgânica.

(IV) Correta. O nitrogênio está presente nos excrementos das minhocas, contribuindo para o crescimento vegetal.

(V) Correta. O húmus é um adubo natural, formado pela incorporação ao solo das fezes (excrementos) das minhocas, com grande variedade de elementos da decomposição de matéria orgânica.

8. C

Minhocas (oligoquetas) e sanguessugas (hirudíneos) são anelídeos que possuem reprodução bastante similar. Seus representantes são espécies monoicas (ou hermafroditas) que realizam fecundação interna e cruzada, e apresentam desenvolvimento direto.

9. E

As minhocas são anelídeos que possuem o corpo cilíndrico e segmentado. Por meio da contração e distensão coordenada dos músculos de cada metâmero do corpo, as minhocas se locomovem por rastejamento e escavam túneis no solo. Os túneis escavados arejam o solo e revolvem os detritos vegetais, facilitando sua decomposição.

Dessa forma, contribuem para a fertilização do solo.

10. a) (II)

b) (I) Incorreta. As minhocas são anelídeos que vivem, em sua maioria, em ambientes terrestres úmidos. As minhocas não possuem sistema respiratório, e suas trocas gasosas ocorrem através da superfície corporal, caracterizando uma respiração cutânea. Os cnidários são representados por medusas e pólipos e não possuem sistema respiratório. Os crustáceos não pertencem ao filo dos cnidários.

(III) Incorreta. Poliquetas não possuem clitelo. O clitelo é uma estrutura importante na reprodução, pois secreta muco e auxilia a formação do casulo contendo os ovos.

11. D

As sanguessugas pertencem à classe Achaeta, caracterizadas pela ausência de cerdas e parapódios.

12. C

(I) Correta. O sistema excretor dos moluscos é composto de metanefrídeos, estruturas ciliadas responsáveis por filtrar o fluido do pericárdio e eliminar as excretas.

(II) Correta. A maioria dos moluscos tem sistema respiratório branquial, mas há espécies de respiração pulmonar (por exemplo, gastrópodes terrestres como caramujos) ou de respiração cutânea (como em lesmas – gastrópodes – terrestres e marinhas).

(III) Incorreta. Os moluscos se reproduzem de forma sexuada. Existem espécies dioicas (sexos separados) ou monoicas (ou hermafroditas). Em ambas a fecundação é cruzada. Ela pode ser interna ou externa, com desenvolvimento direto ou indireto.

13. Cefalópodes: a concha interna reduzida ou ausente possibilita que esses animais se locomovam mais fácil e agilmente. O sistema circulatório fechado deles transporta o oxigênio de forma mais rápida e eficiente, algo essencial para organismos que se locomovem bastante.

Gastrópodes: o desenvolvimento direto pode reduzir o risco de desidratação que formas larvais enfrentariam em um ambiente terrestre (o qual tem restrição hídrica). A maior produção de muco reduz o atrito com a superfície do substrato e facilita a locomoção por rastejamento realizada por esses animais.

14. A

Eponjas (poríferos) e mexilhões (moluscos bivalves) são animais aquáticos que obtêm seu alimento pela filtração da água. Por esse motivo, são bons bioindicadores, uma vez que acumulam poluentes em suas células e tecidos. No caso das esponjas, esse grupo não tem tecidos.

15. C

Em sua maioria, os moluscos apresentam simetria bilateral ou uma variação dela. Não há moluscos com simetria radial. A concha dos moluscos tem composição calcária (carbonato de cálcio).

16. a) Caracol (classe Gastropoda – II), polvos e lulas (classe Cephalopoda – III) são moluscos que têm rádula. Ostras, mariscos e mexilhões (classe Bivalvia – I) são moluscos que não têm rádula.

b) Bivalves são animais aquáticos. A maioria deles é filtradora, alimentando-se de partículas de substrato (como o plâncton) em suspensão na água. A água entra pelo sifão inalante, e o muco nas brânquias retém as partículas de alimento. Elas são filtradas e levadas pelos cílios das brânquias até a boca do animal, na qual são ingeridas.

c) Os bivalves fazem parte da base de muitas cadeias alimentares marinhas. Como são animais filtradores, podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade da água, na medida em que concentram toxinas e poluentes presentes na água.

17. a) (04).

b) (01) Incorreta. Apenas moluscos bivalves têm sifões inalantes e exalantes. (02) Incorreta. A excreção por nefrídios ou metanefrídios é uma característica comum a todos os moluscos. (08) Incorreta. A maioria dos moluscos apresenta sistema circulatório aberto, com exceção da classe dos cefalópodes (polvos, lulas e náutilos), cujo sistema circulatório é fechado.

Estudo para o Enem

18. D

As minhocas, que pertencem ao filo Annelida, realizam respiração cutânea. Para facilitar as trocas gasosas, sua pele se mantém úmida em virtude da secreção de fluído celomático. O semiárido nordestino possui um baixo regime de chuvas e altas temperaturas, características que dificultam a manutenção do solo úmido e facilitam a perda de água do corpo da minhoca para o ambiente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. A

A fecundação cruzada entre animais hermafroditas aumenta a variabilidade genética em relação à autofecundação, uma vez que o descendente herda metade do material genético de cada progenitor. Assim, animais que se reproduzem dessa forma geram descendentes com mais chances de sobrevivência em ambientes que sofrem alterações.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.

20. E

Espécies invasoras não têm predadores nem patógenos naturais nos novos ecossistemas em que são introduzidas. Dessa forma, geralmente crescem descontroladamente no novo ambiente. Muitas vezes competem por alimento e espaço com espécies nativas, as quais podem ser levadas à extinção. Além disso, podem causar danos socioambientais e econômicos.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

MATERIAL DE USO EDUCATIVO
SISTEMA DE ENSINO DOMESTICO

11 ARTRÓPODES E EQUINODERMOS

Comentário sobre o módulo

O filo Arthropoda apresenta grande diversidade e compreende cinco subfilos com representantes terrestres, alados e marinhos. Neste módulo, foram apresentadas as principais novidades evolutivas do grupo, como o exoesqueleto quitinoso, a segmentação corporal e a fusão de tagmas com apêndices articulados, além da relação destas características com o sucesso evolutivo do grupo.

Os atributos morfológicos de fácil identificação foram destacados para os cinco subfilos de artrópodes, como os dois pares de asas encontrados em representantes dos Hexapoda (classe Insecta), o tronco multisegmentado característico dos quilópodes, a cutícula endurecida, as adaptações encontradas nos crustáceos que permitiram o domínio no ambiente marinho, e a presença de estruturas inoculadoras de veneno em aracnídeos.

Equinodermos são animais triblásticos, enterozoários completos, deuterostômios e celomados (entrocélicos).

O corpo dos equinodermos está disposto ao longo de um eixo oral-aboral; não possuem cabeça diferenciada; têm endoesqueleto (esqueleto interno de origem mesodérmica) calcário, constituído de placas ou ossículos.

Equinodermos adultos apresentam simetria radial, geralmente sendo possível dividir seu corpo em cinco partes semelhantes (pentarradial). Já as larvas possuem simetria bilateral.

Nos equinodermos, o celoma está subdividido internamente, fazendo parte de um sistema de canais e estruturas na superfície do corpo que forma o sistema ambulacrário, também chamado de sistema hidrovascular.

O sistema hidrovascular desempenha um grande número de funções, como locomoção, xação ao substrato, captura de presas, distribuição de substâncias, excreção.

Para ir além

Nesse artigo é discutida a interação ecológica entre abelhas e fungos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/abelha-sem-ferrao-nativa-do-brasil-cultiva-fungo-para-sobreviver/22113/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Confira o artigo completo citado na introdução deste módulo. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mudancas-no-uso-da-terra-afetam-a-biodiversidade-e-o-solo-afirma-estudo/24093/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. A

(II) Incorreta. Os representantes do grupo dos aracnídeos não possuem asas e são terrestres. No entanto, o grupo dos insetos é bastante diverso, de modo que são os únicos invertebrados capazes de voar, mas existem representantes sem asas, como as baratas e as formigas.

8. A

O animal fóssil mostrado na figura é um trilobita, pertencente ao filo dos artrópodes; a metameria (segmentação) e a organização do corpo em tagmas podem ser identificadas na própria imagem. Apresenta simetria bilateral, com eixo ântero-posterior bem definido. Esse tipo de simetria não ocorre em poríferos (sem simetria), cnidários (simetria radial), nem em equinodermos adultos (simetria radial ou pentarradial; a fase larval do grupo possui simetria bilateral).

9. A curva que representa corretamente o crescimento dos insetos é a B, pois há períodos de crescimento, que ocorrem quando os artrópodes (insetos) trocam seu exoesqueleto (muda ou ecdise), intercalados por períodos em que não ocorre o crescimento do animal (estase). Isso acontece porque, à medida que o exoesqueleto substituído endurece, o crescimento do animal é impedido. Já a curva A representa um crescimento contínuo ao longo do tempo, que é a forma de crescimento típico da maioria dos demais grupos de animais não artrópodes.

10. D

Os insetos e miriápodes realizam a troca de gases pelo sistema traqueal; aracnídeos têm respiração filotraqueal; crustáceos possuem respiração branquial.

11. a) O larvicida deve ser colocado em água parada, local onde o *Aedes aegypti* deposita seus ovos, os quais posteriormente se transformam em larvas. Os mosquitos são insetos holometábolos (como borboletas e mariposas) e se desenvolvem por metamorfose completa, que consiste em um ciclo de vida contendo as fases de ovo, larva, pupa (casulo) e adulto (imago).

b) Sim. Os insetos possuem respiração traqueal, que consiste em orifícios na parede do corpo conectados a um sistema de canais internos (traqueias) que levam o ar atmosférico diretamente até os tecidos e as células. O bloqueio dos espi-

ráculos impede que os mosquitos realizem trocas gasosas e, conseqüentemente, morram.

12.48 (16 + 32)

(01) Incorreto. A disseminação do vírus Zika ocorreu pelo deslocamento de humanos infectados.

(02) Incorreto. A origem do vírus Zika se deu em ilhas do oceano Pacífico (informado na parte superior esquerda da figura).

(04) Incorreto. Somente as fêmeas do mosquito são hematófagas, portanto só elas podem transmitir o vírus de uma pessoa para outra por meio de picada.

(08) Incorreto. Os mosquitos são insetos holometábolos, apresentando metamorfose completa; porém também há insetos ametábolos (sem metamorfose), e insetos hemimetábolos (com metamorfose parcial ou incompleta).

(64) Incorreto. Não há coincidência temporal entre a época da detecção do vírus Zika no Nordeste brasileiro (meados de 2013) e a ocorrência de casos de microcefalia em Porto Rico.

13. a) O carrapato pertence ao grupo dos aracnídeos (aranhas, escorpiões, ácaros), que faz parte do filo dos artrópodes. Entre as características exclusivas dos artrópodes, podem ser citadas: pernas e demais apêndices articulados; corpo segmentado organizado em tagmas (conjuntos de segmentos unidos); e exoesqueleto de quitina.

b) O agente etiológico, ou seja, o causador da doença é a bactéria *Borrelia burgdorferi*; o vetor (transmissor) da doença de Lyme é o carrapato-estrela (*Amblyomma cajennense*) e os hospedeiros geralmente são os animais domésticos (mamíferos como cachorros e gatos) e, excepcionalmente, o ser humano.

14. B

A rádula é uma estrutura usada na alimentação que está presente na maioria dos moluscos. A maioria dos moluscos também possui um esqueleto externo, de constituição calcária (concha), mas, na maioria das espécies em que está presente, a concha não chega a ser um revestimento completo do corpo. O sistema ambulacrário, que desempenha várias funções (entre elas, a locomoção), é uma característica exclusiva dos equinodermos. Os artrópodes (crustáceos, insetos) possuem o corpo todo revestido por um exoesqueleto de quitina.

15. B

Estrelas-do-mar e ouriços-do-mar possuem a boca voltada para o substrato. Os braços das estrelas-do-mar não são ramificados.

Nos lírios-do-mar (crinoides), a boca e o ânus estão localizados na região oposta ao substrato.

Nos ouriços-do-mar (equinoides), a boca está localizada na região central do disco e não há tentáculos ao redor da boca.

Os pepinos-do-mar (holoturoides) possuem o corpo alongado em forma de tubo, com a boca localizada em uma das extremidades, portanto, paralela ao substrato.

16. a) O animal pertence ao filo dos equinodermos. Entre os representantes mais conhecidos do grupo, estão as estrelas-do-mar (classe Asterozoa) e os ouriços-do-mar (classe Echinozoa).

b) Os equinodermos são animais dioicos (sexos separados), realizam fecundação externa e apresentam desenvolvimento indireto, pois, ao longo de seu desenvolvimento, passam por um estágio larval.

17. Não. A simetria radial dos equinodermos adultos é secundária porque suas larvas são bilateralmente simétricas, o que reflete sua descendência de ancestrais bilateralmente simétricos.

Estudo para o Enem

18. E

Os mosquitos hematófagos produzem substâncias anticoagulantes que evitam a coagulação do sangue do qual se alimentam e o entupimento da probóscide (aparelho sugador dos mosquitos). Anticoagulantes naturais despertam grande interesse da indústria farmacêutica, pelo desenvolvimento de fármacos para o tratamento de trombozes, varizes etc.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias-primas ou produtos industriais.

19. D

(I) Incorreta. A dengue é causada por um vírus, e a febre maculosa por bactéria (tradicionalmente incluídas no reino Monera).

(II) Incorreta. O vetor da dengue (*Aedes aegypti*) é um mosquito, um artrópode do grupo dos insetos; o vetor da febre maculosa é um carrapato, um artrópode do grupo dos aracnídeos.

(IV) Incorreta. Os antibióticos combatem apenas infecções bacterianas.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. D

O sistema ambulacrário ou hidrovacular é uma característica exclusiva dos equinodermos (estrelas-do-mar, ouriços-do-mar). O esqueleto calcárioo dos equinodermos é interno (endoesqueleto). A

produção de concha é uma característica dos animais do filo dos moluscos. A notocorda não é uma característica encontrada entre os equinodermos. A reprodução dos equinodermos é sexuada, com fecundação interna e desenvolvimento indireto.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

12 CORDADOS E PEIXES

Comentário sobre o módulo

Os cordados compreendem um grupo bastante diversificado de animais que fazem parte do clado dos deuterostômios. Todos os cordados apresentam, em pelo menos um estágio do desenvolvimento, notocorda, tubo nervoso dorsal, fendas faríngeas, cauda pós-anal e endóstilo. O filo Chordata compreende três subfilos: Cephalochordata (anfioxos), Urochordata (tunicados ou ascídias) e Vertebrata.

O anfioxo é o representante típico dos cefalocordados e, durante toda a sua vida, estão presentes as cinco características típicas dos cordados. As ascídias, representantes dos urocordados, apresentam apenas as fendas faríngeas e o endóstilo na forma adulta. Os vertebrados, subfilo que reúne os animais mais conhecidos (peixes, rãs, cobras, aves, humanos e baleias), apresentam como novidades evolutivas o crânio, o cérebro tripartido e as vértebras.

Os agnatos atuais (lampreias e peixes-bruxa), também chamados de ciclóstomos (boca circular), são desprovidos de mandíbula. São conhecidos, inclusive, como peixes sem mandíbula. O surgimento da mandíbula e de nadadeiras pares foi fundamental para o sucesso evolutivo dos gnatostomados, os quais se diferenciaram nas linhagens dos peixes cartilaginosos (condrictes), dos peixes de nadadeiras raiadas (actinoptérgeos), do celacanto e dos peixes pulmonados e dos tetrápodes (anfíbios, répteis e mamíferos). Enquanto os agnatos têm apenas nadadeiras ímpares e pouco desenvolvidas, os gnatostomados apresentam nadadeiras pares (pélvicas e peitorais). Essas estruturas proporcionam maior habilidade no deslocamento e auxiliam na fuga de predadores e na captura de presas. A evolução da mandíbula possibilitou a esses peixes capturarem e se alimentarem de presas maiores, o que aumentou a variedade de alimentos a que poderiam ter acesso. Isso conferiu importante vantagem adaptativa dos gnatostomados em relação aos agnatos.

Para ir além

Artigo sobre a evolução dos cordados e dos vertebrados. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/segredos-da-evolucao/9002/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Texto da Agência Fapesp sobre a biologia e a diversidade das ascídias. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/pesquisadores-descrevem-cinco-novas-especies-de-invertebrados-marinhos/20723/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Este texto discorre sobre a evolução dos pulmões no ancestral do celacanto e dos tetrápodes. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/sim-nos-temos-pulmao/>>

Acesso em: fev. 2019.

No link a seguir, é possível ter acesso a estudos científicos no Brasil que visam à conservação dos tubarões. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/pesca-que- protege-tubaroes-ehumanos/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Este texto aborda a descoberta de uma espécie de peixe que vive em cavernas. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/peixe-das-cavernas/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A presença de fendas faríngeas nos embriões de mamíferos não é uma evidência de que os representantes desse grupo passam por uma fase de peixe durante seu desenvolvimento embrionário, mas sim de que peixes e mamíferos descendem de um ancestral comum, compartilhado por todos os cordados.

8. A

(II) Incorreta. No anfioxo, as trocas gasosas ocorrem por difusão pela superfície do corpo.

(IV) Incorreta. Nos vertebrados com mandíbulas (Gnatostomados), a notocorda é substituída pela coluna vertebral, restando apenas pequenos remanescentes da notocorda entre as vértebras ou dentro delas.

9. 03 (01 + 02)

(04) Incorreta. Os hemicordados (balanoglossos) já foram classificados como pertencentes ao filo dos cordados em razão da presença de uma estrutura que foi confundida com a notocorda dos cordados. Atualmente, juntamente com os equinodermos, são considerados o grupo-irmão (mais aparentado) do filo dos cordados.

(08) Incorreta. Entre os cordados, somente o anfioxo (cefalocordados) apresenta notocorda e as outras características típicas dos cordados na fase adulta (tubo nervoso dorsal, fendas faríngeas, cauda pós-anal, endóstilo).

10. a) (04) e (08).

b) (01) Nas ascídias, representantes dos urocordados, os indivíduos são hermafroditas (monoicos), possuem fecundação cruzada e externa, e desenvolvimento indireto.

(02) Nos cefalocordados (anfioxos), os sexos são separados (dioicos) e a fecundação é externa. O desenvolvimento é indireto.

11. Característica I: presença de mandíbula, característica compartilhada por todos os animais Gnathostomados, que estão representados no cladograma pela perca, anfíbios (salamandra), répteis (lagarto, crocodilo e pombo) e mamíferos (camundongo e chimpanzé).

Característica II: presença de garras ou unhas, característica compartilhada por répteis e mamíferos (ausente em lampreias e percas).

Característica III: escamas queratinosas, característica compartilhada pelos répteis (lagarto, crocodilo e pombo).

12. C

Nos peixes cartilaginosos, os fluidos corporais chegam a ser ligeiramente hipertônicos (mais concentrados) em relação à água do mar. Desse modo, esses animais absorvem água do meio por osmose. Os rins, então, eliminam o excesso de água pela urina.

13. 30 (02 + 04 + 08 + 16)

(01) Incorreta. Embora a maioria dos actinoptérgios tenham escamas, há alguns grupos de espécies com a pele nua, como os bagres e as enguias.

14. a) (01), (02) e (04).

b) (08) O endoesqueleto dos condrictes é cartilaginoso.

(16) Os condrictes são classificados em dois grupos: Holocephalii (holocéfalos), que inclui as quimeras, e Elasmobranchii (elasmobrânquios), que inclui os tubarões e as raias.

15. B

(I) Incorreta. A eliminação de sais pelas brânquias ocorre de forma ativa, com gasto de energia.

(IV) Incorreta. A absorção de água acontece de modo passivo.

16. a) I e III.

b) (II) Os condrictes ou peixes cartilaginosos (tubarões, raias e quimeras) não têm bexiga natatória.

(IV) Existem tubarões de pequeno porte, como os cações.

17. C

(II) Incorreta. Peixes cartilaginosos não apresentam nadadeiras articuladas com amplo movimento.

(III) Incorreta. Peixes ósseos atuais têm bexiga natatória, estrutura que regula a densidade do animal e é responsável pelo deslocamento vertical do animal na coluna-d'água.

Estudo para o Enem

18. C

Os animais representados na filogenia são vertebrados (subfilo Vertebrata ou Craniata), que fazem parte do filo dos cordados. Todos os cordados (Urochordata, Cephalocordata e Vertebrata) descendem de um ancestral comum e, por isso, compartilham as características notocorda, fendas faríngeas, tubo nervoso dorsal oco, cauda pós-anal e endóstilo.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

19. A

A piracema é um evento do ciclo reprodutivo de muitos peixes brasileiros, os quais sobem até as cabeceiras dos rios, enfrentando a correnteza, para se reproduzirem. Esse movimento é dificultado pela construção de barragens, que utilizam o potencial hídrico dos rios para a geração de energia ou para o consumo humano. Assim, elas se tornam uma barreira física para a reprodução dessas espécies de peixes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

20. A

O coração dos peixes cartilaginosos e ósseos tem duas cavidades (um átrio e um ventrículo). Ele bombeia o sangue venoso (pobre em oxigênio) para as brânquias, nas quais é oxigenado. Das brânquias o sangue flui para todos os tecidos do corpo do animal. Esse é um tipo de circulação simples e fechado.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

13 ANFÍBIOS E RÉPTEIS

Comentário sobre o módulo

Após a colonização do ambiente terrestre, os primeiros tetrápodes diversificaram-se em diferentes linhagens, originando anfíbios, répteis e mamíferos. No entanto, a maioria dos primeiros tetrápodes (mais antigos) provavelmente permaneceu fortemente associada a ambientes aquáticos, característica que está presente na maioria dos membros do grupo de tetrápodes atuais (vivos), os anfíbios. Atualmente a diversidade de anfíbios está ameaçada em virtude de alterações em seu ambiente e da ação de parasitas.

O grupo dos répteis, como era tradicionalmente reconhecido, não incluía as aves, o que o tornava sem validade na classificação biológica, uma vez que atualmente a descendência das aves a partir dos répteis arcossauros é bem conhecida. Assim, para ser aceito como um grupo monofilético, o termo répteis deve incluir as tartarugas, os lagartos, as serpentes, os crocodilianos e as aves. Os répteis estão entre os primeiros vertebrados adaptados à vida em locais secos na Terra. Atualmente, são conhecidas cerca de 10 mil espécies de répteis não avianos, a maioria delas de lagartos e serpentes.

Para ir além

Neste artigo da Agência Fapesp, discute-se o impacto das mudanças climáticas na diversidade de anfíbios do Brasil. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mudancas-climaticas-devem-reduzir-especies-de-anfibios-da-mata-atlantica/18627/>>.

Acesso em: fev. 2019.

A evolução dos primeiros tetrápodes é o tema deste artigo da revista *Ciência Hoje*. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/coluna/os-primeiros-tetrapodes/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Pesquisadores catalogaram recentemente um anfíbio que brilha no escuro. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/13/anfibio-noturno-brilha-no-escuro/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Pesquisadores identificam a origem do fungo assassino dos anfíbios. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/05/15/pesquisadores-identificam-origem-de-fungo-assassino-de-anfibios/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Neste artigo é discutida a definição do grupo chamados de dinossauros e como ocorreu sua origem e dispersão. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/coluna/como-surgiram-os-dinossauros/>>.

Acesso em: abr. 2019.

A pesquisa de uma cientista brasileira tem ajudado a compreender como ocorreu a perda de membros das serpentes. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/pesquisa-explica-como-as-cobras-perderam-os-membros/29482/>>.

Acesso em: abr. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Os anfíbios são vertebrados ectotérmicos, ou seja, não possuem a capacidade de regular sua temperatura corporal em relação à variação da temperatura do ambiente. Dessa forma, temperaturas muito altas ou muito baixas limitam sua sobrevivência. Além disso, sua pele fina, úmida, ricamente vascularizada e permeável, com pouca queratinização, associada à sua respiração cutânea, aumenta o risco de desidratação e a susceptibilidade à morte em ambientes quentes e secos.

8. a) Desenvolvimento dos pulmões para utilizar oxigênio do ar; adaptação da epiderme com glândulas capazes de manter a pele constantemente úmida; desenvolvimento de membros para locomoção.

b) Apoda: ausência de membros locomotores; corpo cilíndrico; olho vestigial. Urodela: cauda desenvolvida no adulto. Anura: sem cauda na fase adulta; membros posteriores adaptados para o salto.

9. B

Com a eliminação de espécies de anfíbios que predam mosquitos, tanto na fase adulta quanto na fase larval, ocorre um desequilíbrio ecológico. Os mosquitos, então, tendem a se proliferar. Com o aumento da população de mosquitos, as doenças transmitidas por esses vetores tendem a crescer também.

10. a) (01), (02) e (04).

b) (01) Nos peixes adultos, a notocorda é substituída pela coluna vertebral. Nem todos os peixes possuem cloaca e fecundação externa. Condrictes (tubarões e raias), por exemplo, têm fecundação interna.

(02) Os cordados apresentam cordão nervoso dorsal. Cefalocordados (anfioxos) e urocordados (ascídias ou tunicados) não têm cérebro.

(04) O coração de um anfíbio adulto apresenta dois átrios e um ventrículo. Nele ocorre a mistura entre os sangue venoso e arterial.

11.03 (01 + 02)

(04) Incorreta. Anfíbios aquáticos e estágios larvais apresentam respiração cutânea e branquial. Os adultos terrestres têm respiração cutânea e pulmonar.

(08) Incorreta. Os anuros (sapos, rãs e pererecas) adultos são carnívoros. A maioria das larvas (girinos) apresentam hábito alimentar herbívoro, mas também há espécies carnívoras. As salamandras são carnívoras.

12. B

A pele dos anfíbios é fina e permeável, o que possibilita a respiração cutânea, por meio de troca difusa de gases. Se sal for jogado na pele de um girino, será observada a saída de água do corpo pela diferença de osmolaridade do meio interno para o meio externo, causando a morte do animal.

13. D

A circulação é fechada, dupla e incompleta na maioria dos répteis não avianos, com o coração apresentando três câmaras: dois átrios e um ventrículo parcialmente dividido por um septo interventricular (septo de Sabatier). A exceção são os répteis crocodilianos, que apresentam circulação fechada, dupla e completa, com coração dividido em dois átrios e dois ventrículos completamente separados.

14. E

O ovo amniótico dos répteis, com casca e anexos embrionários (cório, âmnio e alantoide), herdado dos amniotas ancestrais, foi um dos fatores fundamentais para a conquista dos ecossistemas terrestres pelo grupo. Essas características asseguraram a independência da água para a reprodução dos répteis (proteção e resistência dos ovos e embriões contra o ressecamento em ambientes secos).

15.14 (02 + 04 + 08)

(01) Incorreta. A serpente é um réptil ectotérmico, ou seja, incapaz de regular internamente sua temperatura corporal (não produz calor). Assim, ambientes com temperaturas muito altas ou muito baixas são fatores limitantes para a sobrevivência dos répteis ectotérmicos (répteis não avianos). As aves são répteis endotérmicos, pois conseguem controlar a temperatura do corpo.

(16) Incorreta. Conforme a população de ratos na cidade cresce, a resistência do meio também aumenta, na medida em que diminui a disponibilidade de alimento, abrigo, espaço e outros recursos importantes para a sobrevivência e reprodução dos indivíduos da população, o que leva ao aumento da competição intraespecífica e, conseqüentemente, à mortalidade.

16. C

(I) Incorreta. Membros com dígitos ou patas (que são pernas locomotoras) e respiração pulmonar são características já presentes no ancestral dos tetrápodes.

(II) Incorreta. Anfíbios também são animais ectotérmicos que apresentam circulação fechada dupla (circuito pulmonar e sistêmico).

17.12 (04 + 08)

(01) Incorreta. Cnidários não possuem sistema circulatório.

(02) Incorreta. Répteis possuem sistema digestório completo, respiração pulmonar e endoesqueleto ósseo.

(16) Incorreta. A excreção dos anelídeos é realizada através de nefrídios (metanefrídios).

(32) Incorreta. Anelídeos apresentam circulação fechada e não possuem coração com quatro cavidades.

(64) Incorreta. Equinodermos possuem endoesqueleto formado por placas calcárias de origem embrionária mesodérmica.

Estudo para o Enem**18. C**

Anfíbios (sapos, salamandras e cecílias) são vertebrados ectotérmicos, ou seja, são incapazes de regular sua temperatura corporal. Dessa forma, regiões de clima mais frio restringem sua distribuição geográfica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

19. B

O aumento das vilosidades intestinais aumenta a área superficial de contato com o alimento no intestino, facilitando a absorção dos nutrientes.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20.D

A aplicação (borrifo) hipotética do desodorante antitranspirante no corpo da lagartixa não teria consequências e o animal sobreviveria, pois os répteis não possuem glândulas sudoríparas; já a barata morreria em virtude da obstrução de seu sistema respiratório traqueal, cujas aberturas (espiráculos) para o exterior estão distribuídas pela superfície corpo, impedindo as trocas gasosas.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

14 AVES E MAMÍFEROS

Comentário sobre o módulo

O grupo dos répteis Archosauria originaram os crocodilianos, os pterossauros (grupo extinto na Era Mesozoica com os demais dinossauros não avianos), e os dinossauros saurísquios (grupo do qual evoluíram as aves modernas há cerca de 160 milhões de anos). Atualmente as aves compreendem o grupo de maior diversidade de vertebrados terrestres, com mais de 10 mil espécies conhecidas.

A capacidade de voo das aves só foi possível em razão do surgimento de uma série de adaptações ao longo da história evolutiva do grupo: ossos pneumáticos, redução e fusão de ossos, sacos aéreos, ausência de bexiga urinária e de grande parte do intestino grosso, músculos peitorais desenvolvidos, visão desenvolvida, asas e penas.

Os mamíferos descendem de um grupo de tetrápodes amniotas conhecidos como sinapsídeos. A classe dos mamíferos compreende cerca de 5 600 espécies conhecidas, que ocupam os mais variados ambientes: água doce (peixe-boi), mar (golfinho, baleia), ar (morcego) e terra (a maioria deles). Entre as novidades evolutivas dos mamíferos, estão o corpo total ou parcialmente coberto por pelos; glândulas mamárias, sebáceas e sudoríparas; diafragma e dentes diferenciados. Os mamíferos compreendem três grupos (subclasses): os prototérios ou monotremados (ornitorrinco, equidna), animais que põem ovos (ovíparos), do mesmo modo que os amniotas ancestrais e os répteis; os metatérios ou marsupiais (gambás, cangurus), animais vivíparos que apresentam uma bolsa ou marsúpio onde o embrião completa seu desenvolvimento; e os eutérios ou placentários, mamíferos vivíparos que apresentam placenta e compreendem a maioria das espécies de mamíferos.

Para ir além

Com base em estudos do crânio de *Archaeopteryx*, cientistas estão conhecendo melhor o olfato dos dinossauros e de outros répteis já extintos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/cheiros-jurassicos/9706/>>.

Acesso em: abr. 2019.

A poluição tem afetado a construção de ninhos de aves marinhas. Leia sobre o tema no *link*. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/estranho-no-ninho-2/>>.

Acesso em: abr. 2019.

Neste estudo, cientistas investigaram como os dedos dos dinossauros evoluíram para as asas das aves. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/dedos-da-evolucao/10652/>>.

Acesso em: abr. 2019.

Neste artigo é discutida a evolução dos primeiros mamíferos, desde os pelicossauros. Disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/coluna/antes-dos-dinossauros/>>.

Acesso em: abr. 2019.

Um estudo recente descobriu que o mamífero brasileiro mais antigo de que se tem conhecimento viveu no mesmo período que os dinossauros. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/mamifero-mais-antigo-do-brasilviveu-no-tempo-dos-dinossauros/27916/>>.

Acesso em: abr. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Todas as características mencionadas nas alternativas são encontradas nas aves, com exceção do lado de curvatura da artéria aorta. Nas aves, a curvatura do arco aórtico é pelo lado direito. Nos mamíferos, essa curvatura é pelo lado esquerdo.

8. D

Não há espécies ou grupos de organismos mais evoluídos que outros. Existem animais que fazem parte de grupos mais antigos ou de grupos mais recentes em termos de surgimento ao longo da história evolutiva. Todos os organismos são uma combinação de características antigas (herdadas há mais tempo) e de novidades evolutivas (herdadas de ancestrais há menos tempo).

9. 14 (02 + 04 + 08)

(01) Incorreta. As pombas excretam o ácido úrico, resíduo nitrogenado que é pouco tóxico e que pode ser eliminado utilizando-se uma pequena quantidade de água. O resíduo nitrogenado excretado pelas aves é uma adaptação à vida terrestre (economia de água) e ao voo (redução do peso).

10. Entre essas características, estão a presença de um ovo amniótico (contendo anexos embrionários) com casca dura e resistente (novidades evolutivas compartilhadas por todos os répteis, grupo monofilético que inclui as aves) e a excreção de resíduos nitrogenados na forma de ácido úrico. Essas características estão associadas à economia de água.

11. 07 (01 + 02 + 04)

(08) Incorreta. As aves são animais endotérmicos, sendo capazes de produzir e manter o calor corporal independentemente da temperatura do ambiente.

(16) Incorreta. As aves (modernas) possuem bico córneo sem dentes. Apenas aves fósseis como o *Archaeopteryx* tinham dentes em seu bico.

12.12 (04 + 08)

(01) Incorreta. As lampreias (e os peixes-bruxa) são vertebrados agnatos ou ciclostomados, isto é, não possuem mandíbula e maxila.

(02) Incorreta. As aves voadoras possuem ossos pneumáticos (preenchidos por ar) e sacos aéreos ligados aos pulmões.

(16) Incorreta. O diafragma, que está associado à ventilação pulmonar, está presente apenas nos mamíferos.

13. O abomaso é o compartimento do estômago dos ruminantes em que ocorre a secreção do suco gástrico, rico em enzimas e ácido clorídrico. Sua principal função é a digestão de proteínas pela enzima pepsina. Dessa forma, desempenha papel análogo ao do estômago humano.

14. D

O cladograma evidencia que todos os primatas têm ancestral comum. Em outras palavras, o gibão compartilha, não só com o ser humano, mas com todas as espécies representadas, o mesmo ancestral. No cladograma não há nenhuma informação sobre quais espécies poderiam ser consideradas como membros de uma mesma família.

15. C

Entre as características compartilhadas pelos mamíferos, podem ser citadas: glândulas mamárias; músculo diafragma associado à respiração; corpo total ou parcialmente recoberto por pelos; glândulas sudoríparas e sebáceas; dentes diferenciados em incisivos, caninos, pré-molares e molares.

16. C

As lagostas, abelhas e formigas são artrópodes, portanto, apresentam exoesqueleto quitinoso que é substituído periodicamente durante a muda ou ecdise, o que permite o crescimento dos animais. As toupeiras e as focas-elefante são mamíferos placentários ou eutérios, com respiração exclusivamente pulmonar.

17. A

Os mamíferos compartilham diversas características, como: glândulas sudoríparas (termorregulação e eliminação de toxinas); glândulas sebáceas (secreção de lipídios); glândulas mamárias (secreção de leite); dentes especializados em incisivos (cortar), caninos (rasgar), pré-molares e molares (mastigar); músculo diafragma que participa da respiração; cuidado parental (particularmente o cuidado materno). Os mamíferos são endotérmicos, e a ureia é o principal excreta nitrogenado.

Estudo para o Enem**18.** E

A secreção oleosa, quando espalhada nas penas, impermeabiliza essa estrutura, impedindo que

fique encharcada. Isso faz com que o animal apresente maior facilidade para flutuar, além de diminuir a perda de calor.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. D

A maior similaridade genética é encontrada entre os seres humanos, os chimpanzés e os bonobos. No cladograma representado, o ser humano compartilha um ancestral comum mais recente com o chimpanzé e com o bonobo (também conhecido como chimpanzé-pigmeu) do que com o orangotango e o gorila; por isso o maior parentesco entre estas espécies. Vale ressaltar que há estudos filogenéticos mais recentes em que os bonobos foram reconhecidos como a espécie-irmã do ser humano.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. A

Todos os mamíferos são endotérmicos e apresentam sistema circulatório fechado, duplo (um circuito pulmonar e um circuito sistêmico) e completo (sem mistura de sangue arterial e de sangue venoso). As glândulas mamárias (exclusiva dos mamíferos) têm origem ectodérmica. Nos mamíferos, assim como na maioria dos cordados vertebrados, a notocorda é substituída pela coluna vertebral, principal estrutura de sustentação do corpo. A glândulas uropigianas são encontradas nas aves.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

BIOLOGIA 3

BLEND IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



9 SISTEMA RESPIRATÓRIO E SISTEMA CIRCULATÓRIO COMPARADO

Comentário sobre o módulo

Em Biologia, o termo **respiração** pode se referir à respiração celular, que consome oxigênio, e à respiração externa, em que ocorrem as trocas gasosas entre a atmosfera e as células. Esse processo inclui ventilação, troca de gases e transporte de gases no sangue (no caso dos animais de sistema circulatório fechado). Embora a teoria apresente os órgãos que compõem o sistema respiratório de maneira generalizada, este pode ser dividido em trato respiratório superior (boca, cavidade nasal, faringe e laringe) e trato respiratório inferior (traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos).

A abordagem comparativa entre os diferentes sistemas circulatórios é citada com enfoque no desenvolvimento de estruturas e adaptações fisiológicas. A evolução da circulação fechada, que relaciona a anatomia e a fisiologia com o sistema respiratório, é tratada para a melhor compreensão das diferentes estruturas que o compõem. O conteúdo também cita a associação entre o sistema respiratório e o sistema circulatório, que faz o transporte de seus gases juntamente com as demais substâncias sanguíneas.

Para ir além

O Instituto Nacional do Câncer (Inca) disponibiliza o texto sobre o tabagismo em que o considera como uma doença crônica gerada pela dependência da nicotina. Disponível em:

<http://www1.inca.gov.br/situacao/arquivos/causalidade_tabagismo.pdf>.

Acesso em: fev. 2019.

O efeito de elevadas altitudes para a respiração humana pode ser compreendido em uma matéria da *Superinteressante*. Disponível em:

<<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quais-sao-os-efeitos-da-altitude-no-corpo-humano/>>.

Acesso em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. B

O esticamento da borracha corresponde à contração do músculo diafragma, sob comando de neurônios situados no bulbo, quando ocorre uma ligeira queda no pH do sangue em função da formação de ácido carbônico no plasma.

8. E

Todos os itens estão corretos e relacionados ao controle da respiração humana.

9. a) Os músculos que participam diretamente dos movimentos que levam à ventilação pulmonar são os intercostais, abdominais e o diafragma.

b) No acidente descrito, a perfuração no tórax comprometeu a ventilação pulmonar porque as pressões intrapulmonar e atmosférica se igualaram.

10. D

No processo de inspiração, a musculatura intercostal e o músculo diafragma se abaixam, contraindo e aumentando o volume da caixa torácica, o que permite a entrada de ar nos pulmões.

11. O CO_2 no sangue é importante para regular o equilíbrio ácido-base. Quando há excesso de gás carbônico, o sangue fica ácido pelo aumento de H^+ , que ativa quimiorreceptores do bulbo. Assim, aumentam a amplitude e os movimentos respiratórios, eliminando maior quantidade de CO_2 , equilibrando o pH sanguíneo.

12. a) o sangue venoso presente na cavidade X (átrio esquerdo), da figura II, passa para o ventrículo e é bombeado para os pulmões (circuito 1). O sangue arterial retorna ao coração pela cavidade Z (átrio esquerdo), é bombeado para o ventrículo (Y) e enviado para o circuito 2, correspondente à circulação sistêmica.

b) O sangue venoso presente na cavidade X (átrio direito) é enviado para a cavidade Y (ventrículo direito) e bombeado para as artérias pulmonares, atingindo o circuito 1 (pulmões). O sangue arterial retorna para a cavidade W (átrio esquerdo) e é enviado para a cavidade Z (ventrículo esquerdo), de onde é bombeado para a artéria aorta em direção ao circuito 2, correspondente à circulação sistêmica.

c) Figura II.

d) Figura I: peixes; figura II: répteis não crocodylianos; figura III: mamíferos.

13. 21 (01 + 04 + 16)

Os nematóides são vermes dotados de uma cavidade corpórea pseudocelomática. Os turbelários são animais acelomados. Em um animal com sistema circulatório fechado, o sangue circula do coração para as artérias capilares e para as veias e retorna ao coração.

14. Os peixes, ao contrário da maioria dos demais vertebrados, têm coração com apenas duas cavidades: um átrio e um ventrículo. A circulação nos peixes é simples e completa. Simples, porque o sangue passa pelo coração apenas uma vez em cada circuito completo pelo corpo; e completa, porque não há mistura do sangue pobre em oxigênio com o sangue rico em oxigênio.

gênio com o sangue rico em oxigênio. Somente sangue pobre em oxigênio, vindo do corpo, passa pelo coração. Anfíbios adultos têm coração com três cavidades: dois átrios e um ventrículo. A circulação é dupla e incompleta. Dupla, porque o sangue pobre em oxigênio é bombeado do coração para os pulmões e para a pele, onde será oxigenado; e o sangue rico em oxigênio, em vez de ser enviado diretamente para o corpo, retorna para o coração para ser bombeado para o corpo. Incompleta, porque ocorre a mistura, no coração, do sangue rico com o sangue pobre em oxigênio. Répteis em geral possuem coração com três cavidades e circulação dupla e incompleta, como ocorre com os anfíbios. Crocodilos e jacarés, no entanto, têm o ventrículo completamente separado em duas cavidades (esquerda e direita), o que faz com que a circulação seja considerada completa. Aves e mamíferos apresentam dois átrios e dois ventrículos e a circulação é dupla e completa.

15. A

Os anfíbios possuem uma circulação fechada dupla e incompleta. No coração dos anfíbios adultos ocorre mistura de sangue arterial com venoso.

16. A

As trocas entre os capilares sanguíneos e os tecidos ocorrem porque os capilares são formados por camada tecidual única, isto é, o endotélio é formado por uma camada de células.

17. A artéria aorta corresponde à letra A do gráfico, local onde se desenvolvem os maiores valores de pressão arterial. As grandes veias correspondem à letra E, pois a pressão sanguínea, em seu interior, é baixa.

Estudo para o Enem

18. D

A hipóxia, ou mal das alturas, é causada pela menor saturação da hemoglobina com o gás oxigênio. Em altitudes elevadas, o ar é rarefeito e a pressão parcial do O_2 é menor do que ao nível do mar.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas

à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

19. C

O surgimento da respiração pulmonar em todas as fases do desenvolvimento dos indivíduos é representado pelo número 3. Os répteis foram os primeiros indivíduos a conquistar o ambiente terrestre, e a respiração pulmonar foi um dos fatores importantes para essa conquista. Esse tipo de respiração otimiza as trocas gasosas, propiciando maior quantidade de oxigênio, processo também presente nas aves e mamíferos.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. C

O coração dos vertebrados apresenta estruturas distintas: peixes apresentam duas cavidades (1 átrio e 1 ventrículo), anfíbios três cavidades (2 átrios e 1 ventrículo), répteis não crocodilianos três cavidades (2 átrios e 1 ventrículo, parcialmente dividido), répteis crocodilianos, aves e mamíferos têm quatro cavidades (2 átrios e 2 ventrículos).

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

10 SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO E SISTEMA URINÁRIO

Comentário sobre o módulo

Doenças do sistema cardiovascular (como hipertensão, aterosclerose e insuficiência cardíaca) são alvos de pesquisas, que resultam em avanços na Medicina. Implantes de corações artificiais já são realidade no Brasil, e diversos estudos de tecnologia e inteligência artificial procuram identificar e monitorar doenças cardíacas.

Abordamos em detalhes a distinção entre veias e artérias quanto ao direcionamento do fluxo sanguíneo. Estudamos também as demais estruturas dos sistemas circular e linfático.

A abordagem anatômica e fisiológica do sistema urinário humano é realizada com enfoque na direção do fluxo sanguíneo das artérias e veias e nas funções do sistema renal, o qual, além de eliminar substâncias em excesso, descarta aquelas que são prejudiciais e que resultam de processos metabólicos celulares, como os excretas nitrogenados.

Para ir além

Reportagem da BBC sobre corações artificiais e como pacientes implantados vivem com esse recurso. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-42905447>>.

Acesso em: dez. 2018.

Este texto da revista *Pesquisa Fapesp* trata do sucesso de transplantes de coração desde o início desse tipo de cirurgia. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/04/19/coracoes-trocados/>>.

Acesso em: dez. 2018.

Exercícios propostos

7. C

A pressão hidrostática do sangue é maior nas artérias (vaso B) que nas veias (vaso A), em razão da sístole do ventrículo esquerdo do coração.

8. a) A seta Y representa a válvula atrioventricular direita, que impede o refluxo do sangue para o átrio direito e direciona o sangue para apenas uma direção: do átrio direito para o ventrículo direito. As veias pulmonares desembocam no átrio esquerdo do coração.

b) A estrutura apontada pela seta X corresponde ao septo ventricular (cardíaco), que separa o ventrículo esquerdo do direito e impede que o sangue venoso (pobre em oxigênio) se misture com o sangue arterial (oxigenado).

9. A

A construção de um protótipo de coração humano deverá conter estruturas análogas às válvulas

atrioventriculares, as quais impedem o refluxo de sangue dos ventrículos para os átrios.

10. (01), (02), (04), (08) e (16).

11. A artéria aorta tem o maior diâmetro do corpo humano. Seu rompimento causa um quadro hemorrágico grave. Embora a velocidade de fluxo do sangue em seu interior seja baixa, a pressão exercida em sua parede é muito alta.

12. a) As artérias coronárias são ramificações da artéria aorta que se voltam para o miocárdio. Além disso, transportam um suprimento de sangue arterial, de modo a prover o miocárdio de oxigênio e nutrientes.

b) Por meio da válvula atrioventricular direita (que impede o refluxo de sangue do ventrículo direito para o átrio direito) e da válvula atrioventricular esquerda, também chamada mitral (que impede o refluxo de sangue do ventrículo esquerdo para o átrio esquerdo).

13. C

A liberação do hormônio antidiurético acontece em casos de desidratação e diminuição da pressão arterial, pois atua na reabsorção de água pelos rins. Assim, quando ocorrem vômitos, sua liberação é estimulada, evitando-se perda excessiva de água.

14. Após a meia maratona, verifica-se um aumento na turbidez da urina dos atletas. Isso decorre da diminuição do volume de água eliminada na urina. Durante a corrida, a sudorese é intensa e, conseqüentemente, a neuro-hipófise secreta o hormônio antidiurético (ADH), o qual estimula a reabsorção de água nos túbulos renais, impedindo que o atleta sofra uma desidratação que possa comprometer suas atividades vitais.

15. 29 (01 + 04 + 08 + 16)

Em condições normais, a urina de um indivíduo saudável não revela presença de glicose.

16. a) A ureia é produzida no fígado e é produto do metabolismo especialmente das proteínas (formadas por aminoácidos).

b) Para o aumento do volume sanguíneo, pode ocorrer a liberação do hormônio ADH (que estimula a reabsorção de água pelos néfrons) e de aldosterona (que estimula a reabsorção de sódio e, conseqüentemente, de água). Para a redução da acidose sanguínea, os néfrons excretam grandes quantidades de íons hidrogênio (H⁺), por meio de transporte ativo.

17. a)

Substância	Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração na urina			Concentração no sangue que chega ao néfron relativa à concentração no sangue que deixa o néfron		
	maior	menor	equivalente	maior	menor	equivalente
Aminoácidos	x					x
Glicose	x					x
Ureia		x			x	

b) A água filtrada na cápsula do néfron é reabsorvida passivamente por osmose ao longo dos túbulos renais.

Estudo para o Enem

18. B

A demonstração de William Harvey sugeriu a existência de válvulas no interior das veias que facilitam o retorno em direção ao coração.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

19. C

De acordo com o eletrocardiograma, o paciente apresenta frequência cardíaca abaixo do valor ideal, em torno de 50 batimentos por minuto.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.

20. D

Em situação de risco de desidratação, a ação do hormônio antidiurético (ADH) amplifica a reabsorção de água nos túbulos renais. Consequentemente, os estudantes eliminam urina com menor volume de água e maior concentração de sais minerais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

11 EXCREÇÃO, HOMEOSTASE E SISTEMA IMUNITÁRIO HUMANO

Comentário sobre o módulo

O sistema urinário é responsável por regular a pressão osmótica, o nível de pH e a concentração de íons sanguíneos, fatores imprescindíveis para a manutenção da homeostase.

Neste módulo, ressaltamos a necessidade de relacionar a importância evolutiva do surgimento do sistema urinário à conquista do ambiente terrestre pelos animais. É importante deixar claro que excretas muito tóxicas, como a amônia, apresentam alta solubilidade. Assim, sua eliminação resulta na elevada perda de água. Isso acaba sendo recompensado pela grande ingestão de água dos animais aquáticos. Já os terrestres não podem eliminar tanta água, porque são incapazes de fazer essa compensação. Dessa forma, precisam eliminar excretas menos tóxicas e menos solúveis para economizar água.

Os processos de defesa do corpo humano contra agentes estranhos e infecciosos são realizados pelo sistema imunitário. Ele é quem protege o corpo humano por meio de barreiras físicas, químicas, processos inatórios e a produção de anticorpos específicos para cada antígeno. Os movimentos antivacinas têm crescido em vários países, inclusive no Brasil, o que pode ser um dos motivos para a volta de alguns surtos de doenças, como o sarampo.

Para ir além

No *link* a seguir, confira o caso da espécie de tartaruga que urina pela boca a fim de excretar ureia. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/videos_e_fotos/2012/10/121012_tartaruga_rp>.

Acesso em: mar. 2019.

Leia a respeito da pesquisa sobre a combinação de nanotubos de carbono com chumbo ou pesticidas, a qual potencializa efeitos tóxicos sobre o sistema urinário e a homeostase nos peixes. Disponível em:

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/12/29/interacoes-fatais/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

A ureia é produzida no fígado e é produto do metabolismo, especialmente das proteínas (formadas por aminoácidos). Peixes cartilagosos e mamíferos são animais ureotélicos. Aves e répteis são uricotélicos. Já os peixes ósseos são animais amoniotélicos.

8. C

A maioria dos répteis (incluindo as aves) excreta ácido úrico, que é pouco solúvel em água.

9. a) Os dois grupos de mamíferos excretam, predominantemente, a ureia.

b) Carnívoros estritos. Esses animais excretam mais ureia que os herbívoros estritos, porque ingerem alimento com alto teor de proteínas.

10. B

No peixe A, a excreção de sais pelas brânquias ocorre de forma ativa. No peixe B, a absorção de sais é ativa e a de água é passiva, por osmose.

11. A amônia é um composto nitrogenado muito solúvel e tóxico. Por esse motivo, deve ser eliminada logo após sua produção. Animais que excretam diretamente a amônia vivem normalmente em ambientes aquáticos. Podem-se citar os peixes ósseos e os girinos de anfíbios, os quais excretam amônia principalmente pelas brânquias. Em aves, a ausência de bexiga urinária e a excreção de ácido úrico com as fezes diminuem o peso específico do animal e facilitam o voo. Em répteis, a excreção fecal de ácido úrico resulta em economia de água e melhor adaptação desses animais às regiões áridas.

12. A

Insetos, répteis e aves, por viverem em ambiente terrestre, excretam ácido úrico (baixa toxicidade), insolúvel em água, removido na forma sólida, a fim de economizar água. Invertebrados aquáticos excretam amônia, substância de alta toxicidade e solubilidade. Mamíferos e anfíbios adultos excretam ureia, substância de média toxicidade e solubilidade.

13. A

A vacina contra a dengue contém quatro tipos de antígenos que estimulam a produção de quatro tipos de anticorpos, na resposta imunológica primária.

14. A

O soro antiescorpiônico é uma solução de anticorpos específicos (imunoglobulinas) contra o veneno, extraídos do sangue de cavalos previamente imunizados com o veneno do escorpião.

15. O produto I é o soro antirrábico que contém anticorpos específicos, produzidos pelos equinos que foram previamente hipersensibilizados com o vírus da raiva, cuja finalidade é neutralizar rapidamente esse vírus. O produto II é uma vacina preparada com o vírus da raiva concentrado inativado e purificado. A vacina contém os antígenos que induzem o organismo a produzir anticorpos e linfócitos de memória específicos.

16. C

A queda na cobertura vacinal ao longo dos últimos anos tem sido propiciada pelos movimentos antivacinas pelo mundo. A vacina é o único meio de prevenir diversas doenças, porque contém antígenos que estimulam a resposta imunológica ativa em pessoas saudáveis.

17. a) O sarampo é causado por vírus e transmitido por meio de gotículas exaladas da tosse e/ou secreções nasais e faríngeas dos doentes.

b) As vacinas contêm antígenos atenuados, mortos ou toxoides, que estimulam o organismo a produzir anticorpos e desenvolver linfócitos de memória.

c) Os anticorpos produzidos pela mãe passam para o filho através da placenta e da amamentação.

Estudo para o Enem**18. B**

A maioria dos répteis é terrestre e excreta ácido úrico, substância menos tóxica e que provoca menos perda de água. Os répteis aquáticos, como a tartaruga-marinha, excretam ureia, um composto de média toxicidade.

Competência: Compreender interações entre os organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

19. B

A eliminação de excretas nitrogenadas de forma concentrada é uma estratégia que auxilia na sobrevivência de animais que habitam regiões com restrição hídrica.

Competência: Compreender interações entre os organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

20. D

Os imunobiológicos I e II são compostos de antígenos que estimulam a produção de anticorpos em humanos e animais.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DO USUÁRIO DO SISTEMA DE ENSINO

12 RECOMPOSIÇÃO HISTÓRICA E EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

Comentário sobre o módulo

Como toda teoria científica, a evolução é o resultado de uma construção embasada em um conjunto de conhecimentos científicos relacionados ao longo do tempo e, portanto, passível de mudanças e atualizações. Este módulo diferencia as ideias não evolucionistas baseadas no fixismo das ideias evolucionistas propostas inicialmente por Lamarck e confrontadas por Darwin e Wallace. Neste momento, é feita uma introdução dessas ideias, que servem de base para o estudo que será aprofundado nos próximos módulos.

Por eventualmente esbarrar nas possíveis crenças religiosas, é importante que o professor deixe claro que o objetivo do estudo da evolução não é questionar crenças religiosas, mas sim elucidar a origem e a evolução da vida de acordo com as bases da Ciência.

A evolução biológica não tem um objetivo específico. Estruturas biológicas novas e complexas podem evoluir por causa de uma série de modificações que beneficiam o organismo que as possui. O padrão de evolução, ou seja, a observação da evolução como um processo tem sido diretamente documentada e sustentada por diversas evidências e corrobora a sustentação de argumentos da validade da teoria da evolução quando comparada aos argumentos criacionistas

Para ir além

Nesse artigo, é apresentado um estudo que analisou e comparou genes de primatas, incluindo os humanos. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/selecao-e-evolucao/7012/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Fóssil pode revelar ancestral comum entre humanos e macacos. Disponível em:

<<https://exame.abril.com.br/ciencia/fossil-pode-revelar-ancestral-comum-entre-humanos-e-macacos/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Pele humana como uma evidência de evolução. Disponível em:

<<http://www.comciencia.br/tecnicas-recentes-no-estudo-da-evolucao-ajudam-esclarecer-origem-do-homem-e-ocupacao-do-planeta/>>.

Acesso em: mar. 2019

Exercícios propostos

7. B

Todas as afirmativas estão corretas e relacionadas com o processo evolutivo.

8. A análise dos fósseis revela a modificação das espécies ao longo do tempo; o aumento da comple-

xidade e diversidade; as formas de transição entre dois grupos e a datação em que viveram utilizando elementos radioativos.

9. D

A teoria evolucionista de Charles Darwin propõe que as espécies evoluíram por meio de modificações de ancestrais aparentados entre si. As espécies extintas deixaram descendentes que formaram as espécies atuais.

10. As diferenças genéticas entre os indivíduos de uma população favorecem a atuação da seleção natural e de outros mecanismos evolutivos. Sem essas diferenças, as frequências alélicas não mudam ao longo do tempo e, assim, a população não evolui.

11. V – V – V – V – V

Todas as afirmações estão corretas e correlacionadas ao enunciado da questão.

12. 31 (01 + 02 + 04 + 08 + 16)

Todas as afirmativas estão corretas.

13. D

A analogia relaciona-se à semelhança morfológica de estruturas entre certas espécies, em razão da adaptação a funções semelhantes, porém com origens evolutivas diferentes.

14. A

Todas as alternativas expostas estão corretas.

15. Os órgãos vestigiais, como o apêndice humano e os dentes do siso, mostram as transformações pelas quais o ser humano passa durante a evolução. Os órgãos homólogos em animais diferentes, como os membros dos golfinhos, do cavalo, da ave, do morcego e do ser humano, revelam a mesma origem embrionária e a evolução de um ancestral comum pelo processo de irradiação adaptativa.

16. C

Os fósseis são traços de vida do passado, podendo ser restos (mais comum), evidências ou produtos químicos de seres vivos, comprovando as mudanças (evolução) que ocorreram na Terra.

17. Os órgãos que apresentam a mesma origem embrionária são denominados homólogos. A divergência estrutural observada entre o ancestral e a espécie atual é o resultado da seleção natural diferencial que ocorreu durante a história evolutiva das espécies.

Estudo para o Enem

18. B

Darwin não pode explicar a origem das variações entre os indivíduos porque em sua época não eram conhecidos os princípios genéticos que determinam as diferenças entre os organismos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

19. A

A evolução biológica é um processo contínuo que envolve modificações de características, e os seres humanos estão inseridos nesse contexto natural.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. C

O organismo mostrado na figura pode pertencer à linhagem evolutiva das serpentes. O ancestral comum às serpentes e aos lagartos tinha membros anteriores e posteriores, os quais foram perdidos durante a evolução das linhagens ápodes atuais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

MATERIAL DE USO
SISTEMA DE ENSINO

13 LAMARCKISMO, DARWINISMO E TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

Comentário sobre o módulo

Lamarckismo e darwinismo são temas constantes no Enem e nos principais vestibulares do país. Lei do uso e desuso, herança dos caracteres adquiridos e seleção natural são conceitos fundamentais elucidados neste módulo.

É essencial o entendimento de que, mesmo tendo sido negadas e/ou complementadas com o passar do tempo, no contexto histórico em que foram propostas, essas teorias romperam paradigmas e foram essenciais para a contextualização histórico-social e do repertório dos cientistas em questão do que compreendemos hoje como evolução biológica.

Os principais mecanismos evolutivos que elucidam a teoria sintética da evolução foram abordados neste módulo. Foram enfatizados os tópicos de especiação, tema frequente no Enem e nos principais vestibulares do país. Ao trabalhar em sala esses temas, é importante reafirmar que não existem raças ou subespécies humanas, já que a diferença genética entre dois indivíduos e entre duas populações é ínfima, ou seja, é mais provável que dois europeus tenham mais diferenças genéticas do que um europeu e um africano, por exemplo. Os conceitos de raça e subespécie humana estão arraigados de preconceito e ignorância evolutiva.

Para ir além

Podcast sobre a comparação das teorias de Darwin e de Lamarck com a professora doutora Maria Elice Brzezinski, do Instituto de Biociências da USP. Disponível em:

<<https://alociencia.com.br/podcast/011-darwin-vs-lamarck/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Como uma aldeia no Ártico ajudou a ampliar o que sabemos sobre evolução. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/geral-42420424>>.

Acesso em: mar. 2019.

Cientistas que levaram o processo de seleção artificial para o nível molecular ganham Nobel de Química. Disponível em:

<<https://oglobo.globo.com/sociedade/nobel-de-quimica-vaipara-trio-de-cientistas-domadores-da-evolucao-23122633>>.

Acesso em: mar. 2019.

A reportagem da BBC fala sobre a adaptação das espécies para viverem na cidade. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47477814>>.

Acesso em: mar. 2019.

Estudo aborda a possibilidade de especiação sem barreiras. Disponível em:

<<http://agencia.fapesp.br/especiacao-sem-barreiras/10772/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. E

(I) Incorreta. O surgimento de um indivíduo de olhos brancos em uma linhagem pura de moscas de olhos vermelhos é explicado por uma mutação gênica espontânea.

8. B

Karen foi quem respondeu corretamente, pois, de acordo com o conceito de seleção natural, o meio seleciona os indivíduos, ou seja, espécies com características favoráveis ao ambiente aumentam suas chances de sobrevivência, reprodução e transmissão aos seus descendentes.

9. E

Segundo Lamarck, além do fator tempo, a adaptação dos seres vivos ao ambiente ocorreria por meio das modificações de órgãos, pelo uso e desuso e pela transmissão hereditária de caracteres adquiridos.

10. O nascimento de animais com a pelagem clara na ilha menor ocorreu como consequência do acasalamento de animais heterozigotos (Aa), de modo que a seleção natural determinou a sobrevivência de indivíduos heterozigotos (Aa) e, conseqüentemente, a sobrevivência dos animais cujas variações levaram ao isolamento reprodutivo da ilha maior.

11. A

A afirmação do aluno está incorreta, pois sua explicação baseia-se na lei de uso e desuso, que diz que estruturas que não são usadas com frequência tendem a desaparecer.

12. a) Segundo a teoria lamarckista, as bactérias podem se tornar resistentes para sobreviver a antibióticos e transmitem essa aptidão adquirida aos seus descendentes.

b) Segundo a teoria darwinista, os antibióticos selecionam as variedades bacterianas naturalmente resistentes a eles, eliminando as variedades sensíveis.

13. A

São fatores evolutivos que aumentam a diversidade genética de populações as migrações, as mutações, a segregação independente e a permutação de segmentos de cromossomos homólogos.

14. C

O verde é uma coloração favorável para a camuflagem na folhagem. A cor rósea destaca o inseto, tornando-o mais suscetível ao ataque de seus predadores.

15. a) Variabilidade genética por mutações e recombinações gênicas, *crossing over*, segregação independente e fecundação e seleção natural de variedades resistentes aos parasitos.

b) Poderia se tornar uma nova espécie se ocorresse o isolamento reprodutivo com a população original.

c) As variações surgem como resultado de mecanismos genéticos, como mutações e recombinações gênicas.

16. C

O isolamento reprodutivo pré-zigótico dificulta a fecundação dos gametas e a formação do zigoto, impedindo o acasalamento entre as populações. A especiação alopátrica ocorre quando populações ficam isoladas geograficamente, dificultando o fluxo gênico. O surgimento de espécies diferentes pode ocorrer por mutações genéticas e quando não há fluxo gênico, com introdução de alelos diferentes nas duas populações. Com o isolamento geográfico, as populações isoladas se diferenciam, alterando as frequências de alelos, resultando em mudanças no fenótipo e dificultando a reprodução. O isolamento geográfico e a ausência de fluxo gênico entre populações alopátricas podem causar o isolamento reprodutivo.

17. Seleção natural estabilizadora. Na África Subsariana, o genótipo favorecido é o heterozigoto (Ss). Os portadores desse genótipo são resistentes à malária. Nessas regiões, os indivíduos SS contraem malária e podem morrer, enquanto os portadores do genótipo ss morrem de anemia falciforme.

Estudo para o Enem

18. B

As duas teorias da evolução apresentam em comum a adaptação dos seres vivos, que possuem características adequadas a determinado ambiente, por meio de variações genéticas.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando co-

nhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos. matemáticas ou linguagem simbólica.

19. B

Lamarck defendia a lei do uso e desuso. Segundo ele, adaptados à vida subterrânea, anfíbios e répteis não precisariam usar seus olhos e patas. A falta de uso desses órgãos levaria a um desaparecimento deles. Lamarck não conhecia os conceitos de gene e mutação, o que exclui as alternativas D e E.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. D

A polinização inviável ou nula indica a diversificação genética, que pode levar ao isolamento reprodutivo e à formação de novas espécies. As populações das localidades indicadas por setas opostas e interrompidas acham-se nesse processo evolutivo. São elas: Itirapina e Peti, além de Alcobaça e Marambaia.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas, ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

14 EVOLUÇÃO DE POPULAÇÕES E EVOLUÇÃO HUMANA

Comentário sobre o módulo

Entender como a evolução ocorre em grandes populações é chave para se compreender o surgimento de grandes grupos animais e a diversidade vegetal.

Ao estudar as eras geológicas, o estudante deve entender a complexidade dos processos evolutivos e o resultado acumulado do tempo sobre as espécies de seres vivos.

Nesse contexto, o teorema de Hardy-Weinberg é de extrema importância, porque propicia um modelo matemático para estimar o padrão gênico de uma população ao longo das gerações e para apontar se essa população está em equilíbrio ou passando por algum processo evolutivo. O princípio de Hardy-Weinberg é um ponto de partida teórico que afirma que, na ausência de fatores evolutivos, as frequências gênicas se mantêm em equilíbrio (constantes).

Ao abordar a evolução humana em sala de aula, é preciso esclarecer algumas concepções equívocas das que se refere à origem de nossa espécie, como: pensar nos seres humanos como chimpanzés ou como tendo evoluído diretamente desses animais. Os chimpanzés fazem parte de outra ramificação separada da evolução, adquiriram características próprias e, por estarem vivos nos dias atuais, são tão evoluídos quanto nós, humanos. Outra concepção equivocada é a de que viemos dos macacos, sem o entendimento de que pertencemos ao grupo dos primatas que compreendem mais de 600 espécies e subespécies. É importante, ainda, abordar com os alunos os episódios recentes de racismo sofridos por jogadores brasileiros que foram chamados de macacos e atingidos por bananas em campo; essa pode ser uma maneira interessante de iniciar o tema da evolução humana, contextualizado no racismo estrutural de nossa sociedade.

Para ir além

Teorias sobre o surgimento da vida no planeta Terra. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/vert-earth-38205665>>.

Acesso em: mar. 2019.

Mapa interativo das eras geológicas, no qual é possível visualizar a Terra e seus habitantes ao longo das eras. Disponível em:

<<http://dinosaurpictures.org/ancient-earth#240>>.

Acesso em: mar. 2019.

Luzia encontrada nos escombros do Museu Nacional do Rio. Disponível em:

<<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45391771>>.

Acesso em: mar. 2019.

Podcast sobre evolução humana com o professor doutor da USP Walter Neves. Disponível em:

<<https://alociencia.com.br/podcast/053-evolucao-humana/>>.

Acesso em: mar. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Frequência = f

$f(aa) = 0,49$

$f(a) = \sqrt{0,49} = 0,7$

$f(A) = 1 - 0,7 = 0,3$

$f(Aa) = 2 \times 0,3 \times 0,7 = 0,42$

8. a) Em genes ligados ao sexo, as frequências genotípicas serão p^2 , $2pq$ e q^2 para os genótipos $X^A X^A$, $X^A X^a$ e $X^a X^a$ do sexo homogamético. Serão iguais a p e q (iguais às frequências alélicas) nos genótipos $X^A Y$ e $X^a Y$ do sexo heterogamético. Assim, a frequência de homens daltônicos será $q = 10\% = 0,1$.

b) Mulheres portadoras =

$= X^A X^a = 2pq = 2 \times (1 - 0,1) \times 0,1 = 0,18$ ou 18%.

9. F – V – V – V – F

Considerando a população em questão geneticamente equilibrada para os alelos A e a , temos:

frequência de Aa em 1970 = $2 \times 0,4 \times 0,6 = 0,48 = 48\%$;

frequência de Aa em 1990 = $2 \times 0,15 \times 0,85 = 0,255 = 25,5\%$;

frequência de Aa em 2000 = $2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48 = 48\%$.

10. E

Migrações, mutações e seleção natural são fatores evolutivos que alteram as frequências gênicas em populações naturais.

11. O modelo de equilíbrio de Hardy-Weinberg é dado pela fórmula $p^2 + 2pq + q^2 = 1,0$. A frequência dos sapos marrons, no modelo de Hardy-Weinberg, é dada por $q^2 = 0,04$. A frequência do alelo para a cor marrom é dada por $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,04} = 0,2$. A frequência do alelo para a cor verde é dada por $p = 1 - q = 1 - 0,2 = 0,8$. A frequência de heterozigotos é dada por $2pq = 2 \times 0,8 \times 0,2 = 0,32$. Portanto, a porcentagem de sapos heterozigotos é de 32%.

12. E

Todos os pressupostos apresentam condições para que ocorra o equilíbrio de Hardy-Weinberg.

13. 73 (01 + 08 + 64)

Segundo a árvore filogenética, o homem moderno e o homem de Neandertal foram contemporâneos; a postura bípede apareceu entre 4 e 6 milhões de anos atrás. O *Homo erectus* existiu por um período maior do que o *Australopithecus afarensis*. O *Homo erectus* surgiu posteriormente ao *Australopithecus (Homo) habilis*.

14. Os dados sugerem que ocorreu intercruzamento entre indivíduos da linhagem Neandertal e da linhagem que originou a espécie humana.**15. A**

Os eventos evolutivos verificados na árvore genealógica proposta mostram alterações populacionais ao longo do tempo.

16. A

A reportagem revela a diversidade biológica das linhagens de homínídeos que deram origem à espécie humana.

17. Os perigos do ambiente na Pré-História eram inúmeros, de modo que viver em grupos sociais era vantajoso para a sobrevivência porque facilitava a obtenção de alimentos, tornava o ataque de predadores mais difícil, promovia a divisão estrutural da sociedade com funções distintas para os indivíduos, promovia aumento na capacidade de comunicação, entre outros aspectos.**Estudo para o Enem****18. A**

Do ponto de vista evolutivo, os ovos amniotas surgiram com a conquista do ambiente terrestre pelos répteis no Período Carbonífero há cerca de 350 milhões de anos. As aves surgiram depois, no Período Jurássico, há aproximadamente 200 milhões de anos.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

19. C

Os macacos são um conjunto composto de mais de 600 espécies e subespécies e pertencem ao grupo dos primatas, assim como os seres humanos. Os seres humanos compartilham um mesmo ancestral com os macacos atuais.

Competência: Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

Habilidade: Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.

20. E

Os *Homo sapiens sapiens* evoluíram muito rapidamente, em especial por conta do aprimoramento de suas habilidades nervosas e cognitivas. Com cérebro mais volumoso, o *Homo sapiens* pode ser considerado mais inteligente quando comparado aos demais primatas, por ter os mecanismos neurológicos mais desenvolvidos, propiciando linhas de raciocínio complexas.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
SEMIEXTENSIVO

2

