

Ensino Médio

**Ba**  
série

# Biologia

Manual exclusivo do aluno

## GENÉTICA – PRIMEIRA LEI DE MENDEL

A Genética é a área da Biologia que estuda os genes, os mecanismos de transmissão das características hereditárias de pais para filhos ao longo das gerações e inclui a área de manipulação dos genes, conhecida por engenharia genética. Essa ciência teve início com os trabalhos de Gregor Mendel, um monge austríaco que viveu entre 1822 e 1884. A partir de 1860, Mendel realizou uma série de cruzamentos entre plantas de ervilhas e analisou cuidadosamente os resultados obtidos. Esses experimentos permitiram a elaboração de leis sobre a transmissão dos caracteres hereditários, leis essas que servem de base aos estudos de genética. Na época desses experimentos e observações, a Ciência ainda não conhecia os mecanismos de divisão celular, muito menos da estrutura do material genético. Nada se sabia a respeito de cromossomos, DNA, RNA e síntese de proteínas. Como veremos mais adiante, esses conhecimentos vieram confirmar as propostas de Mendel sobre hereditariedade.

Em mais de dez anos de meticuloso trabalho, Mendel isolou 22 variedades de ervilhas que originavam linhagens puras, ou seja, produziam descendência homogênea ao longo das muitas gerações analisadas. Por que Mendel escolheu ervilhas para trabalhar? Escolher um ser vivo com ciclo de vida longo, reprodução demorada, com gerações espaçadas no tempo e com características difíceis de serem observadas não seria boa ideia, pois tornaria inviável a um único pesquisador realizar a pesquisa genética. Mendel tinha experiência em trabalhar com plantas, pois as cultivava no jardim do mosteiro, que se localiza na atual República Tcheca. No caso especial da ervilha, a grande vantagem de sua utilização no estudo da hereditariedade é ser uma planta que se reproduz por autofecundação, além de ser de fácil polinização e apresentar desenvolvimento rápido, gerando grande número de descendentes a cada cruzamento e com características hereditárias bem visíveis, fáceis de serem observadas.

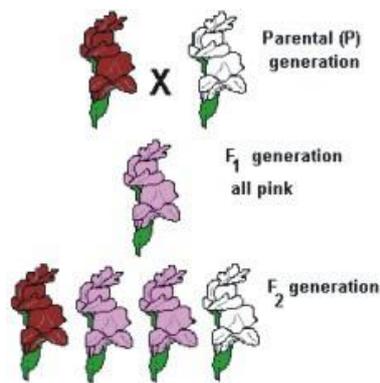
Vamos conhecer sete caracteres da planta de ervilha (*Pisum sativum*) selecionados por Mendel. Eles estão representados na tabela seguinte.

Sementes		Flores	Vagens		Caule	
Forma	Cotilédones	Cor	Forma	Cor	Floração	Tamanho
						
Cinza e Lisa	Amarelo	Branca	Inflada	Amarela	Axial, ao longo da planta	Alta, por volta de 3m
						
Branca e Rugosa	Verde	Roxa	Sulcada	Verde	Terminal	Baixa, por volta de 0,3m
1	2	3	4	5	6	7

Fonte: PIBID-Biologia

Mendel iniciou seus trabalhos com plantas de linhagens puras, ou seja, plantas que produziam descendentes com aspecto que não variava, quando realizavam autofecundação. Vejamos um exemplo de linhagem pura para a característica “forma da semente”: uma planta que produz sementes lisas e gera apenas descendentes que também produzem sementes lisas, por autofecundação, não aparecendo plantas com sementes rugosas nessa linhagem. Assim, com relação à forma da semente, Mendel separou plantas que, por autofecundação, produziam apenas sementes lisas e plantas que produziam apenas sementes rugosas. Com a germinação dessas sementes, formavam-se plantas sempre de linhagens puras, ou seja, plantas que, por autofecundação, formavam apenas sementes lisas ou rugosas, conforme o caso. Todos esses indivíduos de linhagem pura constituem a geração parental (geração P), ou seja, geração de “pais”.

Em seguida, Mendel fez cruzamentos entre as plantas de linhagens puras produtoras de sementes lisas e as plantas de linhagens puras produtoras de sementes rugosas. No caso da autofecundação, os grãos de pólen de uma flor chegam ao sistema reprodutor feminino dessa mesma flor, ocorrendo, em seguida, a fecundação e a formação da semente. Como resultado do cruzamento entre plantas puras de ervilhas que por autofecundação dariam sementes lisas e plantas puras de ervilhas que por autofecundação dariam sementes rugosas, todas as plantas polinizadas formaram frutos com sementes lisas, constituindo a geração F1. A geração F1 não é pura, pois é formada pelo cruzamento de plantas que produzem sementes lisas com plantas que produzem sementes rugosas. Assim, os indivíduos da geração F1 são chamados híbridos. A característica que se manifesta nas gerações que não formam linhagens puras é chamada dominante, ao passo que a característica que não se manifesta é a recessiva. Assim, quanto à forma das sementes de ervilhas, o caráter liso é dominante e o caráter rugoso é recessivo. Mas será que o aspecto rugoso, que é recessivo, desapareceu? Mendel teve a seguinte ideia para responder a essa questão: deixar ocorrer a autofecundação entre indivíduos da geração F1, obtendo a geração F2 (a segunda geração de filhos). Sua hipótese seria: “se o caráter verde, recessivo, não deixou de existir, ele deverá reaparecer em F2”.



Fonte: Só Biologia

Em ervilhas, o caráter liso é determinado por um alelo dominante em relação ao outro alelo, que determina o aspecto rugoso da semente. Assim, o aspecto rugoso só se manifesta quando o alelo que determina o aspecto liso não está presente. Representando por R o alelo para liso e por r o alelo para rugoso, temos três possibilidades – veja ao lado. Essas possibilidades representam os três genótipos possíveis para o caráter que estamos estudando: RR, Rr e rr. Os indivíduos que possuem em suas células os dois alelos R (genótipo RR) pertencem a uma linhagem pura e produzem sementes lisas, quando autofecundados; os que possuem dois alelos r (genótipo rr) também pertencem a uma linhagem pura, mas produzem sementes rugosas, por autofecundação. Os que possuem um alelo R e um r (genótipo Rr) pertencem a uma linhagem híbrida e produzem por autofecundação sementes lisas (75%) e sementes rugosas (25%). A característica ou aspecto que se manifesta no indivíduo é o fenótipo.

Até agora estamos representando os genótipos que correspondem aos genes existentes nas células somáticas, que são diploides. No entanto, como ficam os gametas formados pelas plantas que possuem cada um desses três genótipos (RR, Rr e rr)? Os gametas são células haploides, ou seja, possuem apenas um alelo de cada par existente nas células somáticas do indivíduo. Isso significa que, para um determinado loco gênico, existe um único alelo. Assim, considerando inicialmente as plantas de ervilha que produzem sementes lisas e cujo genótipo é RR, observa-se que todos os seus gametas serão portadores de um único alelo R. Plantas com genótipo rr produzirão apenas gametas r. Na geração F1, todos os descendentes são híbridos, pois todos recebem um cromossomo com o alelo R e um com o alelo r, formando uma célula-ovo com genótipo Rr (veja quadro acima). As plantas que se desenvolvem desse tipo de célula-ovo produzem sementes lisas e possuem genótipo Rr. Elas formarão dois tipos de gametas: os portadores do alelo R e os gametas portadores do alelo r, em igual proporção.

E quanto à geração F2? A geração F2 é formada a partir do encontro de um gameta masculino com um feminino. Como ambos podem ser portadores de R ou de r, temos as seguintes possibilidades na formação do zigoto, mostradas no quadro abaixo, que recebe o nome de quadro de Punnett.

Gametas	R	r
R	RR (lisa)	Rr (lisa)
r	Rr (lisa)	rr (rugosa)

Fonte: Livro de Biologia – AJS

No tipo de cruzamento mostrado acima, 50% dos descendentes são heterozigóticos (híbridos) como os pais e os outros 50% são todos homozigóticos, sendo 25% com o caráter dominante e 25% com o caráter recessivo. A análise dos dados permite compreender os resultados obtidos por Mendel. Tais resultados certamente serão obtidos por qualquer experimentador que volte a realizar os mesmos cruzamentos. Segundo Mendel, os gametas são “puros”, o que pode ser entendido da seguinte maneira: como um gameta carrega apenas um alelo, ele é capaz de transmitir apenas uma informação genética. No caso dos gametas de uma planta de ervilha híbrida para o caráter forma da semente, essa informação poderá ser de semente lisa ou de semente rugosa. Quando Mendel formulou seu modelo matemático que permitia explicar a herança de diversas características em ervilhas, não se sabia o que era gene, alelo e cromossomo, e desconhecia-se a meiose. Apesar disso, ele chegou a interpretações corretas sobre a transmissão hereditária de determinados caracteres. O que Mendel chamou “fatores” hoje sabemos que são alelos (como R e r, no exemplo que analisamos). O monge formulou a conclusão de seus resultados, hoje conhecida como Primeira Lei de Mendel, do seguinte modo:

#### Primeira Lei de Mendel:

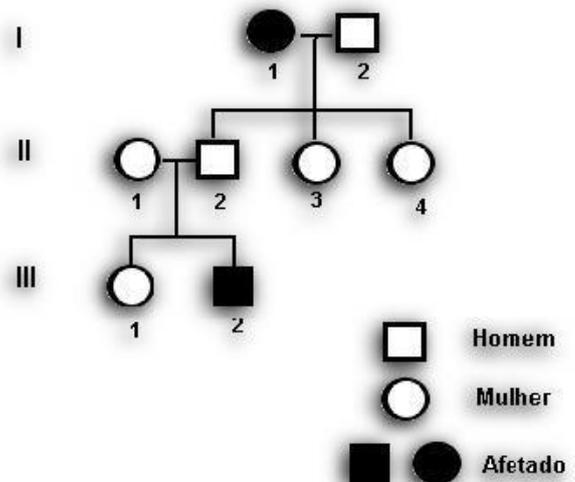
“Cada caráter é determinado por um par de fatores e estes se separam na formação dos gametas, que são sempre puros.”

Muitas vezes um cruzamento e a descendência gerada são representados sob a forma de um **heredograma**, um tipo especial de diagrama, utilizado para facilitar a observação e a compreensão rápida de uma genealogia, ou seja, dos padrões de herança de uma característica em uma família. Nos heredogramas, usam-se símbolos para os sexos e para a ocorrência da característica em estudo. Geralmente, o sexo feminino é representado por círculo e o masculino por quadrado. Quando se pretende destacar uma das formas da característica, recessiva ou dominante, em um indivíduo, o símbolo é representado cheio. Por exemplo: uma mulher com a condição recessiva do caráter pode ser representada por um círculo cheio e uma mulher com a condição dominante do caráter, por um círculo vazado.



Para saber se o indivíduo portador de fenótipo dominante para uma característica é homocigótico ou heterocigótico, realiza-se um cruzamento-teste, que consiste em cruzar o indivíduo em estudo com outro de fenótipo recessivo para aquela característica. Por exemplo: no caso das sementes de ervilha, as sementes amarelas podem ser homocigóticas (VV) ou heterocigóticas (Vv). Olhando para elas, não é possível saber quais são as homocigóticas e quais são as heterocigóticas, pois o fenótipo é o mesmo, ou seja, elas são iguais quanto à cor. Para saber se são homocigóticas ou heterocigóticas realizamos o cruzamento-teste. Basta fazer a semente germinar e cruzar a planta resultante com uma planta originada de uma semente verde, que é sempre pura, ou seja, homocigótica (vv). Se todas as sementes obtidas nesse cruzamento forem amarelas, isso significa que todas receberam o alelo que condiciona essa cor; a planta é, então, homocigótica (VV). Se também forem produzidas sementes verdes, a planta considerada inicialmente é heterocigótica (Vv), fornecendo, para os descendentes, alelos para amarelo e alelos para verde. A Primeira Lei de Mendel estuda os casos de monohibridismo: analisa um caráter por vez.

Um exemplo de monohibridismo é o sistema Rh de grupos sanguíneos, na espécie humana depende de vários fatores ou proteínas presentes



nas membranas plasmáticas das hemácias (glóbulos vermelhos). Dentre eles, o mais frequente é o fator D, que ocorre, por exemplo, em aproximadamente 85% das pessoas da população branca e em mais de 90% nas populações orientais. Os outros fatores que compõem o sistema Rh (fatores C, E) ocorrem em taxas pouco expressivas na população humana. De modo geral, quando é determinado o fator Rh, o resultado representa a presença ou ausência do fator D. Por simplificação, vamos falar apenas em Rh e tratar a herança desse fator como um caso que pode ser explicado pela Primeira Lei de Mendel, devido a um par de alelos com relação completa de dominância. O nome Rh foi atribuído a essa proteína por ela ter sido detectada e estudada inicialmente em macacos resos (também conhecidos pelo termo rhesus), da espécie *Macaca mulatta*. O fator Rh é uma proteína que ocorre nas hemácias de todos os macacos desse gênero e pode ou não existir nas hemácias humanas, como vimos anteriormente. Quando ocorre, dizemos que o indivíduo é Rh positivo (Rh+); quando não ocorre, dizemos que é Rh negativo (Rh-). A produção do fator Rh é condicionada por um alelo dominante, que chamaremos de R; a não produção ou ausência do fator Rh é condicionada pelo alelo recessivo r. Assim, como R e r são alelos, os indivíduos podem apresentar três genótipos para esse caráter: RR, Rr e rr. Os genótipos RR e Rr condicionam o fenótipo Rh+ e o genótipo rr condiciona o fenótipo Rh-. A herança do fator Rh é um caso de monohibridismo. Sabendo disso, podemos afirmar que é possível um casal em que ambos são Rh+ gerar um filho Rh-. O quadro abaixo

permite visualizar as probabilidades: este casal pode gerar um(a) filho(a) Rh+ com probabilidade de 75%, sendo 25% a chance de gerar uma criança Rh-.



Genótipo da mãe: $Rr$		Genótipo do pai: $Rr$	
Óvulos: $R$ e $r$		Espermatozoides: $R$ e $r$	
Gametas	$R$	$r$	
$R$	$RR$ ( $Rh^+$ )	$Rr$ ( $Rh^+$ )	
$r$	$Rr$ ( $Rh^+$ )	$rr$ ( $Rh^-$ )	

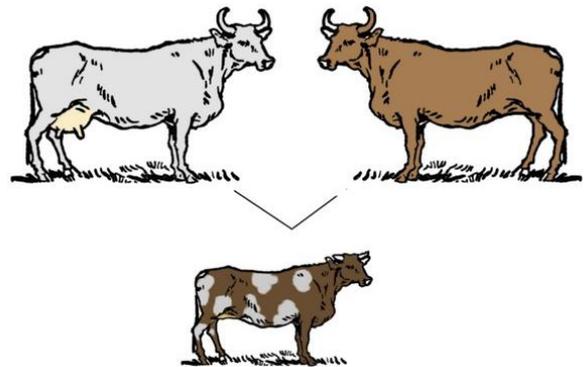
Nem todas as características são herdadas como a cor da semente da ervilha, em que o gene para a cor amarela domina sobre o gene para cor verde. Muito frequentemente, a combinação dos genes alelos diferentes produz um **fenótipo intermediário**. Essa situação ilustra a chamada **dominância incompleta ou parcial**. Um exemplo desse tipo de herança é a cor das flores maravilha. Elas podem ser vermelhas, brancas ou rosas. Plantas que produzem flores cor-de-rosa são heterozigotas, enquanto os outros dois fenótipos são devidos à condição homocigota. Supondo que o gene **V** determine a cor vermelha e o gene **B**, cor branca, teríamos:  $VV$  = flor vermelha,

$BB$  = flor branca e  $VB$  = flor cor-de-rosa. Apesar de anteriormente usarmos letras maiúsculas para indicar, respectivamente, os genes dominantes e recessivos, quando se trata de dominância incompleta muitos autores preferem utilizar apenas diferentes letras maiúsculas.

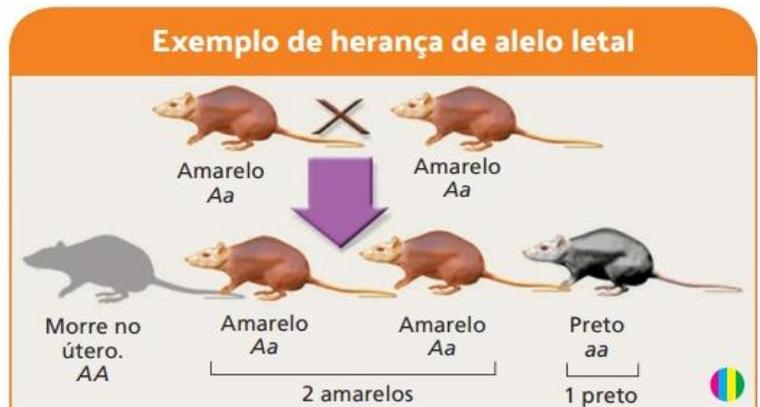
Gametas	$V$	$B$
$V$	$VV$ (vermelha)	$VB$ (rósea)
$B$	$VB$ (rósea)	$BB$ (branca)

Este outro caso, envolvendo as mesmas cores (vermelha e branca) é também interessante: bois da raça Shorthorn podem ter pelos vermelhos, brancos ou pelos vermelhos alternados com brancos. Os bois de pelos vermelhos são homocigóticos de genótipo  $VV$  e os de pelos brancos são homocigóticos de genótipo  $BB$ . Os indivíduos que possuem pelos alternados são os heterocigóticos ( $VB$ ), resultantes do cruzamento de indivíduos de pelos vermelhos com indivíduos de pelos brancos. No caso descrito, não há relação de dominância entre os alelos, nem herança intermediária. Se houvesse herança intermediária, os pelos dos híbridos teriam cor intermediária entre vermelha e branca, o que não ocorre. Como os pelos vermelhos intercalam-se com os brancos, mantendo evidentes as duas colorações, fala-se em **codominância**.

A cor amarela do pelo de camundongos é condicionada por um alelo **A**, dominante sobre o alelo **a**, que condiciona a cor preta. Assim, todo cruzamento experimental realizado entre machos e fêmeas, ambos pretos, originava somente descendentes de pelagem preta, confirmando o esperado pela Primeira Lei de Mendel. No entanto, os cruzamentos entre machos e fêmeas amarelos nunca resultavam as proporções esperadas pela Primeira Lei de Mendel, pois: se pelo menos um dos animais cruzados fosse homocigótico, todos os descendentes deveriam ser amarelos – o que não acontecia; se ambos fossem heterocigóticos (híbridos), a proporção esperada seria de 3 amarelos para 1 preto – o que também não acontecia. O resultado obtido do cruzamento entre indivíduos amarelos obedece sempre a proporção de 2 amarelos para 1 preto!



Como explicar essa discrepância, em relação à Primeira Lei de Mendel? O primeiro cientista a estudar essa questão foi o geneticista francês Cuénot, em torno de 1905. Cuénot chegou a levantar a hipótese de que os espermatozoides portadores de cromossomos com o alelo **A** não conseguiam fecundar um óvulo também portador do mesmo alelo **A**. Essa hipótese foi, no entanto, rejeitada pelas pesquisas seguintes de vários cientistas, ficando demonstrado que a fecundação ocorre, o ovo se forma e se desenvolve, mas o indivíduo portador do genótipo  $AA$  morre no útero materno. Concluiu-se, então, que o alelo **A**, embora dominante em relação ao alelo **a**, é letal quando em dose dupla. Isso significa que quando nasce um camundongo de pelagem amarela, ele é certamente



heterozigótico (Aa). Interessante é que, como o alelo A é **letal** somente em dose dupla, pode-se afirmar que ele é recessivo para letalidade.

## GENÉTICA – SEGUNDA LEI DE MENDEL

Além de estudar isoladamente diversas características fenotípicas da ervilha, Mendel estudou também a transmissão combinada de duas ou mais características. Em um de seus experimentos, por exemplo, foram considerados simultaneamente a cor da semente, que pode ser amarela ou verde, e a textura da casca da semente, que pode ser lisa ou rugosa. Plantas originadas de sementes amarelas e lisas, ambos traços dominantes, foram cruzadas com plantas originadas de sementes verdes e rugosas, traços recessivos. Todas as sementes produzidas na geração F1 eram amarelas e lisas.

### Segunda Lei de Mendel:

“Na formação dos gametas, os alelos existentes em um par de cromossomos homólogos separam-se independentemente de qualquer outro par de alelos existente em outro par de homólogos.”

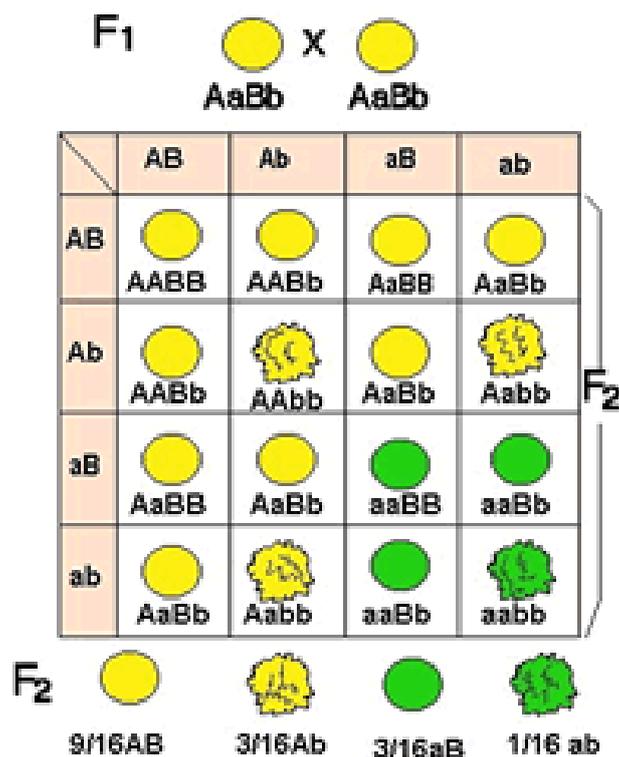
A geração F<sub>2</sub>, obtida pela autofecundação das plantas originadas das sementes de F<sub>1</sub>, era composta por quatro tipos de sementes: Em proporções essas frações representam 9 amarelo-lisas: 3 amarelo-rugosas: 3 verde-lisas: 1 verde-rugosa. Com base nesse e em outros experimentos, Mendel aventou a hipótese de que, na formação dos gametas, os alelos para a cor da semente (Vv) segregam-se independentemente dos alelos que condicionam a forma da semente (Rr). De acordo com isso, um gameta portador do alelo V pode conter tanto o alelo R como o alelo r, com igual chance, e o mesmo ocorre com os gametas portadores do alelo v. Uma planta duplo-heterozigota VvRr formaria, de acordo com a hipótese da segregação independente, quatro tipos de gameta em igual proporção: 1 VR: 1 Vr: 1 vR: 1 vr.

Mendel concluiu que a segregação independente dos fatores para duas ou mais características era um princípio geral, constituindo uma segunda lei da herança. Assim, ele denominou esse princípio segunda lei da herança ou lei da segregação independente, posteriormente chamada segunda lei de Mendel: **Os fatores para duas ou mais características segregam-se no híbrido, distribuindo-se independentemente para os gametas, onde se combinam ao acaso.** Ao estudar a herança simultânea de diversos pares de características. Mendel sempre observou, em F<sub>2</sub>, a proporção fenotípica 9:3:3:1, consequência da

segregação independente ocorrida no duplo-heterozigoto, que origina quatro tipos de gameta.

Ao estudar 3 pares de características simultaneamente, Mendel verificou que a distribuição dos tipos de indivíduos em F<sub>2</sub> seguia a proporção de 27: 9: 9: 9: 3: 3: 3: 1. Isso indica que os genes para as 3 características consideradas segregam-se independentemente nos indivíduos F<sub>1</sub>, originando 8 tipos de gametas. Em um dos seus experimentos, Mendel considerou simultaneamente a cor (amarela ou verde), a textura da casca (lisa ou rugosa) e a cor da casca da semente (cinza ou branca). O cruzamento entre uma planta originada de semente homocigota dominante para as três características (amarelo-liso-cinza) e uma planta originada de semente com traços recessivos (verde-rugosa-branca) produz apenas ervilhas com fenótipo dominante, amarelas, lisas e cinza. Esses indivíduos são heterozigotos para os três pares de genes (VvRrBb). A segregação independente desses três pares de alelos, nas plantas da geração F<sub>1</sub>, leva à formação de 8 tipos de gametas.

Os gametas produzidos pelas plantas F<sub>1</sub> se combinam de 64 maneiras possíveis (**8 tipos maternos X 8 tipos paternos**), originando 8 tipos de fenótipos. A formação dos nove genótipos diferentes é possível porque os alelos que condicionam o caráter forma da semente e os alelos que condicionam o caráter cor da semente estão situados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Se os alelos para os dois



caracteres estivessem no mesmo cromossomo, eles não se separariam independentemente e as possibilidades de genótipos formados seriam bem menores. Na verdade, a separação ou disjunção é dos cromossomos e não dos genes, conforme você deve ter aprendido ao estudar o processo de divisão celular. Podemos, então, enunciar o que ficou conhecido como Segunda Lei de Mendel do seguinte modo:

Como sabemos, genes alelos são os que atuam na determinação de um mesmo caráter e estão presentes nos mesmo loci (plural de lócus, do latim, local) em cromossomos homólogos. Até agora, só estudamos casos em que só existiam dois tipos de alelos para uma dada característica (alelos simples), mas há casos em que mais de dois tipos de alelos estão presentes na determinação de um determinado caráter na população. Esse tipo de herança é conhecida como **alelos múltiplos (ou polialelia)**. Apesar de poderem existir mais de dois alelos para a determinação de um determinado caráter, um indivíduo diploide apresenta apenas um par de alelos para a determinação dessa característica, isto é, um alelo em cada lócus do cromossomo que constitui o par homólogo.

São bastante frequentes os casos de alelos múltiplos tanto em animais como em vegetais, mas são clássicos os exemplos de polialelia na determinação da cor da pelagem em coelhos e na determinação dos grupos sanguíneos do sistema ABO em humanos. Um exemplo bem interessante e de fácil compreensão, é a determinação da pelagem em coelhos, onde podemos observar a manifestação genética de uma série com quatro genes alelos: o primeiro C, expressando a cor Aguti ou Selvagem; o segundo C<sup>ch</sup>, transmitindo a cor Chinchila; o terceiro C<sup>h</sup>, representando a cor Himalaia; e o quarto alelo C<sup>a</sup>, responsável pela cor Albina. Sendo a relação de dominância → C > C<sup>ch</sup> > C<sup>h</sup> > C<sup>a</sup>. O gene C é dominante sobre todos os outros três, o C<sup>ch</sup> dominante em relação ao himalaia e ao albino, porém recessivo perante o aguti, e assim sucessivamente.

fundamental saber a 1ª lei de Mendel continua sendo obedecida, isto é, para a determinação da cor da pelagem, o coelho terá dois dos quatro genes. A novidade é que o número de genótipos e fenótipos é maior quando comparado, por exemplo, com a cor da semente de ervilha. O surgimento dos alelos múltiplos (polialelia) deve-se a uma das propriedades do material genético, que é a de sofrer mutações. Assim, acredita-se que a partir do gene C (aguti), por um erro accidental na duplicação do DNA, originou-se o gene C<sup>ch</sup> (chinchila). A existência de alelos múltiplos é interessante para a espécie, pois haverá maior variabilidade genética, possibilitando mais oportunidade para adaptação ao ambiente (seleção natural).

A herança dos tipos sanguíneos do sistema ABO constitui um exemplo de alelos múltiplos na espécie humana. No sistema ABO existem quatro tipos de sangues: A, B, AB e O. Esses tipos são caracterizados pela presença ou não de certas substâncias na membrana das hemácias, os aglutinogênios, e pela presença ou ausência de outras substâncias, as aglutininas, no plasma sanguíneo. Existem dois tipos de aglutinogênio, A e B, e dois tipos de aglutinina, anti-A e anti-B. Pessoas do grupo A possuem aglutinogênio A, nas hemácias e aglutinina anti-B no plasma; as do grupo B têm aglutinogênio B nas hemácias e aglutinina anti-A no plasma; pessoas do grupo AB têm aglutinogênios A e B nas hemácias e nenhuma aglutinina no plasma; e pessoas do grupo O não tem aglutinogênios na hemácias, mas possuem as duas aglutininas, anti-A e anti-B, no plasma.

As aglutinações que caracterizam as incompatibilidades sanguíneas do sistema acontecem quando uma pessoa possuidora de determinada aglutinina recebe sangue com o aglutinogênio correspondente. Indivíduos do grupo A não podem doar sangue para indivíduos do grupo B, porque as hemácias A, ao entrarem na corrente sanguínea do receptor B, são imediatamente aglutinadas pelo anti-A nele presente. A recíproca é verdadeira: indivíduos do grupo B não podem doar sangue para indivíduos do grupo A. Tampouco indivíduos A, B ou AB podem doar sangue para indivíduos O, uma vez que estes têm aglutininas anti-A e anti-B, que aglutinam as hemácias portadoras de aglutinogênios A e B ou de ambos.

Cinzeno Escuro	Chinchila	Himalaia	Albino
			
CC ou Cc <sup>ch</sup> ou Cc <sup>h</sup> ou Cc	c <sup>ch</sup> c <sup>ch</sup> ou c <sup>ch</sup> c <sup>h</sup> ou c <sup>ch</sup> c	c <sup>h</sup> c <sup>h</sup> ou c <sup>h</sup> c	cc

A diferença na cor da pelagem do coelho em relação à cor da semente das ervilhas é que agora temos mais genes diferentes atuando (4), em relação aos dois genes clássicos. No entanto, é

Assim, o aspecto realmente importante da transfusão é o tipo de aglutinogênio da hemácia do doador e o tipo de aglutinina do plasma do receptor. Indivíduos do tipo O podem doar sangue para qualquer pessoa, porque não possuem aglutinogênios A e B em suas hemácias. Indivíduos, AB, por outro lado, podem receber qualquer tipo de sangue, porque não possuem aglutininas no plasma. Por isso, indivíduos do grupo O são chamados de

	Grupo A	Grupo B	Grupo AB	Grupo O
<b>Hemácia</b>				
<b>Anticorpos</b>	Anti-B	Anti-A	Sem Anticorpo	Anti-A e Anti-B
<b>Antígenos</b>	Antígeno A	Antígeno B	Antígeno A e B	Sem Antígeno

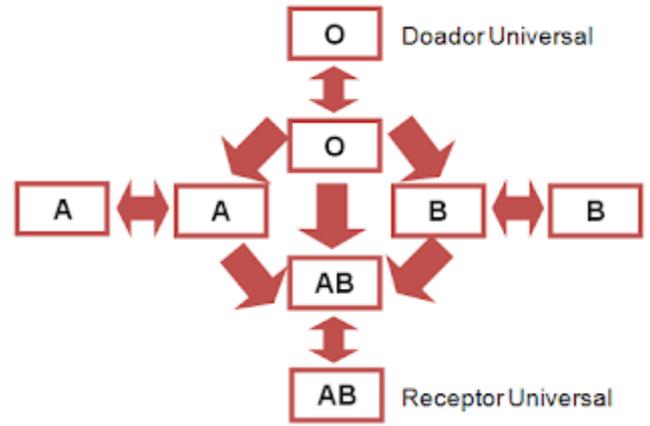
doadores universais, enquanto os do tipo AB são receptores universais.

A produção de aglutinogênios A e B são determinadas, respectivamente, pelos genes I A e I B. Um terceiro gene, chamado i, condiciona a não produção de aglutinogênios. Trata-se, portanto de um caso de alelos múltiplos. Entre os genes I A e I B há co-dominância (I A = I B), mas cada um deles domina o gene i (I A > i e I B > i).

Fenótipos	Genótipos
A	I <sup>A</sup> I <sup>A</sup> ou I <sup>A</sup> i
B	I <sup>B</sup> I <sup>B</sup> ou I <sup>B</sup> i
AB	I <sup>A</sup> I <sup>B</sup>
O	ii

Fenótipos	Genótipos
Rh <sup>+</sup>	RR ou Rr
Rh <sup>-</sup>	rr

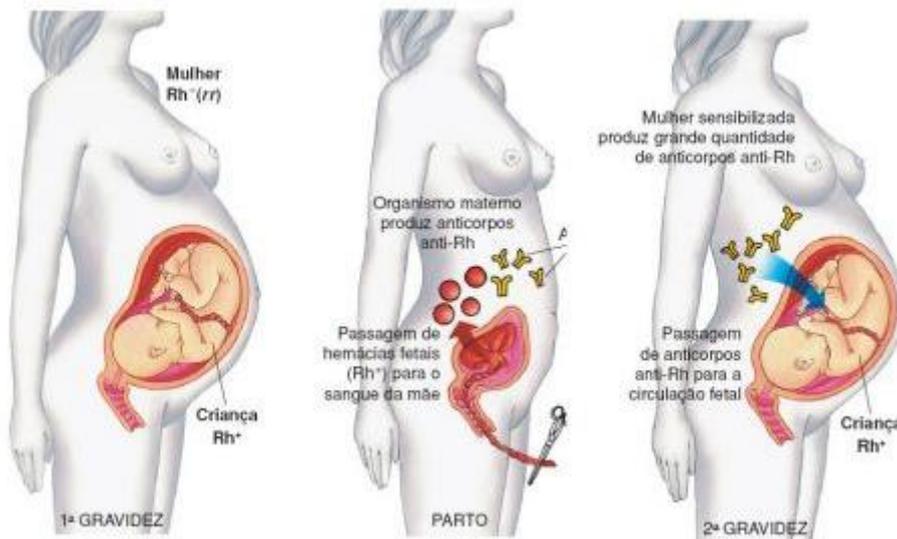
Voltando a falar do sistema Rh descoberto a partir de pesquisas com o macaco Rhesus, temos mais a falar sobre ele aqui. Analisando o sangue de muitos indivíduos da espécie humana, Landsteiner verificou que, ao misturar gotas de sangue dos indivíduos com o soro contendo anti-Rh, cerca de 85% dos indivíduos apresentavam aglutinação (e pertenciam a raça branca) e 15% não apresentavam. Definiu-se, assim, "o grupo sanguíneo Rh +" (apresentavam o antígeno Rh), e "o grupo Rh -" (não apresentavam o antígeno Rh). No plasma não ocorre naturalmente o anticorpo anti-Rh, de modo semelhante ao que acontece no sistema Mn. O anticorpo, no entanto, pode ser



formado se uma pessoa do grupo Rh -, recebe sangue de uma pessoa do grupo Rh +. Esse problema nas transfusões de sangue não são tão graves, a não ser que as transfusões ocorram repetidas vezes, como também é o caso do sistema MN.

Três pares de genes estão envolvidos na herança do fator Rh, tratando-se portanto, de casos de alelos múltiplos. Para simplificar, no entanto, considera-se o envolvimento de apenas um desses pares na produção do fator Rh, motivo pelo qual passa a ser considerado um caso de herança mendeliana simples. O gene R, dominante, determina a presença do fator Rh, enquanto o gene r, recessivo, condiciona a ausência do referido fator.

Uma doença provocada pelo fator Rh é a eritroblastose fetal ou doença hemolítica do recém-nascido, caracterizada pela destruição das hemácias do feto ou do recém-nascido. As consequências desta doença são graves, podendo levar a criança à morte. Durante a gestação ocorre passagem, através da placenta, apenas de plasma da mãe para o filho e vice-versa devido à chamada barreira hemato-placentária. Pode ocorrer, entretanto, acidentes vasculares na placenta, o que permite a passagem de hemácias do feto para a circulação materna. Nos casos em que o feto possui sangue fator rh positivo os antígenos existentes em suas hemácias estimularão o sistema imune materno a produzir anticorpos anti-Rh que ficarão no plasma materno e podem, por serem da classe IgG, passar pela BHP provocando lise nas hemácias fetais. A produção de anticorpos obedece a uma cascata de eventos (ver imunidade humoral) e por isto a produção de anticorpos é lenta e a quantidade pequena num primeiro. A partir da segunda gestação, ou após a sensibilização por transfusão sanguínea, se o filho é Rh + novamente, o organismo materno já conterá anticorpos para aquele antígeno e o feto poderá desenvolver a DHPN ou eritroblastose fetal.



O diagnóstico pode ser feito pela tipagem sanguínea da mãe e do pai precocemente e durante a gestação o teste de Coombs que utiliza anti-anticorpo humano pode detectar se esta havendo a produção de anticorpos pela mãe e providências podem ser tomadas. Uma transfusão, recebendo sangue Rh -, pode ser feita até mesmo intra-útero já que Goiânia está se tornando referência em fertilização in vitro. O sangue Rh - não possui hemácias com fator Rh e não podem ser reconhecidas como estranhas e destruídas pelos anticorpos recebidos da mãe. Após cerca de 120 dias, as hemácias serão substituídas por outras produzidas pelo próprio indivíduo. O sangue novamente será do tipo Rh +, mas o feto já não correrá mais perigo. Após o nascimento da criança toma-se medida profilática injetando, na mãe Rh-, soro contendo anti Rh. A aplicação logo após o parto, destrói as hemácias fetais que possam ter passado pela placenta no nascimento ou antes. Evita-se, assim, a produção de anticorpos “zerando o placar de contagem”. Cada vez que um conceito nascer e for Rh+ deve-se fazer nova aplicação, pois novos anticorpos serão formados.

Os sintomas no RN que podem ser observados são anemia (devida à destruição de hemácias pelos anticorpos), icterícia (a destruição de hemácias aumentada levará a produção maior de bilirrubina indireta que não pode ser convertida no fígado), e após sua persistência o aparecimento de uma doença chamada Kernicterus que corresponde ao depósito de bilirrubina nos núcleos da base cerebrais o que gerará retardo no RN.

Os casos estudados até agora consideravam cada caráter condicionado por um par de alelos ou por alelos múltiplos - neste último caso, sempre ocorrendo dois alelos do gene em questão em cada indivíduo. No entanto, a herança de diversos caracteres não se explica sempre dessa forma. Existem, por exemplo, dois casos de herança opostos entre si: pleiotropia - um par de alelos condiciona mais de um caráter; interação gênica -

um caráter é condicionado por mais de um par de alelos. Os casos de interação gênica que serão analisados aqui vão se referir apenas a caracteres determinados por dois pares de alelos. A partir desses conhecimentos fica claro que se uma pessoa do tipo sanguíneo A recebe sangue tipo B as hemácias contidas no sangue doado seriam aglutinadas pelas aglutininas anti-B do receptor e vice-versa.

Cebolas vermelhas são resistentes à ação de determinado fungo parasita; cebolas brancas não são. Sabe-se hoje que um alelo recessivo é o responsável ao mesmo tempo pela cor vermelha e pela produção de uma substância fungicida. Assim, cebolas vermelhas não sofrem a ação desses parasitas. Trata-se de um caso de **pleiotropia**, pois um único alelo, quando em dose dupla (homozigose), é o responsável por dois caracteres: a cor da cebola e a produção da substância fungicida. Representando por V o alelo dominante, que condiciona o caráter cebola branca, e por v o alelo recessivo, que condiciona a cor vermelha e a produção da substância antifúngica, o genótipo das cebolas vermelhas, que possuem resistência ao fungo, é vv.

Vejamos agora um caso de interação gênica: a herança da forma da crista de galináceos. A forma da crista depende de dois pares de alelos, sendo que um deles localiza-se em um par de cromossomos homólogos e o outro situa-se em outro par de cromossomos homólogos. Em um par, situam-se os alelos E (dominante), e (recessivo). São três, portanto, as possibilidades genotípicas: EE, Ee ou ee. No outro par de cromossomos homólogos situam-se os alelos R (dominante) e r (recessivo). Os genótipos possíveis são: RR, Rr ou rr. Cada par de alelos segrega-se independentemente na formação de gametas, de acordo com a Primeira Lei de Mendel. Como os dois pares de alelos situam-se em diferentes cromossomos homólogos, eles separam-se independentemente de acordo com a Segunda Lei de Mendel. Podem ocorrer, portanto, até nove possibilidades genotípicas, número máximo que resulta de um cruzamento entre di-híbridos, ainda de acordo com a Segunda Lei de Mendel.

Como mostra o quadro, há um tipo de crista condicionado por

- P = aguti
- p = preta
- A = não inibe
- a = inibe a cor (albino)

Genótipo	Fenótipo
A_P_	Aguti
A_pp	Preto
aaP_, aapp	Albino

genótipos que contêm, todos eles, pelo menos um alelo E e um alelo R. Essa crista é do tipo noz. Por essa razão, podemos representar por R\_E\_ o genótipo que condiciona a crista noz.

Na **epistasia**, dois ou mais locos gênicos atuam juntos na determinação de apenas um caráter, porém um deles inibe a expressão dos alelos localizados nos outros locos. Nesse caso, a proporção fenotípica observada para o cruzamento de di-híbridos nunca é igual a 9: 3: 3: 1. Haveria redução no número de classes fenotípicas em relação ao esperado se fosse um caso de Segunda Lei de Mendel. Vamos analisar um exemplo de epistasia no qual um par de alelos recessivos inibe a expressão de um outro par de alelos, localizado em outro par de cromossomos homólogos. Esse fenômeno ocorre na determinação da cor da pelagem em camundongos. Os alelos P e p determinam a cor dos pelos e estão situados em um par de cromossomos homólogos, resultando em três genótipos possíveis: PP, Pp e pp. O alelo P condiciona a pelagem aguti (acinzentada) e p condiciona a pelagem preta quando em homozigose

partir de 16 possibilidades: 9 agutis, 3 pretos e 4 albinos.

Existem, entretanto, certos caracteres cujos fenótipos apresentam variações contínuas, como é o caso da cor da pele humana, em que os fenótipos variam de forma



contínua do branco ao negro. Nesses casos, o caráter é transmitido por herança quantitativa, que também é um caso de interação gênica. Dois ou mais pares de alelos situados em diferentes pares de cromossomos homólogos somam seus “efeitos”, de tal forma que o fenótipo vai depender da quantidade de alelos que efetivamente contribuem com o efeito cumulativo no caráter considerado. A relação entre os alelos de cada gene não é de simples dominância e recessividade. Existem alelos que contribuem para a modificação do fenótipo, representados por letras maiúsculas, e alelos que não contribuem para a modificação do fenótipo, representados por letras minúsculas. Cada alelo representado por letra maiúscula contribui igualmente na modificação fenotípica.

Vamos analisar então a herança da cor da pele humana. Existem evidências de que a cor da pele seja determinada por pelo menos dois pares de alelos, que se localizam, cada um, em um par de cromossomos homólogos. Recorrendo às iniciais das palavras negro e branco, vamos representar esses alelos pelas letras N e B, onde as letras maiúsculas representam os alelos efetivos, que contribuem igualmente para o aumento na produção do pigmento melanina por

células da pele chamadas melanócitos. Os alelos n e b são chamados não efetivos, pois condicionam a síntese de melanina apenas em uma quantidade mínima. O fenótipo negro é puro e condicionado pelo genótipo NNBB, ou seja, homozigótico constituído somente pelos alelos efetivos. Cada um desses alelos contribui igualmente para a síntese de melanina, de maneira que a cor da pele será o resultado da soma da ação desses alelos (efeito cumulativo). O fenótipo branco também é puro, porém condicionado pelo genótipo nnbb, constituído somente pelos alelos não efetivos. Os indivíduos de pele branca possuem melanina na pele, pois esses alelos determinam um nível basal de síntese de pigmentos, mas em quantidade menor em relação aos demais fenótipos para a cor da pele.

Relação entre genótipo e fenótipo no caráter “forma da crista”

Genótipo	Fenótipo
RREE RrEE RREe RrEe	Noz
RRee Rree	Rosa
rrEE rrEe	Ervilha
rree	Simples

(pp). Existe, no entanto, um par de alelos (A/a), localizado em outro par de cromossomos homólogos, que condiciona a produção de substâncias que permitem a síntese dos pigmentos para a pelagem.

Não podemos afirmar que o par aa é dominante sobre o outro par de alelos, e sim que aa é epistático em relação ao outro par. A relação de dominância e recessividade pode existir entre alelos de um mesmo gene – o alelo A é dominante sobre a. O que ocorre na epistasia é a interação de um par de alelos (ou apenas um dos alelos do par) com outro par, localizado em cromossomos homólogos distintos. No cruzamento entre dois camundongos di-híbridos de pelagem aguti, espera-se obter a seguinte proporção de descendentes, a

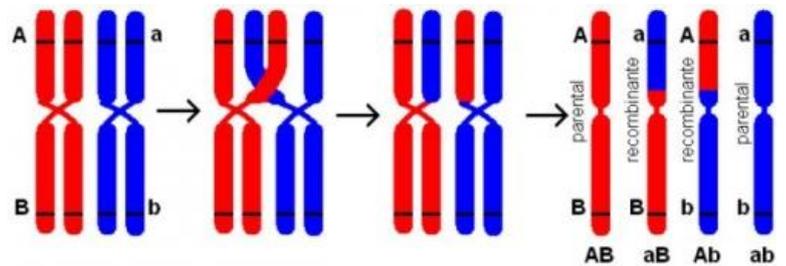
formação dos gametas, assim como a e b. Nesse caso, teremos, portanto, um gameta AB e outro ab. Percebe-se que a migração independente ocorre apenas quando os pares de genes estão em cromossomos diferentes. Quando esses genes estão no mesmo cromossomo de um par de homólogos, eles permanecem juntos quando acontece a meiose. Sendo assim, dizemos que o linkage é uma exceção à Segunda Lei de Mendel.

Genes localizados em um mesmo cromossomo podem, no entanto, não ser transmitidos juntos no momento da meiose. Para que isso aconteça, é necessário que durante esse processo de divisão ocorra uma recombinação gênica, também chamada de permuta ou crossing-over.

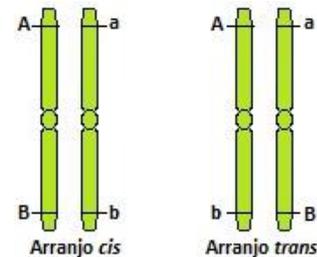
Genótipos	Alelos efetivos	Alelos não efetivos	Fenótipos da cor da pele humana				
			Negro	Mulato escuro	Mulato médio	Mulato claro	Branco
NNBB	4	0	X				
NNbb NnBB	3	1		X			
NNbb NnBb nnBB	2	2			X		
nnBb Nnbb	1	3				X	
nnbb	0	4					X

### ALÉM DA GENÉTICA MENDELIANA

Dizemos que um gene está em **linkage** ou ligação gênica quando ele está em um mesmo cromossomo e não se segrega de forma independente no momento da formação de um gameta. Sabemos que os cromossomos são formados por uma grande sequência de genes que é responsável por determinar as características de uma espécie. Quando ocorre a formação de gametas, os cromossomos são inteiramente transmitidos para essas células juntamente aos genes que os constituem. Segundo a Segunda Lei de Mendel, os genes, durante a formação dos gametas, segregam-se independentemente. Entretanto, para que isso ocorra, é necessário que os genes em questão estejam em pares de cromossomos homólogos diferentes. Quando os genes estão localizados em um mesmo cromossomo, essa segregação não acontece e todos são transmitidos durante a meiose. Esse fenômeno recebe o nome de linkage, ligamento fatorial ou ligação gênica.



Existem duas formas de os alelos estarem arranjados em um indivíduo duplo-heterozigoto (AaBb) com pares de genes em *linkage*:



Observe a diferença entre o arranjo cis e trans

→ **Arranjo cis:** Em um cromossomo existe apenas alelos dominantes (AB), enquanto no outro encontramos alelos recessivos (ab).

→ **Arranjo trans:** Em cada cromossomo homólogo encontramos um alelo dominante e outro recessivo (Ab/Bb).

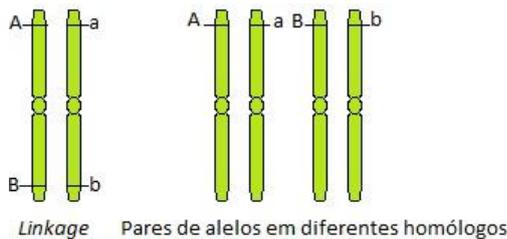
Para revisar:

**Segunda Lei de Mendel**

Se fosse um caso de Segunda Lei de Mendel, os dois pares de alelos estariam localizados em pares distintos de cromossomos homólogos, e seriam formados quatro tipos de gametas: PV, Pv, pV e pv.

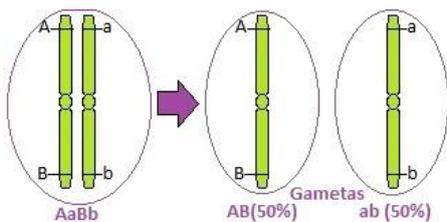
**Ligação gênica**

No caso dos caracteres cor do corpo e tamanho da asa em drosófilas, os dois pares de alelos estão no mesmo par de cromossomos homólogos e formam-se apenas dois tipos de gametas: PV e pv.



Os genes estão em linkage quando se apresentam no mesmo cromossomo

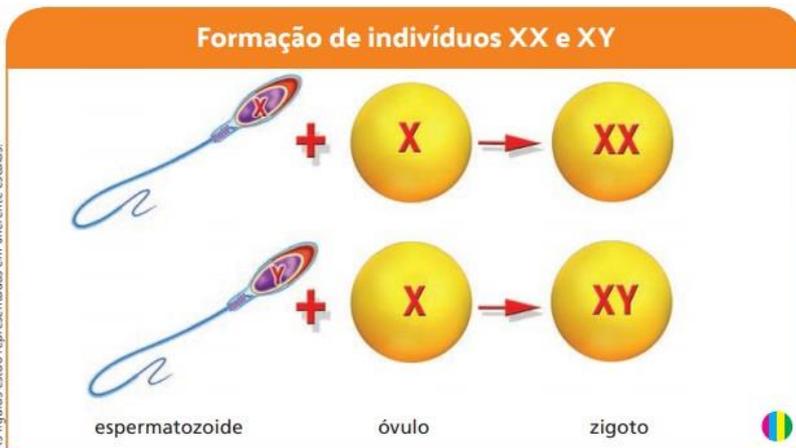
Observe a figura a seguir que ilustra a formação de gametas:



Observe que, na formação dos gametas, os genes migram juntos

Veja que os genes A e B estão presentes em um cromossomo, enquanto o a e b estão no seu homólogo. Os genes A e B migrarão juntos na

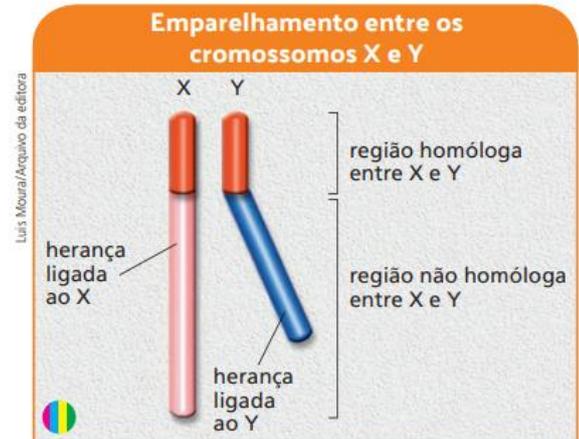
Na espécie humana, como você já sabe, cada célula que forma o corpo possui 23 pares de cromossomos homólogos, dos quais 22 pares são autossômicos. Os autossomos são os que condicionam as características do corpo, não responsáveis pela determinação do sexo. Essa responsabilidade cabe ao par de cromossomos sexuais, representados por X e Y. O sexo feminino é determinado por um par de cromossomos X (XX) e o sexo masculino é determinado pelo par XY. Tanto no óvulo quanto no espermatozóide existe apenas um cromossomo sexual, pois os gametas são células haplóides. No óvulo, o cromossomo sexual é sempre X, enquanto no espermatozóide tanto pode ser o X, como o Y. No momento da fecundação, se o espermatozóide for portador do cromossomo X, será formado um zigoto XX, que dará origem a uma mulher; se for portador do cromossomo Y, formará um zigoto XY, que dará origem a um homem.



Os cromossomos X e Y são diferentes no tamanho e na forma; assim, o emparelhamento entre eles, que ocorre na prófase I da meiose, é incompleto. Existe uma região homóloga, onde ocorre emparelhamento; a outra parte dos cromossomos não fica emparelhada na meiose I devido a diferenças na forma e no tamanho (o cromossomo X é maior). Os alelos situados na região homóloga interagem da mesma forma que acontece nos autossomos, mas os alelos que se situam na região não homóloga não interagem, ou seja, não possuem um alelo ocupando o loco correspondente no outro cromossomo e atuam de forma independente. Se o gene considerado estiver na região não homóloga do cromossomo X, teremos um caso de herança ligada ao X ou herança ligada ao sexo. Se o gene estiver na região não homóloga do cromossomo Y, teremos um caso de herança ligada ao Y ou herança holândrica.

Os genes holândricos, como estão localizados na região não homóloga do cromossomo Y em relação ao cromossomo X, só ocorrem nos indivíduos do sexo masculino; o termo andro significa homem (ou masculino) e deu origem a vários vocábulos que se referem ao sexo

masculino, como androceu, a parte masculina das flores. Holândrico (holo = todo; andro = homem) pode ser interpretado como “referente ao homem”. O cromossomo Y apresenta poucos genes holândricos, todos relacionados à formação e diferenciação de testículos. Já o cromossomo X possui grande número de genes, muitos deles relacionados a doenças. A seguir, veremos dois casos bem conhecidos de herança ligada ao cromossomo X: o daltonismo e a hemofilia.



O **daltonismo** caracteriza-se por deficiência na percepção de cores por células especializadas da retina (“cegueira” parcial para cores). Existem três tipos de daltonismo, um deles com herança ligada ao X. Neste caso, o daltônico tem dificuldade para distinguir as cores vermelha e verde, e tons relacionados a essas cores. O alelo responsável por esse tipo de daltonismo situa-se na região não homóloga do cromossomo X e é recessivo (d) em relação ao seu alelo (D), que condiciona a percepção total das cores.

Assim, a mulher pode apresentar três genótipos em relação ao daltonismo:

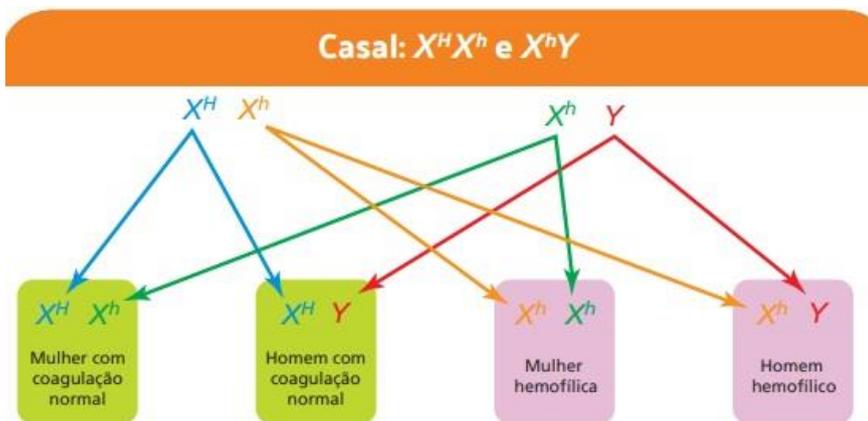
- ›  $X^D X^D$  – não apresenta daltonismo;
- ›  $X^D X^d$  – não apresenta daltonismo, pois em um dos cromossomos X está o alelo dominante D, que não causa o daltonismo;
- ›  $X^d X^d$  – daltônica, pois o genótipo homocigótico recessivo condiciona este tipo de daltonismo. O homem, em relação ao daltonismo, pode apresentar somente dois genótipos:

- ›  $X^D Y$  – não daltônico;
- ›  $X^d Y$  – daltônico.

Você deve ter percebido que uma mulher daltônica possui, necessariamente, o alelo que condiciona o daltonismo nos seus dois cromossomos X; para um homem, que possui apenas um cromossomo X, a presença de um alelo d condiciona o daltonismo, pois não há interação com outro alelo.

A **hemofilia** é uma doença caracterizada por extrema dificuldade de coagulação sanguínea. Assim, a pessoa hemofílica é propensa a hemorragias, sempre difíceis de serem estancadas. Indivíduos hemofílicos não sintetizam um dos fatores de coagulação, ou seja, uma das substâncias necessárias à formação de coágulos. Chamando de H o alelo dominante, que condiciona a produção do fator de coagulação, e de h o alelo recessivo, que condiciona a hemofilia, podemos ter as seguintes situações:

- > a mulher com coagulação normal pode ter o genótipo  $X^H X^H$  ou  $X^H X^h$ ;
- > a mulher hemofílica possui o genótipo  $X^h X^h$ ;
- > o homem com coagulação normal possui o genótipo  $X^H Y$ ;
- > o homem hemofílico possui o genótipo  $X^h Y$ .



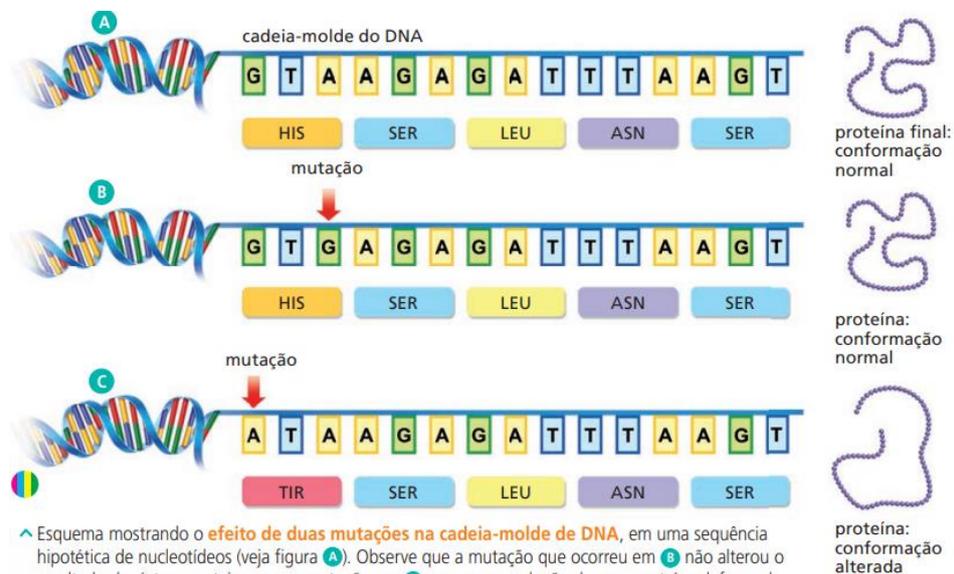
Existem casos em que a manifestação de um fenótipo, além de depender do genótipo, depende também **do sexo do indivíduo**. Um exemplo é o da calvície hereditária. A calvície hereditária é condicionada pelos alelos C1 e C2, que se localizam em um par de autossomos homólogos. Quando o alelo C1 ocorre em homozigose (C1 C1), o indivíduo será calvo (homem ou mulher); quando o alelo C2 ocorre em homozigose (C2C2), o indivíduo não será calvo, seja homem ou mulher. No entanto, o indivíduo heterozigótico (C1C2) será calvo se for do sexo masculino e não será calvo se for mulher: o alelo C1 é dominante no homem e recessivo na mulher.

Existem genes que se manifestam apenas em homens ou apenas em mulheres. Um exemplo é o caráter hipertricose auricular, que corresponde à produção excessiva de pelos no pavilhão auricular. O alelo que determina a hipertricose auricular localiza-se em um cromossomo autossômico e pode estar presente em homens e mulheres. O seu efeito

é, contudo, **limitado ao sexo masculino**. Mulheres podem ser portadoras do alelo, mas não desenvolvem o caráter.

**Mutações** são alterações que ocorrem no material genético, ou seja, na sequência de nucleotídeos que formam as cadeias do DNA. Nucleotídeos podem ser substituídos, perdidos ou acrescentados, modificando a sequência original. Essas mutações podem ser espontâneas ou provocadas por agentes mutagênicos, como radiação ou substâncias químicas. No núcleo celular existem enzimas que compõem um verdadeiro sistema de reparo, corrigindo alterações na sequência de nucleotídeos após a duplicação do DNA, na interfase. Algumas mutações, no entanto, podem “escapar” da ação dessas enzimas. As consequências de uma mutação no DNA variam de acordo com alguns fatores: > local da mutação – os cientistas descobriram que cerca de 95% do DNA humano não corresponde a genes: são regiões que não codificam proteínas. Se a mutação ocorre em um gene, podem acontecer alterações na síntese de uma proteína. > tipo de mutação – substituições de nucleotídeos nem sempre resultam na alteração da proteína.

Existem outros tipos de mutação gênica, além da substituição de nucleotídeos, como a adição ou a retirada de um nucleotídeo da sequência de DNA.



Esquema mostrando o efeito de duas mutações na cadeia-molde de DNA, em uma sequência hipotética de nucleotídeos (veja figura A). Observe que a mutação que ocorreu em B não alterou o resultado da síntese proteica, mas a mutação em C causou a produção de uma proteína deformada e não funcional. As figuras estão representadas fora de escala.

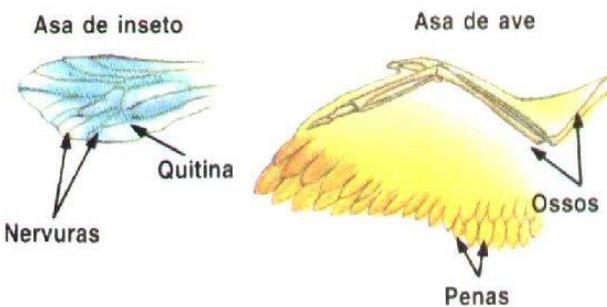
Nesses casos, sempre há alterações nos códons seguintes ao local da mutação. Mutações no DNA, como as que vimos aqui, podem ser transmitidas aos descendentes, quando ocorrem nos gametas ou nas células que irão formá-los.

## EVOLUÇÃO

Entender a diversidade de seres vivos sempre foi um desafio para os cientistas. Como essa diversidade surgiu, se estabeleceu e se modificou ao longo do tempo? Muitas ideias foram propostas para explicar esses processos, sendo atualmente aceitas aquelas que procuram estabelecer o parentesco evolutivo entre grupos ou a história evolutiva dos seres vivos. Isso porque existem fortes evidências que corroboram o processo evolutivo, ou seja, evidências de que ocorrem modificações nos organismos ao longo do tempo, podendo levar ao surgimento de novas espécies e à extinção de outras. As espécies não são imutáveis, como se pensava antigamente.

A evolução tem suas bases fortemente corroboradas pelo estudo comparativo dos organismos, sejam fósseis ou atuais. Os tópicos mais importantes desse estudo serão apresentados de forma resumida. Por **homologia** entende-se semelhança entre estruturas de diferentes organismos, devida unicamente a uma mesma origem embriológica. As estruturas homólogas podem exercer ou não a mesma função. O braço do homem, a pata do cavalo, a asa do morcego e a nadadeira da baleia são estruturas homólogas entre si, pois todas têm a mesma origem embriológica. Nesses casos, não há similaridade funcional. Ao analisar, entretanto, a asa do morcego e a asa da ave, verifica-se que ambas têm a mesma origem embriológica e estão, ainda associadas à mesma função. A homologia entre estruturas de 2 organismos diferentes sugere que eles se originaram de um grupo ancestral comum, embora não indique um grau de proximidade comum, partem várias linhas evolutivas que originaram várias espécies diferentes, fala-se em irradiação adaptativa.

Homologia: mesma origem embriológica de estruturas de diferentes organismos, sendo que essas estruturas podem ter ou não a mesma função. As estruturas homólogas sugerem ancestralidade comum.

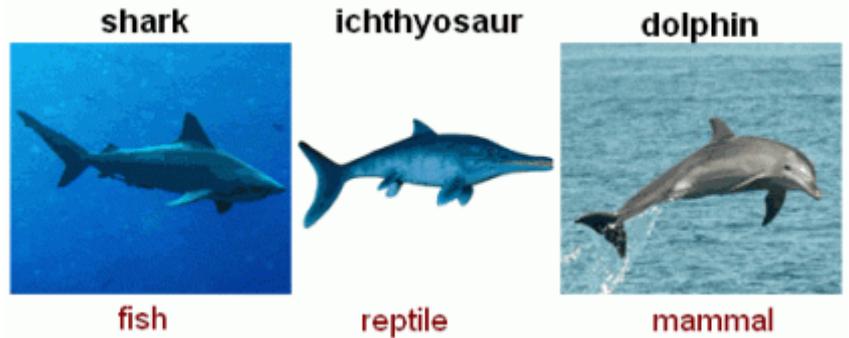


### ESTRUTURAS ANÁLOGAS

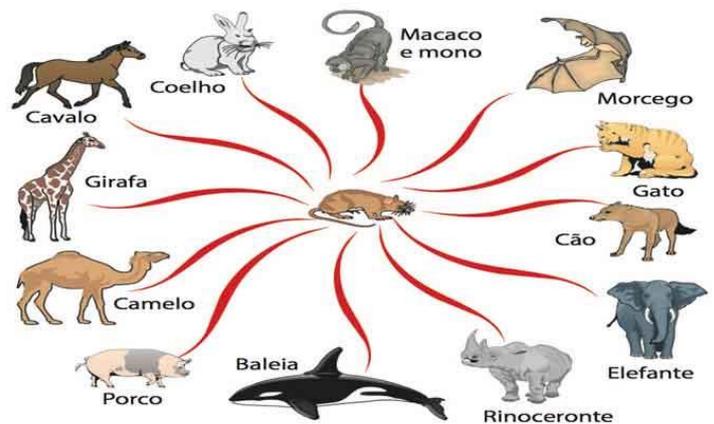
Analogia: refere-se à semelhança morfológica entre estruturas, em função de adaptação à execução da mesma função. As asas dos insetos e

das aves são estruturas diferentes quanto à origem embriológica, mas ambas estão adaptadas à execução de uma mesma função: o vôo. São, portanto, estruturas análogas.

As estruturas análogas não refletem por si só qualquer grau de parentesco. Elas fornecem indícios da adaptação de estruturas de diferentes organismos a uma mesma variável ecológica. Quando organismos não intimamente aparentados apresentam estruturas semelhantes exercendo a mesma função, dizemos que eles sofreram evolução convergente.



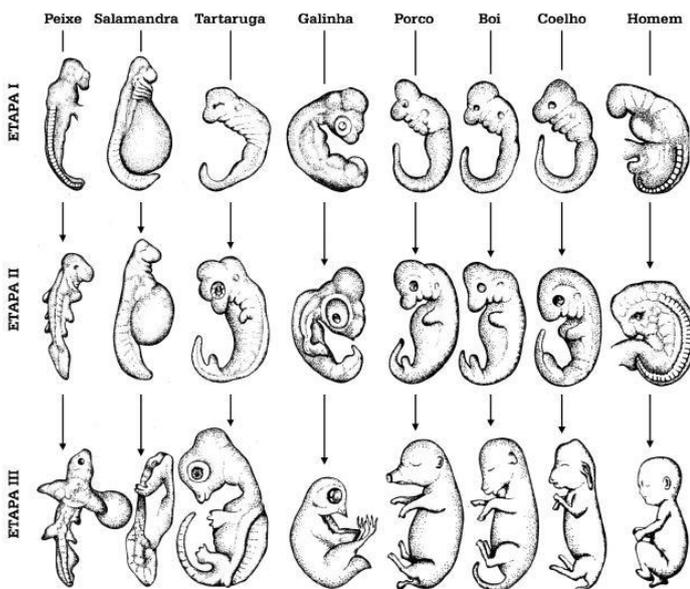
Ao contrário da **irradiação adaptativa** (caracterizada pela diferenciação de organismos a partir de um ancestral comum dando origem a vários grupos diferentes adaptados a explorar ambientes diferentes) a **evolução convergente** ou **convergência evolutiva** é caracterizada pela adaptação de diferentes organismos a uma condição ecológica igual, assim, as formas do corpo do golfinho, dos peixes, especialmente tubarões, e de um réptil fóssil chamado ictiossauro são bastante semelhantes, adaptadas à natação. Neste caso, a semelhança não é sinal de parentesco, mas resultado da adaptação desses organismos ao ambiente aquático.



**Órgãos vestigiais** são aqueles que, em alguns organismos, encontram-se com tamanho reduzido e geralmente sem função, mas em outros organismos são maiores e exercem função definitiva. A importância evolutiva desses órgãos vestigiais é a indicação de uma ancestralidade comum. Um exemplo bem conhecido de órgão vestigial no

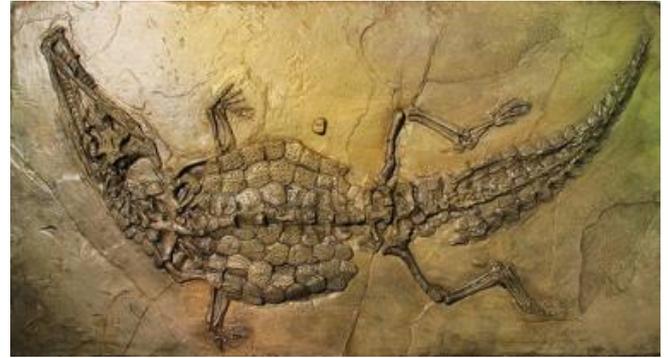
homem é o apêndice vermiforme, estrutura pequena e sem função que parte do ceco (estrutura localizada no ponto onde o intestino delgado liga-se ao grosso). Nos mamíferos roedores, o ceco é uma estrutura bem desenvolvida, na qual o alimento parcialmente digerido é armazenado e a celulose, abundante nos vegetais ingeridos, é degradada pela ação de bactérias especializadas. Em alguns desses animais o ceco é uma bolsa contínua e em outros, como o coelho, apresenta extremidade final mais estreita, denominada apêndice, que corresponde ao apêndice vermiforme humano.

O estudo comparado da embriologia de diversos vertebrados mostra a grande semelhança de padrão de desenvolvimento inicial. À medida que o embrião se desenvolve, surgem características individualizantes e as semelhanças diminuem. Essa semelhança também foi verificada no desenvolvimento embrionário de todos animais metazoários. Nesse caso, entretanto, quanto mais diferentes são os organismos, menor é o período embrionário comum entre eles.



É considerado fóssil qualquer indício da presença de organismos que viveram em tempos remotos da Terra. As partes duras do corpo dos organismos são aquelas mais frequentemente conservadas nos processos de fossilização, mas existem casos em que a parte mole do corpo também é preservada. Dentre estes podemos citar os fósseis congelados, como, por exemplo, o mamute encontrado na Sibéria do norte e os fósseis de insetos encontrados em âmbar. Neste último caso, os insetos que penetravam na resina pegajosa, eliminada pelos pinheiros, morriam. A resina endurecia, transformando-se em âmbar, e o inseto aí contido era preservado nos detalhes de sua estrutura. Também são consideradas fósseis impressões deixadas por organismos que viveram

em eras passadas, como, por exemplo, pegadas de animais extintos e impressões de folhas, de penas de aves extintas e da superfície da pele dos dinossauros. A importância do estudo dos fósseis para a evolução está na possibilidade de conhecermos organismos que viveram na Terra em tempos remotos, sob condições ambientais distintas das encontradas atualmente, e que podem fornecer indícios de parentesco com as espécies atuais. Por isso, os fósseis são considerados importantes testemunhos da evolução.



Antigamente, acreditava-se que as características adquiridas pelo uso ou desuso fossem transmitidas aos descendentes. A ideia de que características adquiridas seriam transmitidas aos descendentes foi incorporada à teoria evolutiva proposta por um naturalista francês de nome **Jean-Baptiste Lamarck**, que viveu entre 1744 e 1829. Sua teoria foi a primeira tentativa de explicação da evolução de forma sistemática, publicada em seu livro *Filosofia zoológica* (tradução do título em francês), no ano de 1809. Para Lamarck, o uso de determinada estrutura do corpo faz com que essa estrutura se desenvolva, ocorrendo o contrário em caso da falta de uso. O cientista propôs que as modificações ocorridas em uma estrutura em função do uso ou desuso durante a vida seriam transmitidas aos descendentes, desde que fossem úteis à sua sobrevivência. Ocorreria, então, transmissão de características adquiridas pelo uso ou desuso. Em sua obra, Lamarck utilizou diversas observações de animais para sustentar sua proposta de mecanismo de evolução. A existência de aves pernaltas, por exemplo, poderia ser explicada assim: as aves teriam adquirido pernas longas devido ao esforço para andar em águas rasas, possibilitando a captura de peixes e outras presas aquáticas sem molhar as penas. Com o esforço, as pernas teriam se desenvolvido e essa característica seria transmitida aos descendentes, que, assim, teriam pernas cada vez mais longas. No entanto, mesmo que as pernas das aves se tornassem mais compridas ao longo da vida devido ao esforço (situação hipotética), essa característica adquirida não poderia ser transmitida aos descendentes.

A transmissão de caracteres adquiridos, proposta por Lamarck, não está de acordo com as leis da hereditariedade: apenas características determinadas no genótipo e presentes nos gametas de um indivíduo são hereditárias, e características poderão estar presentes nos descendentes. Características adquiridas durante a vida, que não resultam em alterações no material genético das células formadoras de gametas, não são hereditárias. Lamarck não poderia ter explicado corretamente a transmissão das características hereditárias, pois na época nada se sabia sobre genes, DNA e os conhecimentos sobre herança eram incipientes. A teoria evolutiva de Lamarck, embora não explicando corretamente como ocorre a evolução, tem grande valor histórico, pois ele teve o mérito de relacionar muitos exemplos de adaptações, ou seja, características dos seres vivos que estão relacionadas à sua sobrevivência no ambiente. Além disso, foi o primeiro a falar em evolução, em uma época em que esse assunto não era aceito pela maioria da comunidade científica.

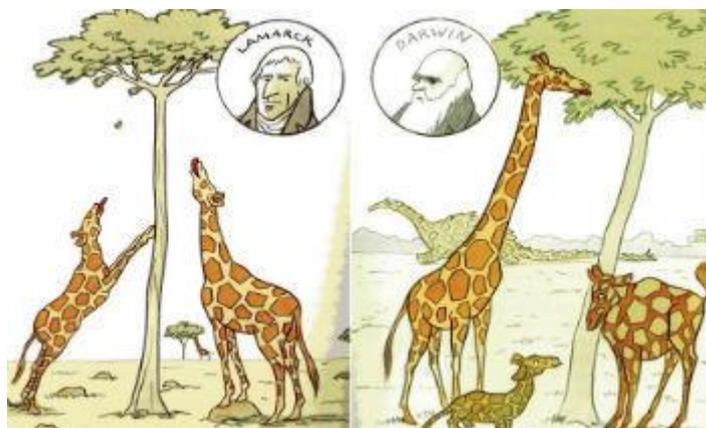
**Charles Darwin** (1809-1882), naturalista inglês, desenvolveu uma teoria evolutiva que é a base da moderna teoria sintética: a teoria da seleção natural. Segundo Darwin, os organismos mais bem adaptados ao meio têm maiores chances de sobrevivência do que os menos adaptados, deixando um número maior de descendentes. Os organismos mais bem adaptados são, portanto, selecionados para aquele ambiente.

Os princípios básicos das ideias de Darwin podem ser resumidos no seguinte modo:

- Os indivíduos de uma mesma espécie apresentam variações em todos os caracteres, não sendo portanto idênticos entre si.
- Todo organismo tem grande capacidade de reprodução, produzindo muitos descendentes. Entretanto, apenas alguns dos descendentes chegam à idade adulta.
- O número de indivíduos de uma espécie é mantido mais ou menos constante ao longo das gerações.
- Assim, há grande "luta" pela vida entre os descendentes, pois apesar de nascerem muitos indivíduos poucos atingem a maturidade, o que mantém constante o número de indivíduos na espécie.
- Na "luta" pela vida, organismos com variações favoráveis às condições do ambiente onde vivem têm maiores chances de sobreviver, quando comparados aos organismos com variações menos favoráveis.
- Os organismos com essas variações vantajosas têm maiores chances de deixar descendentes.

Como há transmissão de caracteres de pais para filhos, estes apresentam essas variações vantajosas;

Assim, ao longo das gerações, a atuação da seleção natural sobre os indivíduos mantém ou melhora o grau de adaptação destes ao meio.



O naturalista inglês Alfred Russel Wallace (1823-1913) chegou a conclusões semelhantes às de Darwin a respeito do processo evolutivo por seleção natural, mas de forma independente. Ele se baseou em observações feitas em viagens à América do Sul e ao arquipélago Malaio (atualmente Malásia e Indonésia). Charles Darwin, desde sua viagem ao redor do mundo, passou décadas revendo material coletado e analisando evidências. Reuniu grande quantidade de argumentos para sustentar sua teoria, mas ainda sentia-se receoso quanto a publicá-la. Quando Wallace se preparava para publicar suas ideias, entrou em contato com Darwin por carta e os dois cientistas decidiram então anunciar suas conclusões simultaneamente. Como Darwin possuía número maior de observações para suportar suas hipóteses, publicadas na obra *A origem das espécies*, ele acabou sendo reconhecido mundialmente como o "pai" da teoria da evolução por seleção natural.

A Teoria sintética da evolução ou **Neodarwinismo** foi formulada por vários pesquisadores durante anos de estudos, tomando como essência as noções de Darwin sobre a seleção natural e incorporando noções atuais de genética. A mais importante contribuição individual da Genética, extraída dos trabalhos de Mendel, substituiu o conceito antigo de herança através da mistura de sangue pelo conceito de herança através de partículas: os genes. A teoria sintética considera, conforme Darwin já havia feito, a população como unidade evolutiva. A população pode ser definida como agrupamento de indivíduos de uma mesma espécie que ocorrem em uma mesma área geográfica, em um mesmo intervalo de tempo.

Para melhor compreender esta definição, é importante conhecer o conceito biológico de espécie: agrupamento de populações naturais, real ou potencialmente intercruzantes e

reprodutivamente isolados de outros grupos de organismos. Quando, nesta definição, se diz potencialmente intercruzantes, significa que uma espécie pode ter populações que não cruzem naturalmente por estarem geograficamente separadas. Entretanto, colocadas artificialmente em contato, haverá cruzamento entre os indivíduos, com descendentes férteis.

Por isso, são potencialmente intercruzantes. A definição biológica de espécie só é válida para organismos com reprodução sexuada, já que, já que, no caso dos organismos com reprodução assexuada, as semelhanças entre características morfológicas é que definem os agrupamentos em espécies. Observando as diferentes populações de indivíduos com reprodução sexuada, pode-se notar que não existe um indivíduo igual ao outro. Exceções a essa regra poderiam ser os gêmeos univitelínicos, mas mesmo eles não são absolutamente idênticos, apesar de o patrimônio genético inicial ser o mesmo. Isso porque podem ocorrer alterações somáticas devidas à ação do meio. A enorme diversidade de fenótipos em uma população é indicadora da variabilidade genética dessa população, podendo-se notar que esta é geralmente muito ampla.

A compreensão da variabilidade genética e fenotípica dos indivíduos de uma população é fundamental para o estudo dos fenômenos evolutivos, uma vez que a evolução é, na realidade, a transformação estatística de populações ao longo do tempo, ou ainda, alterações na frequência dos genes dessa população. Os fatores que determinam alterações na frequência dos genes são denominados fatores evolutivos. Cada população apresenta um conjunto gênico, que sujeito a fatores evolutivos, pode ser alterado. O conjunto gênico de uma população é o conjunto de todos os genes presentes nessa população. Assim, quanto maior é a variabilidade genética.

Os fatores evolutivos que atuam sobre o conjunto gênico da população podem ser reunidos duas categorias:

- Fatores que tendem a aumentar a variabilidade genética da população: mutação gênica, mutação cromossômica, recombinação;
- Fatores que atuam sobre a variabilidade genética já estabelecida: seleção natural, migração e oscilação genética.
- A integração desses fatores associada ao isolamento geográfico pode levar, ao longo do tempo, ao desenvolvimento de mecanismos de isolamento reprodutivo, quando, então, surgem novas espécies. Nos capítulos seguintes, esses tópicos serão abordados com maiores detalhes.

A **deriva genética** ocorre quando uma situação do acaso determina, aleatoriamente, a sobrevivência de alguns indivíduos de uma população, que passarão suas características hereditárias aos descendentes. Ao contrário do processo de seleção natural, esses indivíduos sobrevivem por acaso e não como resultado das adaptações. Geralmente, são desastres ecológicos que levam à deriva genética, como erupções vulcânicas, incêndios ou grandes inundações. Vamos considerar um exemplo hipotético: um incêndio de grandes proporções atinge a mata onde vive uma pequena população de macacos. Todos morrem, com exceção de um casal que, no momento do incêndio, estava no lago, protegido das chamas. O casal sobrevivente produz prole com problemas visuais, condição hereditária que, antes, era muito rara na população. Após o incêndio, no entanto, praticamente toda a população passou a apresentar essa característica, resultado do processo de deriva genética. O exemplo hipotético mostra que estudar a evolução de uma espécie não é simples. Nem todas as características predominantes em uma população podem ser interpretadas como adaptações e outros fatores, além da seleção natural, estão envolvidos na história evolutiva dos seres vivos.

O processo em que populações de uma mesma espécie acumulam diferenças em seu conjunto gênico, originando espécies distintas, é conhecido por **especiação**. Sabemos que mutações gênicas, mutações cromossômicas e recombinação gênica são processos que ocorrem ao acaso e podem modificar certos alelos e certas características de indivíduos de uma população. Por seleção natural, as condições vantajosas tendem a ser mantidas. Assim, duas populações, cada uma ocupando um local distinto, poderão apresentar variações genéticas distintas.

Se essas duas populações entrarem em contato e não houver mais possibilidade de cruzamento com a formação de descendentes férteis, podemos dizer que cada população pertence, agora, a espécies diferentes e não mais à mesma espécie. O **isolamento reprodutivo** é uma evidência de que ocorreu especiação. Se, porém, não foi estabelecido o isolamento reprodutivo entre os indivíduos dessas duas populações, então elas pertencem à mesma espécie. Entre os animais, é bem conhecido o exemplo do híbrido resultante do cruzamento entre indivíduos das espécies *Equus caballus* (cavalo e égua) e *Equus asinus* (jumento e jumenta). O animal resultante desse cruzamento, conhecido popularmente por mula (quando fêmea) e por burro (quando macho), possui número cromossômico intermediário ao de seus parentais e torna-se um adulto saudável, porém estéril.

O isolamento reprodutivo pode ocorrer em diferentes níveis, desde a incompatibilidade entre gametas, sem a formação de embriões, até a formação de descendentes híbridos, mas que são estéreis. O maracujazeiro é um exemplo de planta que possui mecanismo de isolamento reprodutivo.

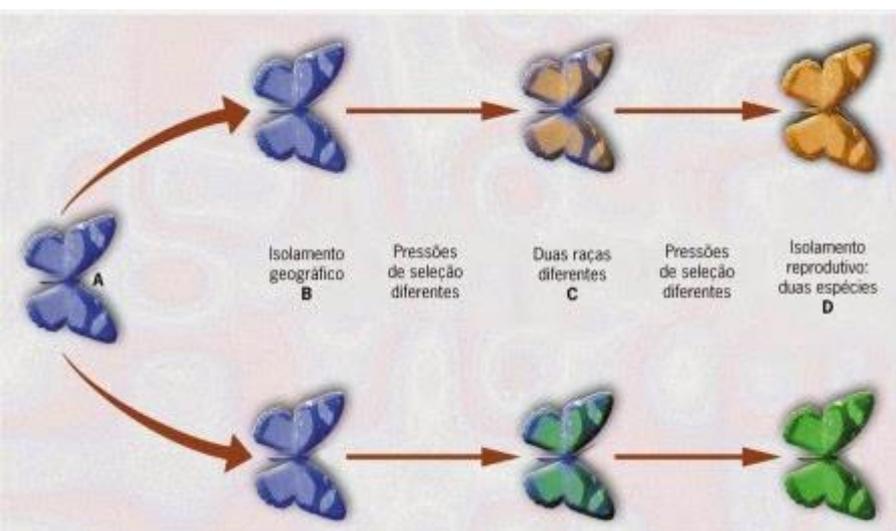
Todo esse raciocínio baseia-se no **conceito biológico de espécie**: grupo de organismos que, potencialmente, podem gerar descendentes férteis. Se dois indivíduos de populações diferentes não são capazes de gerar descendentes férteis, é um indício de que existem diferenças genéticas significativas entre eles e que pertencem a espécies distintas. Esse conceito tem sido criticado atualmente. Ele não se aplica aos fósseis, por exemplo, pois não há como testar a reprodução, afinal, são seres extintos. Além disso, não se aplica para organismos que apresentam apenas reprodução assexuada, como moneras e muitos protistas. Assim, outros conceitos têm sido propostos, mas ainda não há consenso entre os cientistas no sentido de considerar qual o melhor. Um desses outros conceitos, e que é bem aceito, considera espécie o conjunto de populações que compartilham características que são exclusivas delas. Essas características são chamadas derivadas, pois resultam de um processo evolutivo que leva à modificação de características primitivas, presentes no ancestral. A partir dos estudos em evolução foi possível elaborar um conceito filogenético de espécie, que difere do conceito biológico, e permite contemplar não apenas as espécies atuais com reprodução sexuada, mas também os organismos atuais que apresentam apenas reprodução assexuada e os organismos fósseis – para os quais nunca saberemos se havia reprodução com geração de descendentes férteis.

- As relações que um bando de Bugios tem com os outros seres da floresta;
- A influência do clima sobre todos os organismos da floresta;
- A influência das florestas neotropicais sobre o clima;
- A influência da ação do ser humano sobre o clima de todo o planeta.

Você pode concluir que a ecologia é um campo de estudo muito amplo. E todas essas informações nos ajudam a melhorar o ambiente em que vivemos, diminuindo a poluição, conservando os recursos naturais e protegendo nossa saúde e a das gerações futuras. Para entendermos melhor esse assunto, precisamos debater alguns conceitos básicos de Ecologia:

O **habitat** é o lugar na natureza onde uma espécie vive. Por exemplo, o habitat da planta vitória régia são os lagos e as matas alagadas da Amazônia, enquanto o habitat do panda são as florestas de bambu das regiões montanhosas na China e no Vietnã. O **nicho** é um conjunto de condições em que o indivíduo (ou uma população) vive e se reproduz. Pode se dizer ainda que o nicho é o "modo de vida" de um organismo na natureza. E esse modo de vida inclui tanto os fatores físicos - como a umidade, a temperatura, etc - quanto os fatores biológicos - como o alimento e os seres que se alimentam desse indivíduo. Vamos explicar melhor: O nicho do Bugio, por exemplo, inclui o que ele come, os seres que se alimentam dele, os organismos que vivem juntos ou próximo dele, e assim por diante. No caso de uma planta, o nicho inclui os sais minerais que ela retira do solo, a parte do solo de onde os retira, a relação com as outras espécies, e assim por diante. O nicho mostra também como as espécies exploram os recursos do ambiente. Assim a zebra, encontrada nas savanas da África, come as ervas rasteiras, enquanto a girafa, vivendo no mesmo hábitat, come as folhas das árvores. Observe que cada espécie explora os recursos do ambiente de forma um pouco diferente.

Indivíduos de uma mesma espécie que vivem em determinada região formam uma **população**. Por exemplo: as onças do pantanal formam uma população. As capivaras também podem ser encontradas no pantanal, mas fazem parte de outra população, já que são de outra espécie. Às vezes a população pode aumentar muito, por exemplo, em meados do século XIX, alguns coelhos selvagens foram levados da Inglaterra para a Austrália, para serem usados nas caçadas. Na Europa, as populações de coelhos eram naturalmente



## ECOLOGIA

Ecologia é a ciência que estuda as relações dos seres vivos entre si e com o ambiente. A Ecologia pode estudar:

controladas por diversos predadores e parasitas. Na Austrália, porém não existiam tantas espécies que atacavam coelhos. O resultado é que esse animal se reproduziu rapidamente chegando a atingir mais de 200 milhões de indivíduos, que passaram a destruir as plantações e as pastagens da Austrália. Isso mostra o perigo de se introduzir num novo ambiente um organismo não nativo.

**Comunidade** é o conjunto de populações de diversas espécies que habitam uma mesma região num determinado período. Ex.: seres de uma floresta, de um rio, de um lago de um brejo, dos campos, dos oceanos, etc. Já **ecossistema** é o conjunto dos relacionamentos que a fauna, flora, microorganismos (fatores bióticos) e o ambiente, composto pelos elementos solo, água e atmosfera (fatores abióticos) mantém entre si. Todos os elementos que compõem o ecossistema se relacionam com equilíbrio e harmonia e estão ligados entre si. A alteração de um único elemento causa modificações em todo o sistema podendo ocorrer a perda do equilíbrio existente. Se por exemplo, uma grande área com mata nativa de determinada região for substituída pelo cultivo de um único tipo de vegetal, pode-se comprometer a cadeia alimentar dos animais que se alimentam de plantas, bem como daqueles que se alimentam destes animais. A delimitação do ecossistema depende do nível de detalhamento do estudo. Por exemplo, se quisermos estudar o ecossistema de um canteiro do jardim ou do ecossistema presente dentro de uma planta como a bromélia.

**Biosfera** é o conjunto de todos os ecossistemas da Terra. É um conceito da Ecologia, relacionado com os conceitos de litosfera, hidrosfera e atmosfera. Incluem-se na biosfera todos os organismos vivos que vivem no planeta, embora o conceito seja geralmente alargado para incluir também os seus habitats. A biosfera inclui todos os ecossistemas que estão presentes desde as altas montanhas (até 10.000 m de altura) até o fundo do mar (até cerca de 10.000 m de profundidade). Nesses diferentes locais, as condições ambientais também variam. Assim, a seleção natural atua de modo diversificado sobre os seres vivos em cada região. Sob grandes profundidades no mar, por exemplo, só sobrevivem seres adaptados à grande pressão que a água exerce sobre eles e a baixa (ou ausente) luminosidade. Já nas grandes altitudes montanhosas, sobrevivem seres adaptados a baixas temperaturas e ao ar rarefeito. Na biosfera, portanto, o ar, a água, o

solo, a luz são fatores diretamente relacionados à vida.

A **Cadeia Alimentar** é o percurso de matéria e energia que se inicia sempre com seres produtores e termina nos decompositores. Ela corresponde à relação de alimentação, ou seja, à absorção de nutrientes e energia entre os seres vivos. Podemos dizer que a cadeia alimentar refere-se ao processo em que um ser vivo serve de alimento para outro. Os componentes da cadeia alimentar correspondem a toda parte viva que a compõe. Eles são classificados em produtores, consumidores e decompositores, cada um deles representa um nível trófico.

Os **produtores** são os seres vivos que fabricam o seu próprio alimento através da fotossíntese, ou seja, são seres autótrofos. Eles representam o primeiro nível trófico da cadeia alimentar e não precisam se alimentar de outros organismos. São exemplos de produtores as plantas e o fitoplâncton. Os **consumidores** são os seres heterótrofos, ou seja, não produzem o seu próprio alimento e por isso necessitam buscar em outros seres a energia para sobreviver. Eles dividem-se basicamente em:

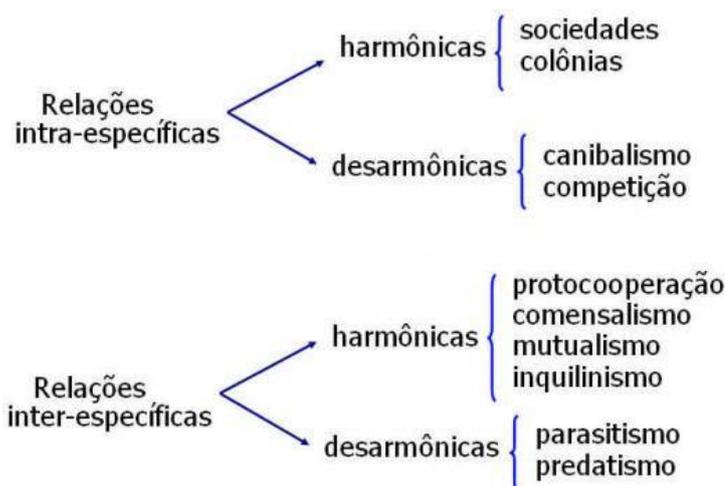
1. Consumidores primários: Representados pelos herbívoros, alimentam-se dos seres produtores.
2. Consumidores secundários: Representados pelos carnívoros, alimentam-se dos consumidores primários.
3. Consumidores terciários: Representados pelos carnívoros de grande porte e predadores.

Importante lembrar que nesse nível trófico estão os chamados detritívoros, os animais que se alimentam de restos orgânicos. São exemplos os abutres, minhocas, urubus, moscas, etc. Os Animais Onívoros também podem ser consumidores primários ou secundários. Os seres **decompositores** são importantes para o ciclo da cadeia alimentar, eles alimentam-se da matéria orgânica em decomposição, a fim de obter nutrientes e energia. Nesse processo, transformam a matéria orgânica em inorgânica, que será utilizada pelos produtores, recomeçando o ciclo. São exemplos de decompositores os fungos, bactérias e alguns protozoários. Os níveis tróficos



representam a ordem em que a energia flui numa determinada cadeia alimentar. Em cada nível trófico existe um grupo de organismos com as mesmas características alimentares. Por exemplo, os consumidores primários alimentam-se apenas de vegetais, enquanto que os consumidores secundários e terciários são carnívoros.

As relações ecológicas ocorrem dentro da mesma população (isto é, entre indivíduos da mesma espécie), ou entre populações diferentes (entre indivíduos de espécies diferentes). Essas relações estabelecem-se na busca por alimento, água, espaço, abrigo, luz ou parceiros para reprodução. Tanto as relações harmônicas como as desarmônicas podem ocorrer entre indivíduos da mesma espécie e indivíduos de espécies diferentes. Quando as interações ocorrem entre organismos da mesma espécie, são denominadas relações intra-específicas ou homotípicas. Quando as relações acontecem entre organismos de espécies diferentes, recebem o nome de interespecíficas ou heterotípicas.



Sociedade: União permanente entre indivíduos em que há divisão de trabalho. Ex.: insetos sociais (abelhas, formigas e cupins). O que mais chama a atenção em uma colméia é a sua organização. Todo o trabalho é feito por abelhas que não se reproduzem, as operárias. Elas se encarregam de colher o néctar das flores, de limpar e defender a colméia e de alimentar as rainhas e as larvas (as futuras abelhas) com mel, que é produzido a partir do néctar. A rainha é a única fêmea fértil da colméia coloca os ovos que irão originar outras operárias e também os zangões (os machos), cuja única função é fecundar a rainha. Portanto, uma sociedade é composta por um grupo de indivíduos da mesma espécie que vivem juntos de forma permanente e cooperando entre si. Entre os mamíferos também encontramos vários exemplos de sociedades, como os dos castores, a dos gorilas, a dos babuínos e a da própria espécie humana. A divisão de trabalho não é tão rigorosa quanto as abelhas, mas também há várias formas de cooperação. É comum, por exemplo, um animal soltar um grito de alarme

quando vê um predador se aproximar do grupo; ou mesmo um animal dividir alimento com outros.

Colônia é um grupo de organismos da mesma espécie que formam uma entidade diferente dos organismos individuais. Por vezes, alguns destes indivíduos especializam-se em determinadas funções necessárias à colônia. Um recife de coral, por exemplo, é construído por milhões de pequenos animais (pólipos) que secretam à sua volta um esqueleto rígido. A garrafa-azul (*Physalia*) é formada por centenas de pólipos seguros a um flutuador, especializados nas diferentes funções, como a alimentação e a defesa; cada um deles não sobrevive isolado da colônia. As bactérias e outros organismos unicelulares também se agrupam muitas vezes dentro de um invólucro mucoso. As abelhas e formigas, por outro lado, diferenciam-se em rainha, zangão com funções reprodutivas e as obreiras (ou operárias) com outras funções, mas cada indivíduo pode sobreviver separadamente. Por isso, estas espécies são chamadas eusociais, ou seja, formam uma sociedade e não uma colônia.

Mutualismo: Associação obrigatória entre indivíduos, em que ambos se beneficiam. Ex.: líquen, bois e microorganismos do sistema digestório. Abelhas, beija-flores e borboletas são alguns animais que se alimentam do néctar das flores. O néctar é produzido na base das pétalas das flores e é um produto rico em açúcares. Quando abelhas, borboletas e beija-flores colhem o néctar, grãos de pólen se depositam em seu corpo. O pólen contém células reprodutoras masculinas da planta. Pousando em outra flor, esses insetos deixam cair o pólen na parte feminina da planta. As duas células reprodutoras - a masculina e a feminina - irão então se unir e dar origem ao embrião (contido dentro da semente). Perceba que existe uma relação entre esses insetos e a planta em que ambos lucram. Esse tipo de relação entre duas espécies diferentes e que traz benefícios para ambas é chamada mutualismo. Os animais polinizadores obtêm alimento e a planta se reproduz. Outro exemplo é os líquens, associação mutualística entre algas e fungos. Os fungos protegem as algas e fornecem-lhes água, sais minerais e gás carbônico, que retiram do ambiente. As algas, por sua vez, fazem a fotossíntese e, assim, produzem parte do alimento consumido pelos fungos.

Inquilinismo: é uma relação ecológica que ocorre entre organismos de diferentes espécies, ou seja, é uma relação interespecífica. Nesta associação, uma espécie denominada como "inquilina" vive no interior ou sobre outra espécie, chamada de "hospedeira", que lhe serve de suporte ou abrigo. A espécie inquilina se beneficia, mas não gera prejuízos à hospedeira. Entre os animais, um dos casos mais conhecidos deste tipo de relação é o inquilinismo entre o peixe fierásfer, popularmente

conhecido como peixe-agulha, e pepinos-do-mar (Holoturia). Este peixe abriga-se no corpo deste equinodermo, do qual sai para se alimentar e depois volta. Enquanto o fierásfer garante proteção, o pepino-do-mar não recebe benefício nem sofre desvantagem.

Comensalismo: Associação em que um indivíduo aproveita restos de alimentares do outro, sem prejudicá-lo. Tubarão e Peixe Rêmora – O tubarão é reconhecidamente o maior predador dos mares, ou seja, o indivíduo que normalmente ocupa o ápice da cadeia alimentar no talassociclo. Já o peixe-rêmora é pequeno e incapaz de realizar a façanha do predatismo. O peixe-rêmora vive então associado ao grande tubarão, preso em seu ventre através de uma ventosa (semelhante a um disco adesivo). Enquanto o tubarão encontra uma presa, estraçalhando-a e devorando-a, a rêmora aguarda pacientemente, limitando-se a comer apenas o que o grande tubarão não quis. Após a refeição, o peixe-rêmora busca associar-se novamente a outro tubarão faminto. Para a rêmora a relação é benéfica, já para o tubarão é totalmente neutra.

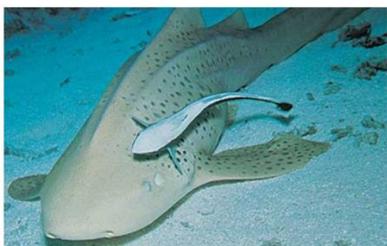
Protocooperação: Associação facultativa entre indivíduos, em que ambos se beneficiam. Às margens do rio Nilo, na África, os ecólogos perceberam a existência de um singular exemplo de protocooperação entre os perigosos crocodilos e o

sublime pássaro-palito. Durante a sesta os gigantescos crocodilos abrem sua boca permitindo que um pequeno pássaro (o pássaro-palito) fique recolhendo restos alimentares e pequenos vermes dentre suas poderosas e fortes presas. A relação era tipicamente considerada como um exemplo de comensalismo, pois para alguns apenas o pássaro se beneficiava. Entretanto, a retirada de vermes parasitas faz do crocodilo um beneficiado na relação, o que passa a caracterizar a protocooperação.

Canibalismo: Relação desarmônica em que um indivíduo mata outro da mesma espécie para se alimentar. Louva-a-deus - o louva-a-deus é um artrópode da classe dos insetos (família Mantoideae). Este inseto é verde e recebe este nome por causa da posição de suas patas anteriores, juntas com tarsos dobrados, como se estivesse rezando. Neste grupo de insetos o canibalismo é muito comum, principalmente no que tange o processo reprodutivo. É hábito comum as fêmeas devorarem os machos numa luta que antecede a cópula.

Amensalismo: Relação em que indivíduos de uma espécie produzem toxinas que inibem ou impedem o desenvolvimento de outras. A Penicilina foi descoberta em 1928 quando Alexander Fleming, no seu laboratório no Hospital St Mary em Londres, reparou que uma das suas culturas de Staphylococcus tinha sido contaminada por um bolor Penicillium, e que em redor das colônias do fungo não havia bactérias. Ele demonstrou que o fungo produzia uma substância responsável pelo efeito bactericida, a penicilina.

Predatismo: Relação em que um animal captura e mata indivíduos de outra espécie para se alimentar. Todos os carnívoros são animais predadores. É o que acontece com o leão, o lobo, o tigre, a onça, que caçam veados, zebras e tantos outros animais. O predador pode atacar e devorar também plantas, como acontece com o gafanhoto, que, em bandos, devoram rapidamente toda uma plantação. Nos casos em que a espécie predada é vegetal, costuma-se dar ao predatismo o nome de herbivorismo. Raros são os casos em que o predador é uma planta. As plantas carnívoras, no entanto, são excelentes exemplos, pois aprisionam e digerem principalmente insetos. O predatismo é uma forma de controle biológico natural sobre a população da espécie da presa. Embora o predatismo seja desfavorável à presa como indivíduo, pode favorecer a sua população, evitando que ocorra aumento exagerado do número de indivíduos, o que acabaria provocando competição devido à falta de espaço, parceiro reprodutivo e alimento. No entanto ao diminuir a população de presas é





Canibalismo



Amensalismo



Predatismo



Parasitismo

possível que ocorra a diminuição dos predadores por falta de comida. Em consequência, a falta de predadores pode provocar um aumento da população de presas. Essa regulação do controle populacional colabora para a manutenção do equilíbrio ecológico.

Parasitismo: Indivíduos de uma espécie vivem no corpo de outro, do qual tiram alimento. A lombriga é um exemplo de parasita. É um organismo que se instala no corpo de outro (o hospedeiro) para extrair alimento, provocando-lhes doenças. Os vermes parasitas fazem a pessoa ficar má nutrida e perder peso. Em crianças, podem prejudicar até o crescimento.

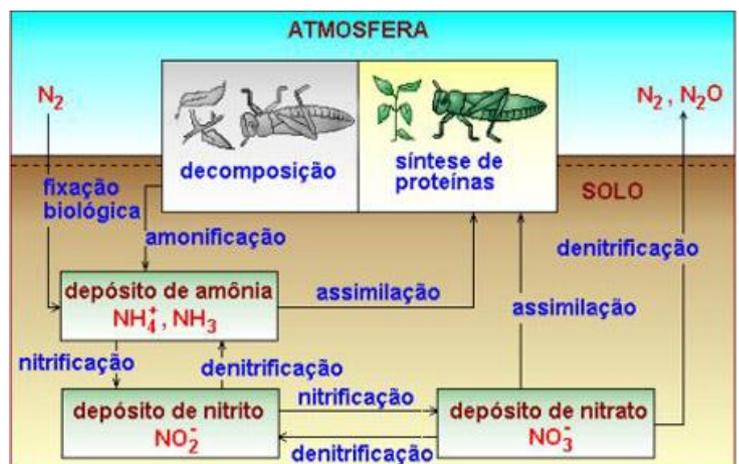
O trajeto das substâncias do ambiente abiótico para o mundo dos seres vivos e o seu retorno ao mundo abiótico completam o que chamamos de **ciclo biogeoquímico**. O termo é derivado do fato de que há um movimento cíclico de elementos que formam os organismos vivos ("bio") e o ambiente geológico ("geo"), onde intervêm mudanças químicas. Em qualquer ecossistema existem tais ciclos. Em qualquer ciclo biogeoquímico existe a retirada do elemento ou substância de sua fonte, sua utilização por seres vivos e posterior devolução para a sua fonte.

Ciclo do Nitrogênio: O nitrogênio se mostra como um dos elementos de caráter fundamental na composição dos sistemas vivos. Ele está envolvido com a coordenação e controle das atividades metabólicas. Entretanto, apesar de 78% da atmosfera ser constituída de nitrogênio, a grande maioria dos organismos é incapaz de utilizá-lo, pois este se encontra na forma gasosa ( $N_2$ ) que é muito estável possuindo pouca tendência a reagir com outros elementos. Os consumidores conseguem o nitrogênio de forma direta ou indireta através dos produtores. Eles aproveitam o

nitrogênio que se encontra na forma de aminoácidos. Produtores introduzem nitrogênio na cadeia alimentar, através do aproveitamento de formas inorgânicas encontradas no meio, principalmente nitratos ( $NO_3$ ) e amônia ( $NH_3$ ). O ciclo do nitrogênio pode ser dividido em algumas etapas:

- **Fixação:** Consiste na transformação do nitrogênio gasoso em substâncias aproveitáveis pelos seres vivos (amônia e nitrato). Os organismos responsáveis pela fixação são bactérias, retiram o nitrogênio do ar fazendo com que este reaja com o hidrogênio para formar amônia.
- **Amonificação:** Parte da amônia presente no solo é originada pelo processo de fixação. A outra é proveniente do processo de decomposição das proteínas e outros resíduos nitrogenados, contidos na matéria orgânica morta e nas excretas. Decomposição ou amonificação é realizada por bactérias e fungos.
- **Nitrificação:** É o nome dado ao processo de conversão da amônia em nitratos.
- **Desnitrificação:** As bactérias desnitrificantes (como, por exemplo, a *Pseudomonas* desnitrificans), são capazes de converter os nitratos em nitrogênio molecular, que volta a atmosfera fechando o ciclo.

Um procedimento bastante utilizado em agricultura é a "rotação de culturas", na qual se alterna o plantio de não-leguminosas (o milho, por exemplo), que retiram do solo os nutrientes nitrogenados, com leguminosas (feijão), que devolvem esses nutrientes para o meio.



**Ciclo da Água:** A água apresenta dois ciclos: Ciclo curto ou pequeno - É aquele que ocorre pela lenta evaporação da água dos mares, rios, lagos e lagos, formando nuvens. Estas se condensam, voltando à superfície na forma de chuva ou neve. Ciclo longo- É aquele em que a água passa pelo corpo dos seres vivos antes de voltar ao ambiente.



A água é retirada do solo através das raízes das plantas, sendo utilizada para a fotossíntese ou passada para outros animais através da cadeia alimentar. A água volta à atmosfera através da respiração, transpiração, fezes e urina.

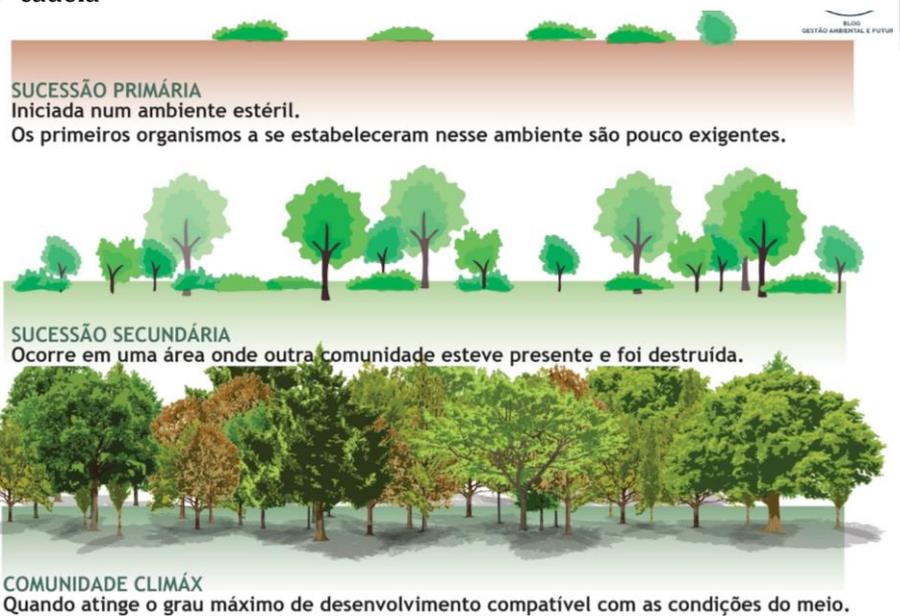
**Ciclo do Oxigênio:** se encontra intimamente ligado com o ciclo do carbono, uma vez que o fluxo de ambos está associado aos mesmos fenômenos: fotossíntese e respiração. Os processos de fotossíntese liberam oxigênio para a atmosfera, enquanto os processos de respiração e combustão o consomem. Parte do O<sub>2</sub> da estratosfera é transformado pela ação de raios ultravioletas em ozônio (O<sub>3</sub>). Este forma uma camada que funciona como um filtro, evitando a penetração de 80% dos raios ultravioletas. A liberação constante de clorofluorcarbonos (CFC) leva a

destruição da camada de ozônio.

**Sucessão Ecológica** é o processo ordenado da instalação e desenvolvimento de uma comunidade. Ocorre com o tempo e termina quando se estabelece na área uma comunidade estável. Vamos tomar como exemplo uma região completamente desabitada, como uma rocha nua. O conjunto de condições para que plantas e animais sobrevivam ou se instalem nesse ambiente são muito desfavoráveis:

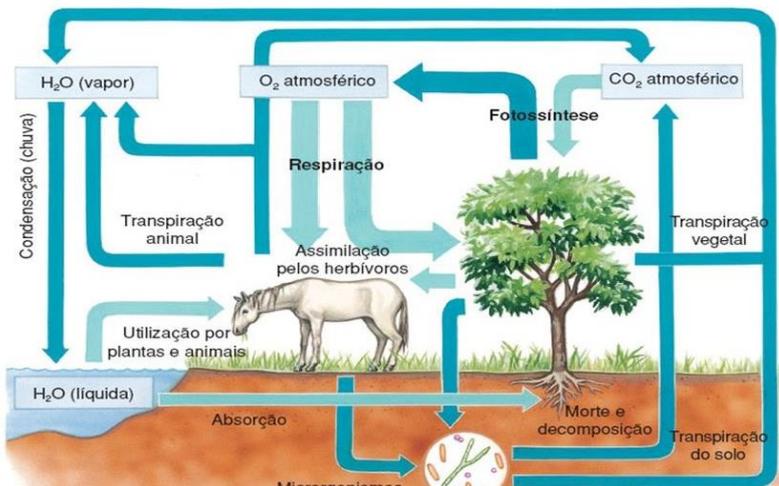
- Iluminação direta causa altas temperaturas;
- A ausência de solo dificulta a fixação de vegetais;
- A água das chuvas não se fixa e rapidamente evapora.

Seres vivos capazes de se instalar em tal ambiente devem ser bem adaptados e pouco exigentes. Estes são os líquens (associação de cianobactérias com fungos), que conseguem sobreviver apenas com água, luz e pouca quantidade de sais minerais. Isso caracteriza a formação de uma comunidade pioneira ou ecese.



Os líquens por serem os primeiros seres a se instalarem são chamados de "organismos pioneiros". A atividade metabólica dos líquens vai lentamente modificando as condições iniciais da região. Os líquens produzem ácidos orgânicos que corroem gradativamente a rocha, formando através da erosão as primeiras camadas de solo. Camada sobre camada de líquen, vão formando um tapete orgânico, que enriquece o solo, deixando o mesmo úmido e rico em sais minerais.

A partir de então as condições, já não tão desfavoráveis, permitem o aparecimento de plantas de pequeno porte, como briófitas (musgos), que necessitam de pequena quantidade de nutrientes para se desenvolverem e atingirem o estágio de reprodução. Novas e constantes



modificações se sucedem permitindo o aparecimento de plantas de maior porte como samambaias e arbustos. Também começam a aparecer os pequenos animais como insetos e moluscos. Dessa forma etapa após etapa a comunidade pioneira evolui, até que a velocidade do processo começa a diminuir gradativamente, chegando a um ponto de equilíbrio, no qual a sucessão ecológica atinge seu desenvolvimento máximo compatível com as condições físicas do local (solo, clima, etc.). Essa comunidade é a etapa final do processo de sucessão, conhecida como comunidade clímax. Cada etapa intermediária entre a comunidade pioneira e o clímax é chamada de sere.

Ao observarmos o processo de sucessão ecológica podemos identificar um progressivo aumento na biodiversidade e espécies e na biomassa total. As teias e cadeias alimentares se tornam cada vez mais complexas e ocorre a constante formação de novos nichos. A estabilidade de uma comunidade clímax está em grande parte associada ao aumento da variedade de espécies e da complexidade das relações alimentares. Isso ocorre, pois ao possuir uma teia alimentar complexa e multidirecional, torna-se mais fácil contornar a instabilidade ocasionada pelo desaparecimento de uma determinada espécie. Comunidades mais simples possuem poucas opções alimentares e, portanto, são mais instáveis. É fácil imaginarmos essa instabilidade quando observamos, como uma monocultura agrícola é suscetível ao ataque de pragas. Apesar da biomassa total e a biodiversidade serem maiores na comunidade clímax, temos algumas diferenças em relação à produtividade primária. A produtividade bruta (total de matéria orgânica produzida) em comunidades clímax é grande, sendo maior do que as das comunidades antecessoras. Entretanto a produtividade líquida é próxima a zero, pois toda a matéria orgânica que é produzida é consumida pela própria comunidade. Por isso uma comunidade clímax é estável, ou seja, não está mais em expansão. Em comunidades pioneiras e nas seres, ocorre um excedente de matéria orgânica (Produtividade líquida) que é exatamente utilizada para a evolução do processo de sucessão ecológica.

**Ecosistema:** É o conjunto dos relacionamentos que a fauna, flora, microorganismos (fatores bióticos) e o ambiente, composto pelos elementos solo, água e atmosfera (fatores abióticos) mantém entre si. Todos os elementos que compõem o ecossistema se relacionam com equilíbrio e harmonia e estão ligados entre si. A alteração de um único elemento causa modificações em todo o sistema podendo ocorrer a perda do equilíbrio existente. Se por exemplo, uma grande área com mata nativa de

determinada região for substituída pelo cultivo de um único tipo de vegetal, pode-se comprometer a cadeia alimentar dos animais que se alimentam de plantas, bem como daqueles que se alimentam destes animais. A delimitação do ecossistema depende do nível de detalhamento do estudo. Por exemplo, se quisermos estudar o ecossistema de um canteiro do jardim ou do ecossistema presente dentro de uma planta como a bromélia.

Os ecossistemas são divididos em:



- **Ecossistemas terrestres:** São representados pelas florestas, desertos, montanhas, pradarias e pastagens.
- **Ecossistemas aquáticos:** Compreendem os ambiente de água doce como lagos, mangues, rios. Além dos ambientes marinhos como os mares e oceanos.

O Brasil possui uma grande diversidade de ecossistemas. Quase todo o seu território está situado na zona tropical. Por isso, nosso país recebe grande quantidade de calor durante todo o ano, o que favorece essa grande diversidade. Veja, no mapa a seguir, exemplos dos principais ecossistemas encontrados no Brasil.  
Fonte: Só Biologia

Ao conjunto de ecossistemas terrestres damos o nome de bioma. Os **biomas** são ecossistemas com vegetação característica e um tipo de clima predominante, o que lhes confere um caráter geral e único.

**Floresta Amazônica:** Estende-se além do território nacional, com chuvas frequentes e abundantes. Apresenta flora exuberante, com espécies, como a seringueira, o guaraná, a vitória-régia, e é habitada por inúmeras espécies de animais, como o peixe-boi, o boto, o pirarucu, a arara. Para termos uma ideia da riqueza da biodiversidade desses ecossistemas, ele apresenta,

até o momento, 1,5 milhão de espécies de vegetais identificadas por cientistas.

**Mata de cocais:** A mata de cocais situa-se entre a floresta amazônica e a caatinga. São matas de carnaúba, babaçu, buriti e outras palmeiras. Vários tipos de animais habitam esse ecossistema, como a araracanga e o macaco cuxiú.

**Pantanal mato-grossense:** Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, engloba parte dos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul. Área que representa a terra úmida mais importante e conhecida do mundo (maior planície alagável do planeta), com espantosos índices de biodiversidade animal. Sofre a influência de diversos ecossistemas, como o cerrado, a floresta Amazônica, a mata Atlântica, assim como os ciclos de seca e cheia, e de temperaturas elevadas. São 140 mil quilômetros quadrados só no Brasil, equivalente a 5 Bêlgicas ou ao território de Portugal. É onde vivem jacarés - cerca de 32 milhões -, 365 espécies de aves, 240 de peixes, 80 de mamíferos e 50 de répteis. Mais de 600.000 capivaras habitam a região. O pantanal é escolhido como pouso de milhões de pássaros, entre eles o tuiuiú, a ave-símbolo da região. Os cervos-do-pantanal, bem mais raros, também fazem parte da fauna local.

**Campos sulinos:** Os campos sulinos são formações campestres encontradas no sul do país, passando do interior do Paraná e Santa Catarina até o sul do Rio Grande do Sul. Os campos sulinos são conhecidos como pampas, termo de origem indígena que significa "regiões planas". Em geral, há predomínio das gramíneas, plantas conhecidas como grama ou relva. Animais como o ratão-do-banhado, preá e vários tipos de cobras são ali encontrados.

**Caatinga:** A caatinga localiza-se na maior parte da região Nordeste. No longo período da seca, a vegetação perde as folhas e fica esbranquiçada. Esse fato originou o nome caatinga que na língua tupi, significa "mata branca". Os cactos, como o mandacaru, o xique-xique e outras plantas, são típicos da caatinga. A fauna inclui as cobras cascavel e jiboia, o gambá, a gralha, o veado-catingueiro etc.

**Restinga:** A restinga é típica do litoral brasileiro. Os seres que habitam esse ecossistema vivem em solo arenoso, rico em sais. Parte desse solo fica submersa pela maré alta. Encontramos nesse ecossistema animais como maria-farinha, besourinho-da-praia, viúva-negra, gavião-secoleira, coruja-buraqueira, tiê-sangue e perereca, entre outros. Como exemplos de plantas características da restinga podemos citar: sumaré, aperta-goéla, açucena, bromélias, cactos, coroa-de-frade, aroeirinha, jurema e taboa.

**Manguezal:** A costa brasileira apresenta, desde o Amapá até Santa Catarina, uma estreita floresta chamada manguezal, ou mangue. Esse ecossistema desenvolve-se, principalmente, no estuário e na foz dos rios, onde há água salobra e local parcialmente abrigado da ação das ondas, mas aberto para receber a água do mar. Os solos são lodosos e ricos em nutrientes. Os manguezais são abrigos e berçários naturais de muitas espécies de caranguejos, peixes e aves. Apresentam um pequeno número de espécies de árvores, que possuem raízes-escoras. Essas raízes são assim chamadas por serem capazes de fixar as plantas em solo lodoso.

**Cerrado:** O cerrado ocorre principalmente na região Centro-Oeste. A vegetação é composta de arbustos retorcidos e de pequeno porte, sendo as principais espécies: o araçá, o murici, o buriti e o indaiá. É o habitat do lobo-guará, do tamanduá-bandeira, da onça-pintada etc.

**Mata Atlântica:** Esse ecossistema estende-se da região do Rio Grande do Norte até o sul do país. Apresenta árvores altas e vegetação densa, pouco espaço vazio. É uma das áreas de maior diversidade de seres vivos do planeta. Encontra-se plantas como o pau-brasil, o ipê-roxo, o angico, o manacá-da-serra e o cambuci e várias espécies de animais, como a onça pintada, a anta, o queixada, o gavião e o mico-leão-dourado.

**Mata de araucária:** A mata de araucária situa-se na região sub-tropical, no sul do Brasil, de temperaturas mais baixas. Entre outros tipos de árvores abriga o pinheiro-do-paraná, também conhecido como araucária. Da sua fauna destacamos, além da ema, a maior ave das Américas, a gralha-azul, o tatu, o quati e o gato-domato.

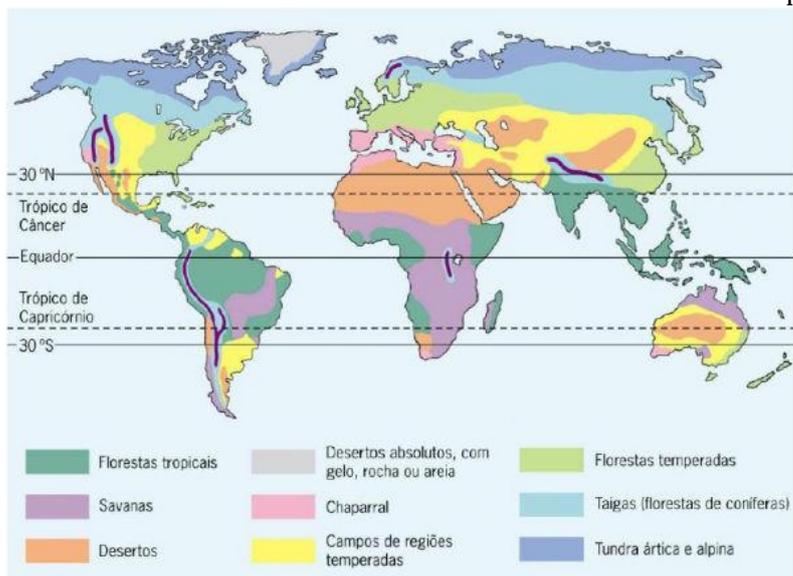
São sete os principais **biomas mundiais**: Tundra, Taiga, Floresta Temperada, Floresta Tropical, Savanas, Pradaria e Deserto.

**Tundra:** Situa-se nas regiões próximas ao Polo Ártico, norte do Canadá, da Europa e da Ásia. Apresenta temperaturas baixas durante todo o ano. O inverno é bastante severo e o verão é frio. A fauna é composta por renas, caribu e boi almiscarado. Os animais são protegidos por uma densa pelagem. A vegetação apresenta musgos e líquens. Em regiões com a temperatura mais elevada surgem gramíneas e pequenos arbustos.

**Taiga:** Também chamado de floresta de coníferas devido a predominância de pinheiros e abetos. Situa-se no hemisfério norte, ao sul da tundra ártica, em região de clima frio. Porém, possui uma estação quente mais longa e amena, comparada ao bioma tundra. A fauna apresenta

alces, ursos, lobos, raposas, visons, martas e esquilos.

**Floresta Temperada:** Localiza-se em determinadas regiões da Europa e América do Norte. Ocorre em ambiente de clima temperado e com as quatro estações bem definidas. As plantas são chamadas de decíduas ou caducifólias, pois perdem as folhas ao fim do outono e readquirem na primavera. Essa situação é uma adaptação ao inverno. Com a perda das folhas, as plantas reduzem sua atividade metabólica. As plantas mais características são os carvalhos e faias. A fauna é composta por javalis, veados, raposas, esquilos, pássaros e insetos.



**Floresta Tropical:** Localiza-se em regiões de clima quente e com elevado índice pluviométrico. Ocorre no norte da América do Sul, América Central, África, Ásia e Austrália. As florestas tropicais são ambientes ricos em biodiversidade. A vegetação é densa e forma estratos, conforme a cobertura das copas das árvores, o que origina diferentes microclimas. A vegetação também apresenta epífitas, cipós e líquens. A fauna é composta por macacos, preguiças, onças, tucanos, araras, jacarés, sapos e uma variedade de espécies de insetos. A maior floresta tropical do mundo é a Floresta Amazônica.

**Savanas:** Localiza-se na África, Ásia, Austrália e nas Américas. Os ambientes são caracterizados por campos com arbustos espaçados e gramíneas. Na savana africana são encontrados herbívoros de grande porte, como elefantes, zebras e girafas. Além de carnívoros, como os leões, leopardos e guepardos. No Brasil, um exemplo de savana é o Cerrado.

**Pradaria ou Campos:** Localizam-se em determinadas regiões da América do Sul, América do Norte, Europa e na Ásia, em locais que apresentam períodos de secas. São ambientes com

predomínio de gramíneas. Os animais desse ambiente são os roedores, coiotes, raposas e insetos. No Brasil é representado pelos Pampas.

**Deserto:** Os desertos ocorrem em ambientes de pouca umidade. As maiores regiões desérticas do mundo situam-se na África (deserto do Saara) e na Ásia (deserto de Gobi). A vegetação é composta por gramíneas e pequenos arbustos. Nos desertos podemos encontrar animais roedores, serpentes, lagartos e insetos. Os animais e plantas apresentam adaptações à falta de água.

Os **impactos ambientais** podem ser definidos como alterações no meio ambiente provocadas pelo homem e suas atividades. Segundo a resolução Conama N<sup>o</sup>001 de janeiro de 1986, o impacto ambiental é definido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais. Analisando essa resolução, percebemos que qualquer atividade que o homem exerça no meio ambiente provocará um impacto ambiental. Esse impacto, no entanto, pode ser positivo ou não. Infelizmente, na grande maioria das vezes, os impactos são negativos, acarretando degradação e poluição do ambiente.

Os impactos negativos no meio ambiente estão diretamente relacionados com o aumento crescente das áreas urbanas, o aumento de veículos automotivos, o uso irresponsável dos recursos, o consumo exagerado de bens materiais e a produção constante de lixo. Percebemos, portanto, que não apenas as grandes empresas afetam o meio, nós, com pequenas atitudes, provocamos impactos ambientais diariamente. Vale destacar que os impactos ambientais positivos, apesar de ocorrerem em menor quantidade, também acontecem. Ao construirmos uma área de proteção ambiental, recuperarmos áreas degradadas, limpamos lagos e promovermos campanhas de plantio de mudas, estamos também causando impacto no meio ambiente. Essas medidas, no entanto, provocam modificações e alteram a qualidade de vida dos humanos e de outros seres de uma maneira positiva.

- Você também pode ajudar a diminuir o impacto ambiental negativo. Veja a seguir algumas dicas:
- Economize água;
- Evite o consumo exagerado de energia;
- Separe os lixos orgânicos e recicláveis;
- Diminua o uso de automóveis;

- Consoma apenas o necessário e evite compras compulsivas;
- Utilize produtos ecológicos e biodegradáveis;
- Não jogue lixo nas ruas;
- Não jogue fora objetos e roupas que não usa mais. Opte por fazer doações.

Dentre os principais impactos ambientais negativos causados pelo homem, podemos citar a diminuição dos mananciais, extinção de espécies, inundações, erosões, poluição, mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, chuva ácida, agravamento do efeito estufa e destruição de habitats. Isso acarreta, conseqüentemente, o aumento do número de doenças na população e em outros seres vivos e afeta a qualidade de vida.

A **Poluição do Ar** ou Poluição Atmosférica é o resultado do lançamento na atmosfera de grandes quantidades de gases ou partículas líquidas e sólidas, que provocam impacto ambiental e problemas de saúde humana. Dentre as substâncias poluentes temos as poeiras industriais, aerossóis, fumaças negras, solventes, ácidos e hidrocarbonetos. Em diversos países, o nível de poluição do ar está acima do considerado aceitável pela OMS (Organização Mundial da Saúde). Apesar da China ser frequentemente lembrada como um desses países, estão a ser realizados muitos esforços para que esse grave quadro seja revertido. Na lista dos países que liberam a maior quantidade de dióxido de carbono, o Brasil aparece nas primeiras colocações. A poluição do ar pode ser causada por fontes naturais ou por atividades humanas. Alguns processos naturais são responsável pela liberação de gases poluentes na atmosfera:

- Atividade de vulcões
- Liberação de metano por animais durante o processo de digestão
- Poeira de desertos
- Decomposição

As atividades humanas ou antropogênicas também liberam grande quantidade de gases tóxicos e poluentes:

- Industrialização
- Queimadas
- Veículos e queima de combustíveis fósseis
- Mineração
- Uso de aerossóis
- Produção de energia elétrica

Dentre os principais poluentes que causam o desequilíbrio no ar atmosférico temos:

- Monóxido de carbono: Produto resultante da queima incompleta dos combustíveis.
- Dióxido de enxofre e óxidos de azoto: produtos da combustão do enxofre presente nos combustíveis fósseis.
- Dióxido de carbono: Produto resultante da queima de qualquer matéria orgânica. É encontrado naturalmente na atmosfera, mas quando lançado em grande quantidade, provoca desequilíbrios, entre eles, o efeito estufa.
- Chumbo: Produto usado na gasolina para aumentar sua octanagem. No Brasil, o chumbo foi substituído pelo álcool etílico anidro, como aditivo à gasolina com essa mesma finalidade.
- Ozônio: O gás ozônio apresenta diferentes funções conforme o local onde é encontrado. Quando encontra-se na troposfera, causa poluição e chuva ácida, sendo prejudicial para plantas e saúde humana.
- Clorofluorcarbonos: Esses gases são responsáveis por destruir a camada de ozônio.
- Material particulados: Resultado da queima de combustíveis fósseis, como a fuligem. Esses materiais são extremamente poluentes.

As conseqüências da poluição do ar comprometem a qualidade do meio ambiente e da saúde das pessoas. A poluição do ar pode afetar patrimônios culturais, em decorrência das chuvas ácidas. Elas causam a corrosão gradativamente dos monumentos. Outro efeito é sob a camada de ozônio. Naturalmente, essa camada protege o planeta das radiações ultravioletas prejudiciais aos seres vivos. Porém, os gases poluentes formam os buracos na camada de ozônio e impedem que os raios solares sejam, em parte, absorvidos. Além disso, o aumento de gases poluentes na atmosfera intensifica o efeito estufa e dá origem ao aquecimento global.



Além dos problemas ao meio ambiente, a poluição atmosférica também ocasiona problemas de saúde. A poluição do ar é um dos problemas mais sérios das cidades. Os poluentes causam irritação nos olhos e na garganta das pessoas,

principalmente nas grandes metrópoles e megalópoles. Em decorrência disso, são inúmeros e graves os seus efeitos nos seres humanos. No processo de respiração, a ligação do monóxido de carbono e da hemoglobina reduz a oxigenação do cérebro e das células. Em pequenas concentrações pode causar dores de cabeça, vertigens, perturbações sensoriais, dentre outros problemas. Em altas doses, pode levar à morte por asfixia. O dióxido de enxofre e os óxidos de azoto causam ou agravam os problemas respiratórios, como: asma, bronquite crônica, pneumonia e edema pulmonar. O chumbo causa perturbações nervosas, principalmente em crianças. Além de anemia, pois dificulta a síntese da hemoglobina no sangue.

A **poluição da água** é resultado das alterações de sua qualidade e que a tornam imprópria para o consumo e prejudicial aos organismos vivos que nela habitam. Como as suas propriedades são alteradas, a água poluída traz prejuízos ao ambiente natural e ao homem. A ação humana é a principal responsável pela poluição da água. As principais fontes de poluição da água são as atividades agrícolas, domésticas e industriais. A atividade agrícola é potencialmente poluidora porque o uso de pesticidas e fertilizantes químicos pode infiltrar no solo e atingir o lençol freático. As substâncias utilizadas na composição dos fertilizantes e pesticidas podem ser dissolvidas na chuva e gerar impactos ambientais significativos no ecossistema. A atividade das indústrias gera diversos tipos de resíduos poluentes que podem ser lançados nos rios e no mar. A exploração petrolífera em águas subterrâneas ocorre, principalmente, pelo vazamento do petróleo no mar e geram desastres ecológicos. Além do vazamento na fase de exploração, a contaminação pode ocorrer no transporte ou pelo mau estado dos equipamentos de captação.

A atividade doméstica tem destaque pelo uso de detergentes, os quais potencializam o crescimento do fitoplâncton e algas que, quando morrem, esgotam a oferta de oxigênio. A contaminação da água também ocorre pelos resíduos de aterros sanitários mau instalados, lixões a céu aberto e lançamento de esgoto doméstico nas águas. Isso acontece também pela infiltração do chorume no lençol freático. O chorume é o lixo em estado líquido, que penetra no solo ou corre diretamente em direção aos rios. A falta de saneamento básico é outro fator responsável pela poluição das águas. Assim como ocorre com os lixões, a contaminação da água por resíduos de cadáveres deve-se pela infiltração de substâncias no solo. Nos cemitérios, onde as medidas biológicas para isolamento dos corpos em decomposição não ocorrem, o solo é penetrado pelo chamado necrochorume e pode atingir os lençóis freáticos.

O lançamento de substâncias físicas e químicas na água é potencialmente prejudicial para a vida aquática de animais e plantas. A água potável é adequada para o consumo pois não contém microrganismos nocivos, não é prejudicial à saúde e exibe três características básicas: incolor, insípida e inodora. Quando as condições químicas da água são alteradas ela não é adequada para o consumo e pode resultar em doenças para as pessoas. As principais doenças associadas ao consumo de água contaminada são as infecções gastrointestinais, disenteria, leptospirose, cólera e hepatite. Outra consequência é que o excesso de matéria orgânica proveniente dos esgotos ocasiona o processo de eutrofização.



A **Poluição do Solo** é toda e qualquer mudança em sua natureza (do solo), causada pelo contato com produtos químicos, resíduos sólidos e resíduos líquidos, os quais causam sua deterioração ao ponto de tornar a terra inútil ou até gerar um risco a saúde. Ora, devemos saber também que o solo é repleto de vida, especialmente sua camada inicial (15 centímetros), onde encontramos os fungos, bactérias, protozoários e vermes decompositores, responsáveis pelo equilíbrio entre os diversos níveis tróficos. Vale citar que o solo se forma pela desagregação de rochas e a decomposição de restos vegetais e animais, por meio da ação dos referidos agentes decompositores e outras intempéries (chuva, ventos, etc.). Por sua vez, é justamente essa camada a mais afetada pelos resíduos sólidos e líquidos, fertilizantes químicos, pesticidas e herbicidas, a maioria frutos da química inorgânica desenvolvida após a Segunda Guerra Mundial. De modo mais geral, podemos afirmar que solventes, detergentes, lâmpadas fluorescentes, componentes eletrônicos, tintas, gasolina, diesel e óleos automotivos, bem como fluídos hidráulicos, hidrocarbonetos e o chumbo são os principais agentes poluidores do solo. Sabemos, ainda, que o condicionamento inadequado do lixo doméstico, esgoto e resíduos sólidos industriais degradam a superfície, além de produzirem gases tóxicos e chuva ácida (a qual também se infiltra no solo).

### Principais Tipos de Poluição do Solo:

- Detritos da vida urbana - Em quantidade é a principal fonte causadora da poluição dos solos. É responsável pela produção exacerbada de lixo nas grandes cidades.
- Depósitos ilegais de despejos industriais - É fato conhecido que as indústrias fazem uso desse recurso e descartam indevidamente metais pesados, produtos químicos de alto risco, além de detritos sólidos.
- Agrotóxicos e adubação incorreta - Nas áreas rurais, por sua vez, os principais vilões são a utilização indiscriminada de defensivos agrícolas, bem como a adubação incorreta ou excessiva.

Assim, por meio de processos como lixiviação (dissolução de componentes sólidos em meio líquido), impregnação e infiltração no subsolo de substâncias poluentes, ocorre não só a contaminação do terreno, tornando-o inútil, mas também acarreta na contaminação do lençol freático. As principais consequências da poluição do solo são a perda da fauna, a esterilização da terra para plantação e a contaminação da água. A poluição que se infiltra transmite doenças como infecundidade, hipersensibilidades alérgicas, bem como disfunção hepática e renal ou até câncer. A contaminação transcende o solo e chega aos alimentos, pois os vegetais se contaminam com aquelas substâncias, as quais, por seu turno, são ingeridas por humanos e outros seres, tornando a alimentação mais tóxica na medida em que vamos expandindo a cadeia alimentar.

Outros fatores, como destruição de espécies animais e vegetais úteis (as abelhas polinizadoras, por exemplo), causam um descontrole no meio ambiente, permitindo o surgimento de pragas cada vez mais resistentes aos agrotóxicos e inseticidas, o que leva à produção de venenos cada vez mais potentes. Para reverter a poluição dos solos, medidas simples como a coleta seletiva e reciclagem são essenciais. Outras, como o tratamento de resíduos domésticos e industriais, uso de materiais biodegradáveis, cultivo orgânico, reflorestamento e a proteção das matas nativas, medidas de saneamento básico e controle biológico de pragas, são as práticas mais efetivas de combate a degradação das superfícies.

Denominamos de **biodiversidade** a variedade de espécies de seres vivos existentes em nosso planeta, bem como o papel desses seres na natureza. Todos eles estão, de alguma forma, interligados, portanto, a extinção de algum ser vivo afeta diretamente todo o ecossistema. Apesar da importância de cada organismo vivo, observamos um crescente aumento na destruição da

biodiversidade. As causas são as mais variadas, porém, na maioria das vezes, o homem apresenta grande influência no processo. Dentre os principais motivos da perda de biodiversidade, podemos destacar a destruição de habitat, o uso excessivo dos recursos naturais, a introdução de espécies invasoras e a poluição. A destruição de habitat destaca-se entre os fatores que desencadeiam a diminuição da biodiversidade. Normalmente esse processo ocorre como consequência da urbanização e do desmatamento para aumento das áreas agropecuárias e desenvolvimento de grandes obras. Além disso, essa destruição também é causada pelo aquecimento global.

Como seus habitats são destruídos, várias espécies muitas vezes são obrigadas a migrar para outras áreas, enfrentando perigos e a incerteza da sobrevivência. Já aquelas espécies que são incapazes de procurar outro local para estabelecerem-se, como as plantas, acabam tendo sua população reduzida ou até, muitas vezes, extinta. O uso excessivo de recursos naturais também é uma grande ameaça à biodiversidade. A caça e a pesca, por exemplo, são práticas responsáveis pela diminuição do número de indivíduos de várias espécies anualmente, bem como a retirada ilegal de madeira e a exploração de plantas, como o xaxim. Além disso, o tráfico de animais e plantas silvestres é um comércio lucrativo que dificulta a conservação de vários organismos.



A biodiversidade também é ameaçada pela introdução de espécies exóticas, ou seja, a introdução de espécies que não vivem normalmente naquele ambiente. Ao inserirmos uma espécie nova em um ambiente que não é o seu, ela pode competir com as outras, preda fortemente algumas espécies, reproduzir-se exageradamente e até mesmo provocar doenças. Percebe-se, portanto, que essa ação pode provocar a destruição de algumas espécies, afetando diretamente o equilíbrio daquele ecossistema. A contaminação da água, do solo e do ar também é uma das causas da perda de biodiversidade. Diante da poluição dos ambientes, muitas espécies não conseguem se estabelecer em razão, por exemplo, da falta de

alimento, dificuldade de acesso à água potável e do surgimento de doenças, o que acaba aumentando, assim, o triste número de espécies extintas. Para que a biodiversidade seja efetivamente protegida, é fundamental que seja feito o uso sustentável dos recursos que a natureza oferece. Para isso, são necessários investimentos e pesquisas para descobrir fontes alternativas de recursos, fiscalização no que diz respeito à exploração da natureza e à poluição, bem como a criação de maiores áreas de proteção ambiental. Entretanto, nenhum esforço será suficiente se não houver mudança na consciência da população. É fundamental que todos entendam a importância de cada ser vivo para o planeta e compreendam que a destruição de qualquer espécie afeta diretamente a nossa vida.