



DIVERSIDADE DOS SERES VIVOS

Jean Carlos Miranda
Mirna Quesado
Roberta Flavia Ribeiro
Rolando Vasconcellos
Onofre Saback dos Anjos
Daniel Fábio Salvador
Claudia A. M. Russo;
Leandro O. Salles
Paulo Brito
Beatriz Saddy Martins
Carolina Nascimento Spiegel
Filipe Cavalcanti da Silva
Porto
Paula Magalhães Souza
Deccache



CAPACITA REDE

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE PROFESSORES
DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

SECTI - SEEDUC



DIRETORIA DE EXTENSÃO DA FUNDAÇÃO CECIERJ

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Wilson Witzel

Vice-Governador
Claudio Castro

Secretário de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação
Leonardo Rodrigues

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Gilson Rodrigues

PRODUÇÃO DO MATERIAL

Elaboração de conteúdo

Roberta Flavia Ribeiro Rolando Vasconcellos
Onofre Saback dos Anjos
Daniel Fábio Salvador
Claudia A. M. Russo;
Leandro O. Salles
Paulo Brito
Beatriz Saddy Martins
Carolina Nascimento Spiegel
Filipe Cavalcanti da Silva Porto
Jean Carlos Miranda
Paula Magalhães Souza Deccache

Direção de Design Instrucional

Bruno Peixoto

Editores(organizadores)

Onofre Saback dos Anjos
Daniel Fábio Salvador
Roberta Flavia Ribeiro Rolando Vasconcellos

Coordenação de Produção

Ulisses Schnaider

Ilustração e Capa

Renan Alves

Programação Visual

Maria Fernanda de Novaes
Núbia Roma

Produção Gráfica

Fábio Rapello Alencar

Desenvolvimento Instrucional

Aline Beatriz Alves
Daniel Fábio Salvador

Revisão de português

Alexandre Rodrigues Alves

Copyright © 2019, Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

C236d

Capacita Rede. Programa de Capacitação de Professores do Estado do Rio de Janeiro.

Diversidade dos seres vivos / Jean Carlos Miranda...[et al]. – Rio de Janeiro :
Fundação Cecierj, 2019.

p. 190

ISBN : 978-85-458-0230-3

1. Biodiversidade. 2.Taxinomia. 3. Seleção natural. 4. Mutação. 5. Bactérias. 6. Célula eucarionte. I. Quesado, Mirna. II. Ribeiro, Roberta Flavia. III. Vasconcellos, Rolando. IV. Anjos, Onofre Saback dos. V. Salvador, Daniel Fábio. VI. Russo, Claudia A. M. VII. Salles, Leandro O. VIII. Brito, Paulo . IX. Martins, Beatriz Saddy . X. Spiegel ,Carolina Nascimento. XI. Porto, Filipe Cavalcanti da Silva. XI. Deccache, Paula Magalhães Souza . 1. título

CDD: 577

Sumário

Roteiro de ação 1 -	5
Biodiversidade e o cotidiano	9
História evolutiva	19
Taxonomia e o seu cotidiano	33
Roteiro de ação 2 -	45
Roteiro de ação 3	55
Seleção natural	61
Mutação	73
Domínios	77
Diversidade das bactérias	85
Roteiro de ação 4	93
Roteiro de ação 5	101
Origem da célula eucarionte	115
Recombinando a variabilidade: segregação independente, permutação e transmissão horizontal de genes	123
Roteiro de ação 6	129
Roteiro de ação 7	145
Origem da célula eucarionte	150
Origem da célula eucarionte	160
Roteiro de ação 8	164
Biodiversidade no planeta	175
Diversidade de espécies	178
Amarrando as ideias: variabilidade genética e diversidade de espécies à luz da evolução e da ecologia	183



Roteiro de ação 2

A presença da clorofila

Informações básicas:

Duração prevista:	50 minutos
Área de conhecimento:	Ciências
Assuntos:	Fotossíntese, separação de misturas.
Objetivos:	<ul style="list-style-type: none">identificar a presença de clorofila em folhas de cores diferentes;observar que os pigmentos foliares fazem parte de uma mistura.
Pré-requisitos:	conhecer a importância da clorofila para a fotossíntese.
Material necessário:	<ul style="list-style-type: none">folhas de plantas de cores diferentes (as trapoerabas roxas são interessantes para este experimento);álcool;papel de filtro;pilão ou almofariz;copo ou béquer;pipeta ou conta-gotas.
Organização da classe:	grupos de 4 ou 5 alunos.
Descritores associados:	<ul style="list-style-type: none">H17 - Diferenciar as transformações químicas e físicas da matéria.H25 - Identificar a transformação de energia luminosa em energia química, através da fotossíntese.

Professor, este roteiro de ação traz a proposta de uma atividade prática que tem como objetivo mostrar a existência de clorofila mesmo em folhas que não são verdes. Este experimento pode se tornar uma boa oportunidade para ampliar os conhecimentos dos alunos. Através dessa prática você pode, por exemplo, trabalhar a diferença entre fenômenos físicos e químicos, tipos de misturas e suas formas de separação. Aproveite!

A fotossíntese é um fenômeno da maior importância para a vida no planeta Terra e está associada à capacidade que uma substância, um pigmento vegetal verde, possui de absorver a energia da luz. Este pigmento

verde é chamado de clorofila, mas existem outros pigmentos, de outras cores, que auxiliam a fotossíntese.

Ao observarmos as plantas em um jardim, nos deparamos com espécies que apresentam folhas com cores variadas, como a *Tradescantia*, mostrada a seguir:



Figura 1: Folhas de coração-roxo em um jardim, mostrando suas folhas roxas.
Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/TradescantiaPurpurea3.jpg>

Professor, ao identificar a planta “coração roxo” pelo seu nome científico, referido acima, aproveite para destacar a diversidade de nomes para os seres vivos e a importância da nomenclatura científica, com suas regras, para organizar o estudo destes seres.

Desta observação surge uma dúvida:

“Se a fotossíntese depende da clorofila, ela deve estar presente até mesmo em plantas de outras cores...”

Vamos descobrir se isso é verdade? Mãos à obra!

Colete algumas folhas de *Tradescantia*, rasgue-as e coloque-as em um pilão ou almofariz. Amasse bem para obter um extrato líquido da folha. Este “sumo” de folha contém os pigmentos desta. Coloque algumas gotas de álcool para ajudar.

Corte uma tira de papel de filtro de aproximadamente 10 x 3 cm.

Meça 2 cm a partir de uma ponta e, com uma pipeta, coloque uma gota do líquido resultante (extrato) na tirinha de papel de filtro conforme mostra a figura 2.

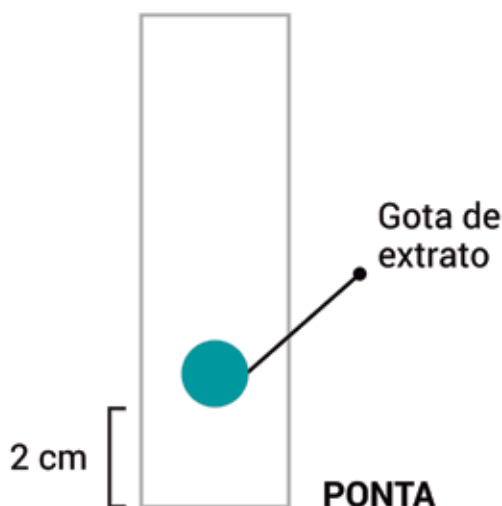


Figura 2: Tira de papel de filtro mostrando a posição correta da gota de extrato.

Deixe a gota secar um pouco e mergulhe a ponta mais próxima da gota em um copo (ou béquer) contendo uma pequena quantidade de álcool. Cuidado: não deixe a gota tocar o álcool dentro do béquer! Espere um tempo, até o álcool “subir” pela tira, retire a fita e deixe secar. O que vocês observaram?

Professor, o resultado esperado é uma cromatografia em papel dos pigmentos foliares da *Tradescantia*, mostrando a presença da clorofila (pigmento verde) e de pigmentos de outras cores. Você pode fazer este experimento com outras plantas coloridas e comparar o resultado obtido.

No **link** ao lado do site Ponto Ciência você tem algumas orientações a mais que podem te ajudar a fazer esse experimento, com imagens do resultado esperado na sua tira.

Com este experimento, você pode mostrar que o álcool promove a separação da mistura formada pelos pigmentos da folha, ressaltando que se trata de um fenômeno físico. A clorofila sempre esteve presente, mas os outros pigmentos mascaravam a sua cor.



Links na Web:

<http://www.pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/folhas-roxas-fazem-fotos-sintese/882>



Para saber mais:

<http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc07/atual.pdf>

Se você quiser saber mais sobre esta técnica de separação de misturas, visite o **site** ao lado.

Vamos retomar a dúvida do início da atividade?

PERGUNTAS

Então, existe clorofila em folhas de plantas que não são verdes?

Qual a importância deste fato?

Resposta esperada:

Professor, ao final da realização desta atividade os alunos devem ser capazes de responder que existe clorofila nas plantas com folhas não verdes e que a presença deste pigmento possibilita a nutrição da planta.



**Folhas roxas
fazem fotossíntese?**

[https://www.
youtube.com/
watch?v=9ck5e
PEOa2Y](https://www.youtube.com/watch?v=9ck5ePEOa2Y)

Caso queira ver um vídeo sobre a execução detalhada desse experimento acesse o **link** do vídeo ao lado.

Texto base 1

BIODIVERSIDADE E O COTIDIANO

Nosso curso trata da diversidade dos seres vivos também conhecida popularmente como **BIODIVERSIDADE**. Hoje em dia, você pode encontrar essa palavra freqüentemente em manchetes de jornais e revistas. A Diversidade dos seres vivos diz respeito ao estudo desses seres e das características que os tornam diferentes uns dos outros.

Vamos iniciar este curso abordando diretamente sua questão central — o que é biodiversidade? Apesar de estar em evidência há pelo menos uma década nas mais diferentes formas de mídia de acesso popular, o grande público freqüentemente possui uma visão superficial dos significados do termo biodiversidade. Você já deve ter tido contato com chamadas jornalísticas do tipo: “este vazamento de óleo é uma ameaça à biodiversidade do rio”, “fogo destrói as florestas atlânticas deste Parque Nacional, que apresenta uma das maiores concentrações de biodiversidade do Brasil” ou, ainda, “dadas as dimensões crescentes de impacto, é absolutamente emergencial estabelecer estratégias de conservação para a biodiversidade da Amazônia”.

Mas, o que é exatamente biodiversidade — foco de tamanha preocupação das sociedades contemporâneas?

Inicialmente, repare que as escalas de aplicação desse termo podem variar bastante, como por exemplo: quando se fala nos aspectos da biodiversidade do Parque Nacional da Floresta da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, biodiversidade das florestas atlânticas, biodiversidade do continente sul-americano ou mesmo biodiversidade de nosso planeta.

Veja que além de esse termo ser aplicável para escalas geográficas e ecológicas completamente distintas, ele também pode referir-se a dimensões temporais — geológicas — igualmente diferentes. Dessa forma, a biodiversidade deve sempre referir a um determinado local e um intervalo de tempo específicos. Por exemplo, “dados relativos à biodiversidade do **PERÍODO QUATERNÁRIO** da história geobiológica do planeta são de especial importância para a compreensão de fenômenos macroclimáticos atuais, como o El Niño”. Se considerarmos que a vida no planeta Terra tem pelo menos 3,5 bilhões de anos, podemos nos referir a qualquer intervalo de tempo, dentro desse período de acordo com a proble-

BIODIVERSIDADE

Segundo o dicionário Aurélio, biodiversidade é a existência, numa dada região, de uma grande variedade de espécies, ou de outras categorias taxonômicas.

PERÍODO QUATERNÁRIO

A história da vida na Terra é dividida em períodos. Os últimos 2,5 milhões de anos são denominados geologicamente o Período Quaternário. Você vai saber mais sobre esses períodos na Aula 15 deste curso.

mática de interesse.

Concluimos, portanto, que a complexidade do uso do termo biodiversidade depende da especificação dos parâmetros relativos à dimensão espacial (i.e., ao local) e temporal (i.e., a época) em questão.

DEFINIÇÕES DE BIODIVERSIDADE

Antes de dar continuidade a esta leitura, faça uma auto-avaliação expondo no papel o que você entende por biodiversidade.

Decompondo essa palavra, você aprende que o radical BIO especifica o significado da diversidade, determinando a interpretação do termo como diversidade biológica ou, ainda, diversidade dos seres vivos. Note que o título deste curso é exatamente “Diversidade dos Seres Vivos”. Se você consultar um dicionário para conhecer o termo diversidade, você vai encontrar definições que juntam o conceito de entidades com suas quantidades relativas num determinado ambiente ou num determinado espaço de tempo. As entidades podem estar associadas em agrupamentos, desde que exista algum tipo de relação entre elas.

Neste ponto, um exemplo do nosso cotidiano pode ajudá-lo a compreender melhor o significado de diversidade e a perceber como podemos aplicá-lo a qualquer tipo de objeto. Por exemplo, num determinado estojo existem 20 objetos que servem para escrever. Cada um deles pode ser classificado em três grupos distintos: canetas, lápis ou lapiseiras. Assim, podemos dizer que a diversidade do estojo representa o número de grupos (três) e a quantidade relativa de objetos presentes nesses três grupos (quatro canetas, três lápis e duas lapiseiras).

Note que esses agrupamentos primários podem ser ainda subdivididos, ou seja, podemos agrupar os objetos em subgrupos tais como canetas esferográficas ou *pilot*, lápis HB ou 2B, e lapiseiras 0,5mm ou 0,7mm. O agrupamento pode ser ainda mais específico, como canetas esferográficas nas cores preta, vermelha ou azul. Finalmente, a diversidade de objetos para escrever no estojo advém da variabilidade dos objetos em si e da quantidade relativa em cada um dos diferentes grupos e subgrupos.

Voltando ao nosso curso, ou seja, à biodiversidade, as entidades são os seres vivos. Assim, o termo biodiversidade trata dos seres vivos que estão presentes num determinado ambiente em um momento específico. Os seres vivos podem ser colocados em grupos distintos. Por exemplo, lembremos que a palavra mamífero designa um grupo específico de se-

res vivos que possuem **GLÂNDULAS MAMÁRIAS**, assim como caneta esferográfica designa um grupo de objetos para escrever com tinta. Esse agrupamento mamífero também pode ser subdividido em subgrupos. Roedores (i.e., ratos, camundongos), primatas (i.e., macacos) e quirópteros (i.e., morcegos) são subgrupos componentes do grupo maior dos mamíferos. Quando estamos descrevendo a diversidade dos seres vivos, a questão central está justamente no reconhecimento dos agrupamentos “naturais”, ou seja, naqueles que possuem sentido biológico real. Esse tipo de agrupamento nos leva a conhecer as entidades de uma forma mais eficaz

GLÂNDULAS MAMÁRIAS

São as glândulas que produzem leite materno que alimentam os filhotes recém-nascidos. Nos seres humanos, que também são mamíferos, essas glândulas estão presentes no seio materno.

Mas você pode estar se perguntando por que a classificação é importante. Para ilustrar essa importância, imagine ter ouvido seu amigo, Leonardo, falar que num safári fotográfico na África ele viu um guepardo. Mas o que vem a ser um guepardo? — pergunta você. Um guepardo — diz seu amigo — é um mamífero. Ao ouvi-lo pronunciar “mamífero”, você já elimina uma boa parte da diversidade biológica. Ou seja, um guepardo não é um fungo, nem uma planta, nem um protista, nem um peixe, nem um inseto

Ele não pertence a nenhum desses outros grupos. Mais importante do que isso, você imediatamente descobre informações novas sobre ele, simplesmente pelo fato de você saber que ele é mamífero. Todos os mamíferos possuem pêlos recobrindo seu corpo e glândulas mamárias que alimentam seus filhotes recém-nascidos. Assim, você já sabe que o guepardo também possui essas características. Você está percebendo a importância de agrupar espécies? Mas então, o que vem a ser um guepardo? Seu amigo vai lhe dando mais informações: ele é felino, muito parecido com o leopardo — diz.

Note que, com informações referentes a grupos que ele pertence, você consegue ter uma idéia do que é um guepardo, mesmo sem conhecê-lo. Finalmente, na Figura 1, você pode observar um guepardo e, portanto, conhecê-lo formalmente.

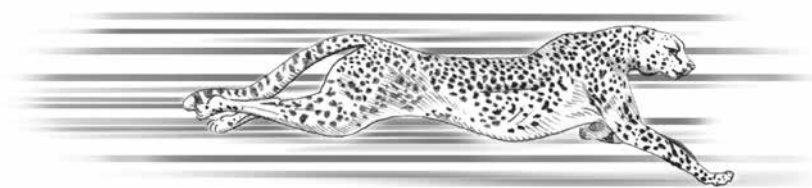


Figura 1: Um guepardo. Esses animais estão entre os mais velozes mamíferos do planeta, podendo atingir 95 km/hora em corridas curtas.

Com esse exemplo, você deve ter percebido que a divisão em grupos de diversidade, inclusive a biológica, é fundamental. Se não fossem colocadas em grupos, você precisaria de uma descrição imensa para cada organismo a que você fosse se referir para conseguir se comunicar sobre a diversidade biológica. Lembre-se de que existem hoje mais de 2 milhões de espécies já descritas e a separação dessas espécies em grupos é muito importante para facilitar a comunicação entre cientistas e o público em geral.

Todos os seres vivos podem ser interpretados como sistemas biológicos. Existem, de fato, algumas particularidades dos **SISTEMAS BIOLÓGICOS** quando comparados com outros tipos de sistemas físicos ou químicos. Nesta aula, vamos resumir alguns dos aspectos de importância. Os sistemas biológicos diferem dos demais pela capacidade de auto-replicação. Essa replicação nada mais é do que a capacidade de produzir cópias de si mesmo. Tais cópias são chamadas de descendentes e os originais são denominados ancestrais. Esse elo de parentesco que liga o ancestral a seus descendentes define as chamadas linhagens ancestral-descendente. Portanto, uma espécie ancestral, ou uma linhagem ancestral, dá origem a várias espécies descendentes (figura 2).

SISTEMAS BIOLÓGICOS

Sistemas são conjuntos de partes integradas de alguma forma. Todo sistema tem uma dinâmica própria. Um sistema biológico é um conjunto de partes que, entre outras propriedades descritas no texto, contém informações sobre a estrutura e autoreplicação do próprio sistema.

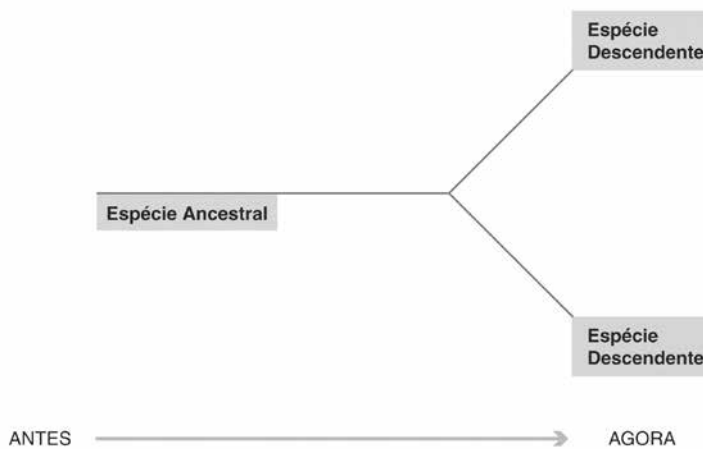


Figura 2: Uma linhagem ancestral-descendente mostrando a espécie ancestral e suas duas espécies descendentes.

AUTO-REPLICAÇÃO

Todos os sistemas biológicos realizam a AUTO-REPLICAÇÃO. Em última análise, essa replicação ocorre através da duplicação do DNA com auxílio de proteínas (enzimas). Exatamente durante a replicação do DNA, as informações contidas nele são reproduzidas, determinando assim as estruturas (morfológica, bioquímica, fisiológica etc.) dos sistemas descendentes.

Esse, certamente, é o principal fenômeno biológico que determina que bactérias, estrelas-do-mar, peixes, baleias e humanos consigam manter sua sobrevivência por meio da auto-replicação. Por esse processo, o sistema biológico ultrapassa a sua condição mortal de indivíduo e se torna “IMORTAL” como uma linhagem ancestral-descendente.

HERDABILIDADE E MUTAÇÃO

É fundamental entender que replicações em sistemas biológicos dão origem a unidades idênticas. Ou seja, o organismo ancestral dá origem, por meio da replicação, a cópias idênticas de si mesmo em seus descendentes. Essa capacidade dos sistemas biológicos, de passar informação gênica idêntica através de suas gerações, é conhecida como herdabilidade. (Leia um pouco mais sobre esse assunto na seção reprodução sexuada

e assexuada.)

UM POUCO MAIS SOBRE O DNA

A molécula de DNA é o principal componente dos CROMOSSOMOS onde se localizam todos os genes em cada uma de nossas células. Todos os genes de todos os organismos estão localizados especificamente na molécula de DNA (Figura 3), que é constituída por uma seqüência de nucleotídeos (unidade básica da molécula) organizados em forma de dupla hélice. Existem 4 tipos diferentes de nucleotídeos (Adenina, Timina, Guanina, Citosina).

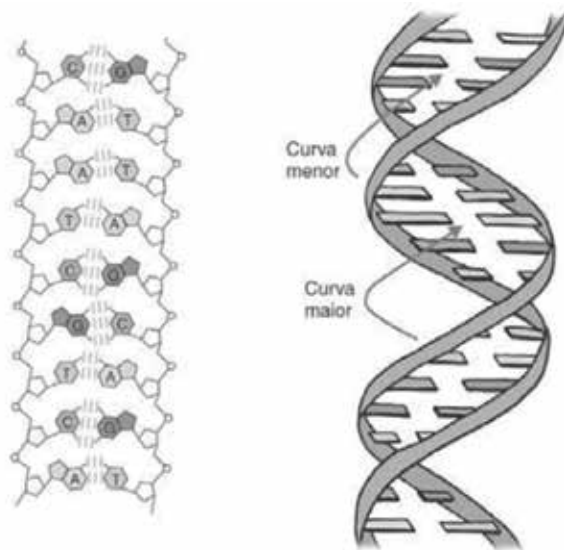


Figura 3: Uma molécula de DNA. Note a dupla hélice da molécula e seus nucleotídeos constituintes.

O arranjo desses quatro tipos de nucleotídeos, ao longo da molécula de DNA, determina todos os genes e, conseqüentemente, todas as proteínas da célula e as características dos organismos.

Um aspecto crucial sobre a replicação biológica é que ela é suscetível a erros. Isso acontece porque o sistema de replicação de DNA, mais especificamente a enzima responsável — a DNA-polimerase —, pode cometer erros no processo de replicação. Esses erros, como já sabemos, são o que chamamos de MUTAÇÕES. Nesses casos, o ancestral não dará origem a cópias idênticas de sua molécula de DNA a seus descendentes, mas sim a

cópias ligeiramente diferenciadas que poderão produzir indivíduos mais adaptados ou menos adaptados ao meio.

REPRODUÇÃO SEXUADA E ASSEXUADA

Na realidade, quando falamos que um ancestral produz cópias idênticas de si mesmo em seus descendentes estamos falando de sistemas de replicação simples, como aqueles que regem a duplicação do DNA nas células de todos os organismos. Esse tipo de sistema só se aplica à duplicação de moléculas como o DNA. Na reprodução das espécies, como as esponjas, os golfinhos, os gatos, os sistemas de reprodução são mais complexos. Por exemplo, todos os mamíferos se reproduzem sexualmente. Assim, dois organismos são necessários para reprodução. Os filhos de um casal de mamíferos não são idênticos a nenhum dos pais, pois herdam metade dos genes de seu pai e metade dos genes de sua mãe.

Como mutações são erros cometidos pela enzima responsável pela replicação do DNA, a primeira coisa que temos de deixar claro é que os erros são aleatórios, ou seja, eles nada têm a ver com o ambiente ou com as condições ambientais a que o organismo está sujeito. A enzima, na realidade, tem como objetivo a reprodução perfeita (e idêntica) da cópia ancestral do DNA nas cópias descendentes. Entretanto, essa enzima (como todos nós, aliás) é capaz de cometer erros, mas, quando a enzima comete um erro, ela não tem a menor idéia do que irá acontecer com o organismo depois da mudança. Quando essa mudança ou mutação é vantajosa, ela rapidamente se torna uma adaptação no organismo, isto é, uma característica que irá ajudá-lo a sobreviver no ambiente que ele vive.

Por exemplo, se a mutação permitir ao organismo enxergar seu alimento mais facilmente, ela será vantajosa para o indivíduo mutante e poderá se espalhar para toda a população, tornando-se uma adaptação.

Por outro lado, a segunda coisa que iremos esclarecer sobre mutações é que a maior parte delas são deletérias, ou seja, elas são prejudiciais à vida do organismo mutante. Vamos voltar ao nosso cotidiano para entendermos melhor essa questão das mutações gênicas serem em sua maioria deletérias. Por exemplo, se você tem um relógio que está funcionando muito bem, ele não atrasa nem adianta um segundo sequer. Depois de um tempo você resolve mexer no relógio e troca uma de suas peças. Como você não é relojoeiro, não tem muita idéia do que você está fazendo e começa a experimentar trocas aleatórias com as peças do re-

relógio. O que vai acontecer com o relógio? Depende. Se você trocar uma peça sem importância para o funcionamento do relógio, como a pulseira, ele vai continuar funcionando sem problemas (além da necessidade de você carregá-lo na mão). Porém, se você trocar a bateria do relógio por uma outra peça qualquer, o seu relógio vai parar de funcionar imediatamente, pois dificilmente uma mudança aleatória irá melhorar a condição do relógio.

Nas células vivas, o processo de mutação acontece da mesma forma. Imagine que neste momento milhões de enzimas estão sendo produzidas e funcionando perfeitamente nas suas células. Essas proteínas são fabricadas de modo a permitir que você esteja lendo esta apostila e absorva seu conhecimento. Todas as enzimas têm como molde seus respectivos genes presentes na fita de DNA. Caso haja uma mutação no gene que especifica a enzima A, essa enzima será produzida de maneira diferente, quer dizer, a mutação no DNA irá especificar uma mudança na enzima correspondente. Se essa mudança for muito deletéria, o organismo pode ficar muito prejudicado e até vir a morrer em decorrência da mutação, levando à falência o sistema biológico. Em populações humanas, muitas doenças são consequência direta de mutações que ocorreram no DNA de nossos antepassados.

Nesse momento é mais importante saber que os erros ou mutações nas cadeias de DNA são a fonte primária de transformação dos sistemas biológicos. A maior parte desses erros, como no caso do relógio, deve levar a deficiências na enzima e conseqüentemente à desvantagem do indivíduo mutante e a sua morte. Porém, o importante para a adaptação dos organismos ao ambiente é exatamente a fração irrisória que é vantajosa dentre todas as mutações. São elas que irão implicar a emergência de organismos descendentes diferentes de seus ancestrais e mais adaptados às condições do ambiente naquele momento. E pela consequência dessas mutações é que percebemos os organismos bem adaptados a seus ambientes, pois aqueles que não possuíam adaptações morreram e foram eliminados da população.

Ora, para encurtar a trajetória desta aula, pode-se dizer que a diversidade de seres vivos de nosso planeta Terra é diretamente associada ao conjunto dessas mutações raras e vantajosas para os organismos! A pressão de seleção é a força (vetor) antagônica a toda e qualquer variação que venha resultar numa queda de adaptabilidade do sistema, relativa ao contexto ecológico e evolutivo vivenciado pelo sistema.

Vamos tentar compreender um pouco mais sobre os sistemas bioló-

gicos, para que possamos entender o conceito central do nosso curso, a biodiversidade. Uma outra característica de sistemas biológicos é o fato de eles serem semi-abertos para o fluxo de matéria e trocas energéticas (Figura 4).

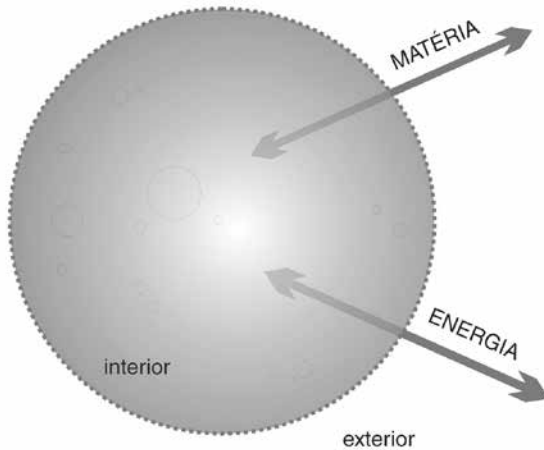


Figura 4: Fluxo de matéria e transferência de energia num sistema biológico. Note que o sistema biológico é delimitado por uma membrana biológica semi-permeável (sistema semi-aberto). Dessa maneira, nutrientes e energia podem passar de um lado para o outro, mas não proteínas ou material genético.

Isso significa que o organismo troca esses componentes com o ambiente ao respirar, ao se alimentar e ao excretar. A fronteira de um sistema biológico é o limite entre o sistema e o meio ambiente, que é delimitado por sua membrana periférica (membrana celular no caso das bactérias, pele no caso dos humanos etc.). Os sistemas biológicos necessitam de energia para garantir o desenvolvimento de suas dinâmicas internas, como as reações bioquímicas das enzimas, responsáveis pela manutenção de sua existência por meio de seu metabolismo. Nesse sentido, os sistemas biológicos devem ser capazes de adquirir energia para condução desse trabalho e se organizar. Sem essa energia o sistema irá rapidamente atingir uma alta ENTROPIA ou uma desordem sistêmica, que é o que acontece quando o organismo morre.

Todo sistema biológico deve obter energia suficiente para suprir seus próprios gastos metabólicos relativos a sua sobrevivência e a sua reprodução. Naturalmente, quanto maior a diferença entre o ganho energético de um organismo e o mínimo de energia que ele requer para sobreviver maior será sua vantagem em relação aos demais organismos. Nesse

sentido, erros (mutações) de replicação podem implicar diferenças no balanço energético entre organismos. Ou seja, um sistema mutante pode apresentar saldo positivo de energia gasta versus energia adquirida (= sistema mais adaptado). Dessa forma, o indivíduo mutante irá, provavelmente, se replicar mais facilmente e com isso aumentar as chances de produzir descendentes com suas mesmas características vantajosas. Repare que esses novos sistemas descendentes são portadores dessa mutação que proporcionou um aumento no saldo energético. Assim, caso nas novas gerações sejam perpetuadas tais condições de vantagem energética, as formas mutantes deverão se tornar cada vez mais abundantes em relação à forma ancestral, principalmente se o recurso for limitado (não abundante para alimentação de todos os sistemas vivos do contexto). Concluindo, os sistemas biológicos são sistemas auto-replicadores, que promovem troca de energia e de matéria com o ambiente, de maneira a possibilitar os recursos necessários ao seu desenvolvimento. Dentre esses recursos está incluído o necessário para garantir a auto-replicação que irá promover a imortalização do sistema.

Nessa linha de raciocínio, dentre uma determinada diversidade de sistemas biológicos, ou seja, dentre um grupo de espécies que compartilham o mesmo recurso energético, aqueles que apresentarem as melhores características, no sentido de maximizar seus saldos energéticos, apresentam freqüentemente as melhores probabilidades de sobrevivência e de reprodução.

Texto base 2

HISTÓRIA EVOLUTIVA

A Biologia evolutiva compartilha com a Astronomia e com a Geologia a tarefa de interpretar fenômenos que não podem ser entendidos hoje sem a compreensão de seu passado. As estrelas da Via Láctea, o Aconcágua e os pássaros da praia de Ipanema, todos têm histórias que lhes fornecem características que os diferenciam das estrelas de outras galáxias, do Pico da Neblina e dos pássaros da praia de Cabo Frio.

Para entendermos a importância da Biologia evolutiva, ou seja, a parte da Biologia que estuda a história evolutiva das espécies, reportemo-nos a um dos grandes pensadores da matéria, **ERNST MAYR**, que coloca em perspectiva o conceito de Evolução. Mayr fala que Evolução é o conceito mais importante em Biologia e que nenhuma pergunta em Biologia pode ser adequadamente respondida sem que a evolução esteja sendo considerada. Ele ainda divide a Biologia primariamente em duas partes: a Biologia funcional e a Biologia evolutiva. A primeira parte trata do estudo das funções e dos processos que envolvem os seres humanos, tais como a respiração, o vôo, a reprodução etc.

A segunda lida com as causas históricas, ou seja, com a porção da história evolutiva que é responsável por cada uma das partes do organismo. Como vimos na aula passada, a Biologia evolutiva tem na análise comparada a ferramenta básica para compreensão. Por meio da comparação da estrutura entre diversas espécies, o pesquisador pode inferir relações de parentesco entre espécies ou delinear as mudanças que as características sofreram ao longo do tempo.

Vamos iniciar essa aula abordando uma questão simples, mas de difícil resposta. Como uma espécie é formada? Uma resposta simples a essa pergunta é “uma espécie é formada por meio do processo de **ESPECIAÇÃO**”. Então vamos esclarecer o que é um processo de especiação antes de seguirmos em frente. Um evento de especiação dá origem a duas espécies, ditas descendentes, a partir de uma única espécie, dita ancestral.

Todas as espécies modernas e todas as que já habitaram a Terra são evolutivamente relacionadas, ou seja, elas têm uma espécie ancestral em comum. Em momento da sua história (evolutiva), duas espécies quaisquer já foram uma única espécie. A diversidade que habitou e habita nos

ERNST MAYR



Nasceu em 1904 e ainda continua produtivo, com o lançamento do livro *O que é evolução* em 2001. Ele se formou em Medicina e completou seu doutorado no mesmo ano. Começou sua carreira estudando pássaros, e hoje é considerado um dos grandes teóricos em Biologia.

ESPECIAÇÃO

É o processo pelo qual espécies vivas se diferenciam em outras espécies, ou o processo de transformação de uma espécie ancestral em duas espécies descendentes.

so planeta é fruto de inúmeros processos que chamamos de especiação. No processo de especiação, uma espécie se transforma em duas, essas duas mais tarde irão se transformar em quatro, essas quatro em oito e, assim por diante, teremos toda a diversidade biológica.

Será que você compreendeu bem esse conceito? Vamos pensar num exemplo mais familiar para ilustrar melhor. Imagine sua família mais próxima: seu pai, sua mãe e seus irmãos. Você pode pensar sobre a origem dessa sua família mais próxima como a data de nascimento do seu pai ou de sua mãe, provavelmente por volta da década de 1960. Entretanto, se você pensar melhor, a sua família não se originou na década de 1950, pois seu pai não nasceu do nada, ele foi concebido pelos seus avós. Então vamos agora pensar numa família mais completa: seus tios, suas tias, seus primos e seus avós. Essa sua família mais completa teve sua origem há mais tempo, não foi? Provavelmente na década de 1920 ou de 1930, no nascimento de seus avós, que deram origem a seus pais, que deram origem a você e seus irmãos. Entretanto mesmo esse último exemplo, ainda é incompleto pois seus avós tiveram pais que deram origem a eles também. Repare que nesse exemplo familiar, você pode voltar no tempo quanto quiser. Além disso, quanto maior o número de pessoas que você inclui na sua família, mais antigo é o seu ancestral comum entre eles. Seus familiares se relacionam na sua **HISTÓRIA GENEALÓGICA**. Isso vale também para a diversidade biológica, quanto maior o número de espécies que estamos nos reportando, o ancestral comum entre todas elas é mais antigo. Todas as espécies do planeta são aparentadas e se relacionam na sua história filogenética. Sim, mas é claro que elas possuem níveis diferentes de parentesco. Assim como você tem um grau de parentesco maior com seu irmão do que com seu primo, um camundongo e um rato possui um grau de parentesco maior (= ancestralidade comum mais recente) do que um macaco e um rato. Se pegarmos todas as espécies que habitam nosso planeta, o ancestral comum de toda diversidade viveu há cerca de três bilhões e meio de anos!

HISTÓRIA GENEALÓGICA

É a história dos antepassados de um indivíduo e a indicação dos casamentos e das sucessivas gerações que o ligam a um ou mais ancestrais.

Repare agora que a gente pode inserir características no meio desses processos de especiação. Pense em você e seus irmãos e a quantidade de traços que vocês possuem em comum. Agora arranje uma foto antiga de seu avô (ou avó) e de seu pai (ou mãe), ambos da sua idade. Veja se você consegue distinguir alguma característica que você tem em comum com ele. É mais difícil encontrar características semelhantes do que na comparação com seus irmãos, não é? No estudo da diversidade das espécies também nos deparamos com uma questão semelhante. Quanto

mais recente for a história evolutiva compartilhada entre duas espécies, mais características elas terão em comum. Mais especificamente, o ancestral comum de todas as espécies do planeta se parecia com uma das bactérias atuais.

É preciso deixar bem claro que o exemplo da história genealógica da sua família serve para te ajudar a pensar sobre grau de parentesco existente entre as diferentes espécies. No entanto, todos os seus familiares são da mesma espécie e foram gerados através de um processo reprodutivo simples. Por outro lado, especiação é um processo complexo que envolve a existência de mutações somadas a pressões e condições ambientais ocorrendo ao longo de muito tempo. Então vamos voltar às espécies e sua formação? Bom, para uma espécie se transformar em duas espécies são necessários alguns passos. Por exemplo, o isolamento geográfico é fundamental no modo de especiação que chamamos de alopátrica. Esse é o **MODELO** mais simples e mais freqüente de especiação e por isso é o único que iremos abordar neste curso introdutório de Diversidade dos Seres Vivos. Alopatria é um conceito que se relaciona com o ambiente em que se dá a especiação. Na especiação alopátrica, duas populações localizadas em lugares distintos (alo: diferentes, patria: local) se tornam espécies distintas. Por outro lado, na especiação simpátrica (sim: igual, patria: local), duas populações que habitam o mesmo local se tornam espécies distintas. Em ambos os casos, uma espécie se transforma em duas, como mostra a Figura 1.

MODELO

Em evolução é a representação simplificada e abstrata de um fenômeno ou de um processo evolutivo, como a especiação.

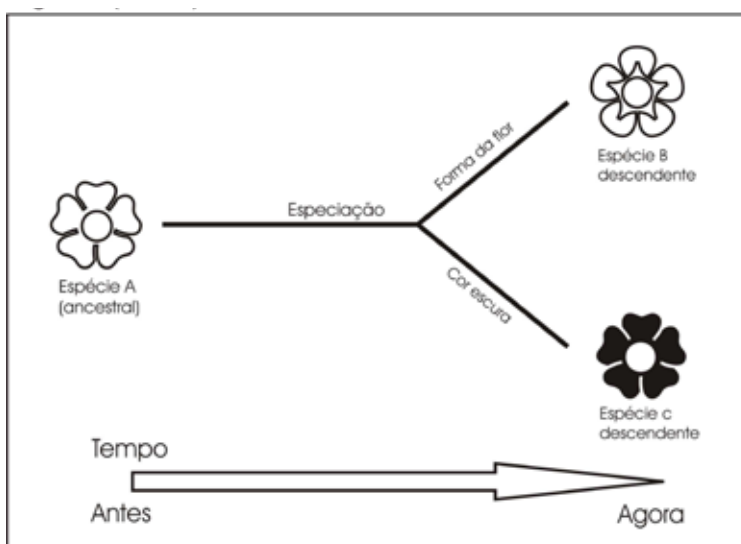


Figura 1: Espécie A (ancestral) dando origem às espécies descendentes B e C, por meio de um evento de especiação.

Agora vamos pensar mais sobre o processo de especiação. Quando uma população está vivendo num mesmo lugar, todos os genes que aparecem por mutação são potencialmente compartilhados por todos os organismos da população. Isso significa que os genes de um indivíduo mutante podem estar presentes, na próxima geração, na prole de outros indivíduos, caso o mutante cruze com eles. Por isso dizemos que todos os genes de uma população podem atingir todos seus membros da população cruzante. Porém, ao longo dos anos, populações naturais ou partes de populações naturais se separam devido a diferentes causas. Por exemplo, o desvio de um rio pode dividir uma população em duas partes.

No caso da Figura 1, esse rio pode ter surgido e promovido o processo de especiação. Em primeiro lugar, o rio separou a população original de plantas em duas subpopulações (isolamento geográfico). A princípio, essas duas partes da população eram idênticas entre si, isto é, compartilhavam os mesmos genes e, portanto, as mesmas características morfológicas. Entretanto, depois de longo TEMPO as duas começam a se diferenciar morfológicamente. Isso acontece porque indivíduos dos dois lados da montanha irão sofrer mutações diferenciadas. Lembre-se de que as mutações ocorrem nos indivíduos por erro da enzima DNA. Assim, independente do ambiente, mutações diferentes irão acontecer nas populações nas duas margens do rio que, isoladas, não mais conseguem cruzar entre si. No exemplo abaixo, a subpopulação B deu origem a uma espécie com flores arredondadas e mais complexas, enquanto a subpopulação C deu origem a uma espécie com flores escuras. Essas mutações observáveis podem ser consideradas marcadores das duas espécies, que devido ao tempo que estão evoluindo independentemente, elas devem ter acumulado mutações que vão prevenir o cruzamento entre B e C mesmo sem a barreira geográfica.

MUTAÇÕES VANTAJOSAS, DESVANTAJOSAS E NEUTRAS

As mutações terão destinos de acordo com o grau de vantagem que elas promovem no indivíduo. Mutações vantajosas tenderão a se espalhar para toda a população através da seleção natural, pois os indivíduos que as carregam terão maiores probabilidades de sobrevivência, de reprodução e, conseqüentemente, de passar essa mutação vantajosa para todos os seus numerosos descendentes. Mutações desvantajosas serão muito provavelmente eliminadas também pela seleção natural. Além dessas, existem as neutras, guiadas pelo acaso (também chamado de de-

riva gênica), que poderá aumentar ou diminuir as frequências gênicas de genes neutros indiscriminadamente.

Mais tarde, a espécie C pode ser também dividida pelo aparecimento de um rio que promoverá o isolamento geográfico entre partes de sua população. Da mesma forma, mutações ocorrerão dos dois lados do rio, independentemente, e assim eventualmente também a espécie C irá se dividir em duas espécies, D e E (Figura 2).

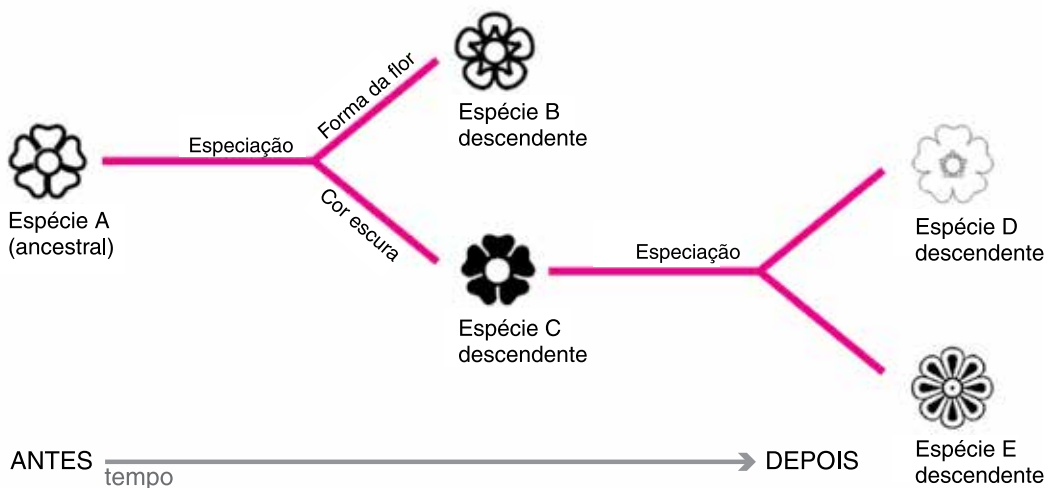


Figura 2: Espécie A (ancestral) virando B e C (descendentes). Repare que a espécie C, descendente de A, também pode ser considerada ancestral dando origem às espécies D e E.

E do mesmo modo, sucessivamente, uma espécie se transforma em duas podendo-se concluir que a partir de uma única espécie ancestral surgiu toda a diversidade da vida moderna e passada do planeta.

A melhor maneira de representarmos as relações da Figura 2 é através de uma árvore filogenética. As espécies D e E são filogeneticamente mais próximas entre si do que qualquer delas com a espécie B, pois elas possuem um ancestral comum, a espécie C, que não é compartilhado por B. Repare que, em última análise, todas possuem um ancestral comum, a espécie A. Uma árvore filogenética (ou filogenia) representa graficamente as relações evolutivas entre espécies e apresenta informações em duas dimensões. Na figura, é mostrado o padrão das relações entre os grandes grupos de organismos. No eixo horizontal o tempo é representado.

Como a espécie humana vive pouco tempo, não podemos observar processos de especiação diretamente na maior parte das vezes. Como mencionado anteriormente, a análise comparativa é a principal ferramenta para construção de filogenias. Existem hoje análises comparativas com base em diferentes métodos de análise: morfologia, citologia, genética molecular etc. No segundo módulo do curso iremos discutir sobre metodologias de construção de árvores filogenéticas; por enquanto, apenas os conceitos ligados a ela são importantes e devem ser extensamente compreendidos.

ESPÉCIES

Estamos discorrendo sobre especiação e filogenias, mas realmente o conceito mais fundamental é o de espécie. Ou seja, o que nos faz perceber quando uma espécie se transformou em duas? Naturalmente, o conceito de espécie é central nesse debate.

Para respondermos a essa questão devemos primeiro perguntar: o que vem a ser uma espécie? Espécie é um palavra derivada do latim, e significa tipo ou aparência. No entanto, qualquer tentativa de biólogos em definir espécie esbarra em algum problema. Será que espécies são unidades discretas, reais e relevantes biologicamente?

Isto é, será que o que chamamos de espécies são entidades naturais que representam uma entidade biológica real ou elas foram criadas apenas para facilitar a comunicação entre taxonomistas? Se espécies fossem divisões artificiais, classificações independentes deveriam reconhecer diferentes espécies. Assim, pessoas sem qualquer conhecimento da classificação ocidental deveriam dividir as formas de vida em unidades diferentes daquelas reconhecidas pelos taxonomistas. Na realidade, elas não o fazem. Por exemplo, uma tribo da Nova Guiné (Figura 3) reconhece 174 espécies de vertebrados, enquanto os taxonomistas reconhecem 178.

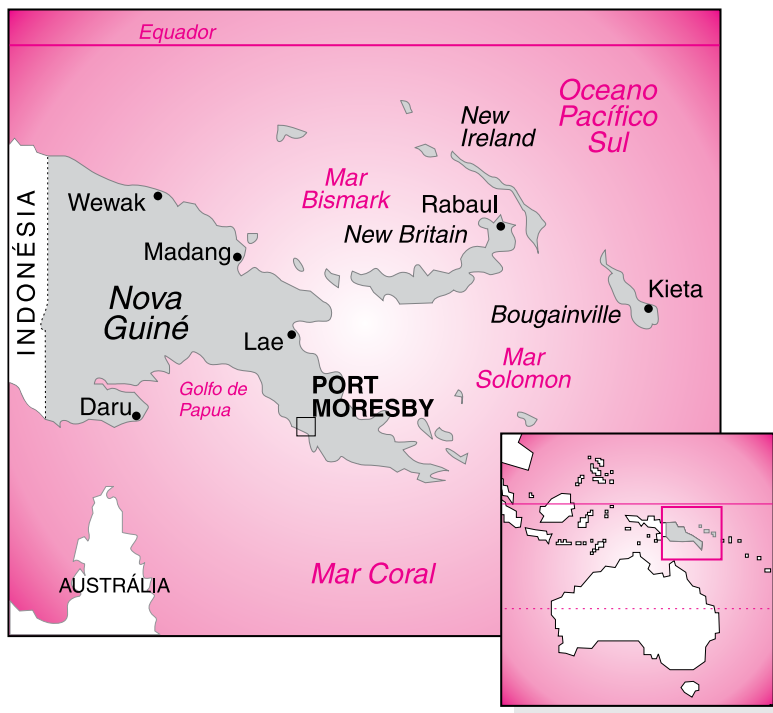


Figura 3: Mapa da Nova Guiné e sua localização no mapa da Oceania (em detalhe).

A explicação mais óbvia é que espécies são, de algum modo, reais, pois a maneira com que a tribo reconhece uma é independente e semelhante àquela que usamos em taxonomia. Portanto, espécies representam unidades observáveis na natureza em um determinado momento.

Hoje em dia, existe uma concordância entre os pesquisadores da área: espécies são as unidades da diversidade da natureza. O problema aparece quando tentamos definir os limites para essas unidades.

Isso porque temos na natureza espécies com características morfológicas, fisiológicas e ecológicas tão diferentes que caracterizá-las em um único conceito de espécie é tarefa árdua, se não impossível.

Um conceito de espécie deve ser universal para que possamos usá-lo para delimitar espécies de mamíferos, de plantas, de bactérias, de PROCTISTAS, de cnidários etc. Além disso, ele deve ser naturalmente coerente. Isso significa que ele deverá estar delimitando uma entidade biológica real, cujos limites traduzem algo de relevante sobre a biologia dos indivíduos.

Até hoje, mais de 20 conceitos de espécie foram propostos. Cada um deles enfatiza alguns pontos importantes, embora negligenciando outros. Por exemplo, alguns conceitos são baseados em noções de similaridades (morfológica, genética etc.), outros em capacidade reprodutiva, e outros, ainda, em dados ecológicos, como compartilhamento de NICHOS ECOLÓGICOS. Todos os conceitos possuem pontos fracos e pontos fortes. Na realidade, a maior parte dos conceitos foi criada para se adequar aos próprios objetos de estudo dos autores. Não é intenção deste curso trazer tal polêmica à tona, mas simplesmente levá-la ao seu conhecimento. Você terá a oportunidade de se aprofundar sobre a questão das espécies na disciplina de Evolução (no quarto período) deste curso em Ciências Biológicas. No momento, iremos apenas levantar o conceito mais usado na literatura, o conceito biológico.

CONCEITO BIOLÓGICO DE ESPÉCIE

Como vimos em alguns exemplos, numa observação de plantas ou animais na natureza você poderá descobrir que o critério de similaridade morfológica para distinguir espécies nem sempre funciona. Ernst Mayr também foi um dos primeiros pesquisadores a ressaltar a importância do cruzamento na caracterização de espécie.

Em sua definição, espécies são grupos intercruzantes (ou potencialmente intercruzantes) de populações naturais que são reprodutivamente isolados de outros grupos semelhantes (Figura 4).



Figura 4: Cruzamento com prole fértil é sinal de que os indivíduos representam a mesma espécie (A), cruzamento com prole estéril ou incompatibilidade para

cruzamento é sinal de que os indivíduos pertencem a espécies diferentes (B).

O conceito biológico é um dos mais usados em Biologia evolutiva. Isso porque ele enfoca uma característica básica que diferencia o nível espécie dos outros níveis taxonômicos: o cruzamento.

O cruzamento é uma propriedade fundamental para definirmos entidades biológicas reais pois é o cruzamento que promove a disseminação de características para todos os membros do grupo intercruzante, como vimos anteriormente. No entanto, esse conceito também apresenta alguns pontos fracos. Por exemplo, ele é inaplicável quando as populações em questão estão em regiões geográficas diferentes. Isso acontece porque populações alopátricas são incapazes de cruzar, já que a distância entre elas inibe o cruzamento e não porque são espécies diferentes.

Esse conceito também é inaplicável quando pensamos na dimensão temporal. Será que, a espécie de um peixe que habitava um determinado lago há dez mil anos é a mesma que o habita hoje em dia? E a de ontem é a mesma que a de hoje?

No final desse debate fica claro que estabelecer “o que é espécie” não é simples. Algumas evidências apontam na direção de que espécies são unidades reais da natureza, que o problema está no nosso reconhecimento dessas unidades. Isso pode ser porque nós, humanos, somos uma espécie visual. Para nós, o reconhecimento entre coisas diferentes é baseado principalmente em diferenças visuais que elas apresentam. Dessa forma, quando as espécies em questão reconhecem seus semelhantes também por diferenças visuais, podemos ter alguma segurança em que reconhecemos alguma unidade natural. Por exemplo, espécies de aves usam características visuais para reconhecer seus parceiros. Assim, nosso reconhecimento das espécies de aves deve ser melhor do que o de espécies de esponjas que reconhecem umas as outras por elementos químicos.

Drosophila persimilis* x *Drosophila pseudoobscura

Uma questão interessante é a que ocorre com as moscas do gênero *Drosophila*. Esse gênero é muito importante, já que possui um grande número de espécies, mais de 1.400. Entretanto, duas espécies descritas são peculiares: *Drosophila persimilis* e *Drosophila pseudoobscura*, por serem idênticas morfológicamente. Tais espécies são o que chamamos de crípticas, ou seja, indistinguíveis em termos de sua morfologia. Entretanto, segundo o conceito biológico de espécie, elas são diferentes, já que não se reproduzem entre si. Isso significa que uma fêmea de uma

espécie consegue reconhecer como parceiro apenas machos de sua própria espécie, apesar de nós não sermos capazes de fazer essa distinção. Por que um macho de *Drosophila persimilis* reconhece uma fêmea de *Drosophila pseudoobscura* como diferente e não cruza com ela, e vice-versa? Por outro lado, nós, taxonomistas, não conseguimos distingui-las. O que você acha? *Drosophila persimilis* e *D. pseudo obscura* são espécies diferentes ou não? Realmente, o importante biologicamente é que, se uma não cruza com a outra, elas estariam evoluindo independentemente e, portanto, seriam unidades evolutivas diferentes. Em nosso curso, a partir deste momento, chamaremos de espécies diferentes, unidades evolutivas diferentes.

ANÁLISE COMPARATIVA

Numa análise comparativa, devemos escolher o grupo de características que iremos estudar para traçar as histórias evolutivas com base nelas. Como já mencionamos, todas as espécies vivas e mesmo aquelas que já morreram são descendentes de uma única e primeira espécie ancestral. Essa espécie definitivamente tinha as seguintes características:

- a) DNA era o material genético;
- b) A catálise de reações químicas era feita através de enzimas (proteínas);
- c) As proteínas eram sintetizadas tendo como molde as cadeias de DNA de acordo com o mesmo código genético;
- d) O DNA era replicado (reprodutibilidade) para originar descendentes idênticos (herdabilidade);
- e) O processo de replicação era passível de erros (mutações).

Comparando cada um dessas características entre as espécies vivas do mundo, verificamos alguns aspectos tão semelhantes e tão complexos, como um código genético de 64 palavras que codificam exatamente os mesmos aminoácidos, que ficaria impossível imaginar que todos os organismos adquiriram exatamente essas mesmas características independentemente, ou seja, que este conjunto de atributos surgiu por mutações independentes, em quase todas as espécies existentes, em diversos momentos diferentes do tempo! Vamos ver um exemplo do cotidiano para ilustrar melhor esse ponto. Imagine uma sinfonia completa com 50 instrumentos diferentes. Cada um desses instrumentos contribui para o ritmo harmonioso final. A probabilidade de a mesma sinfonia ter sido

vislumbrada por duas pessoas independentemente, sem qualquer conexão entre elas, é muito pequena. Essa probabilidade vai diminuindo conforme mais instrumentos são adicionados e ela fica mais longa.

Da mesma forma, na natureza. Quando nos deparamos com características complexas presentes em mais de uma espécie, a história compartilhada de organismos é a mais simples alternativa para explicar essas semelhanças encontradas.

Nesse caso, características compartilhadas por quaisquer espécies decorreram de mutações que suas linhagens ancestrais sofreram antes dos eventos de especiação que deram origem à diversidade de espécies do grupo. Quanto mais recente é a história compartilhada de dois organismos, mais semelhantes eles serão, pois mais características foram adquiridas durante essa longa história em comum. Mas como é que ocorre a história compartilhada?

Pense em quaisquer três organismos de espécies diferentes. Dois deles possuem uma parte de sua história evolutiva compartilhada que não o é pelo terceiro membro da série. Por exemplo, imagine três organismos muito diferentes: uma abelha, um sapo e o Elvis Presley (Figura 5).

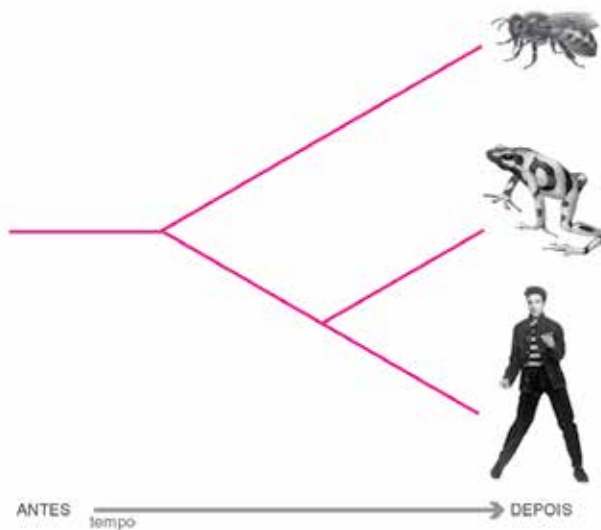


Figura 5: Relações filogenéticas, ou de parentesco, entre uma abelha, um sapo e o Elvis Presley

Entre essas espécies, duas delas são mais próximas evolutivamente entre si. Nesse caso, o Elvis Presley (um mamífero tetrápode) e o sapo (um anfíbio TETRÁPODE) possuem um ancestral em comum que a

abelha não compartilha. Repare que o eixo horizontal é a representação do tempo e as linhas que juntam as espécies representam as linhagens antes e depois dos dois eventos de especiação (A,B) retratados na figura. Então, pela figura, podemos concluir que o Elvis e o sapo têm um ancestral comum, que era um tetrápode, que não é compartilhado com a abelha.

Todos os mamíferos, incluindo o Elvis Presley, são vertebrados como o sapo. Junto com eles estão as aves, as tartarugas, os lagartos, os peixes ósseos e muitos outros. Isso quer dizer que todos esses organismos possuem uma coluna vertebral que promove a sustentação de seu corpo.

Como a coluna vertebral é algo extremamente complexo, faz pouco sentido pensar que diversas linhagens adquiriram esta característica independentemente. Se você pensar com cuidado verá que faz mais sentido pensar que essa característica apareceu uma única vez na espécie que deu origem a todos os vertebrados (i.e., na espécie ancestral dos vertebrados), como mostrado na Figura 5.

Voltando ao nosso exemplo, exatamente no instante em que a abelha se separou da linhagem dos vertebrados essas duas espécies eram idênticas, como as flores no exemplo anterior. Depois do isolamento geográfico, as linhagens foram adquirindo mutações diferentes e se diferenciando aos poucos. A linhagem das abelhas adquiriu patas, asas, olhos compostos; a linhagem dos vertebrados adquiriu coluna vertebral, quatro membros articulados, olhos complexos etc. Por sua vez, quando a linhagem do sapo se separou da linhagem do Elvis (mamíferos), ela também adquiriu suas próprias mutações. A do sapo, por exemplo, sofreu mutações relativas a dedos largos e aderentes, pele lisa, enquanto a dos mamíferos sofreu outras adaptações relativas a glândulas mamárias, pêlos etc. Ficou claro agora?

Você pode estar se perguntando, mas como sabemos disso? Ou seja, como inferimos quais espécies são mais próximas evolutivamente de outras? A resposta é a análise comparativa e a análise filogenética. Por meio da análise comparativa, podemos estabelecer as relações de parentesco de acordo com metodologias. Por enquanto, devemos primeiro definir as características e compará-las entre as diferentes espécies. Isto é, devemos escolher as características homólogas.

Homologia

Características homólogas devem suas semelhanças às histórias

evolutivas em comum entre os organismos. Por exemplo, o ancestral comum de todas as aves era provavelmente próximo ao *Archaeopteryx*, tinha asa com penas. Como todas as aves apresentam asas, assim como o ancestral comum a todas elas, a asa é uma característica homóloga entre as aves. Podemos olhar para as asas de cada uma das espécies, examinar as semelhanças e as diferenças para traçar a origem das linhagens de aves modernas. Entretanto, nem todas as asas são homólogas.

Por exemplo, qualquer observador mais atento verá que a asa de uma mariposa e a asa de um morcego, apesar de terem a mesma função, são características que diferem totalmente quanto a sua estrutura interna (Figura 6). A asa de uma mariposa não tem qualquer articulação e possui veias. Por outro lado, a asa de um morcego é formada pelo alongamento de seus dígitos. Na realidade, a asa de um morcego, que faz parte do grupo dos mamíferos, é muito diferente da asa de uma ave ou mesmo de um réptil voador antigo, um pterodáctilo. Todas elas servem para a mesma função: voar.



Figura 6: Asas e membros superiores de vários animais. As características homólogas estão com a mesma tonalidade.

Na realidade, existem dois tipos de similaridades em características: homologias e analogias. Esses termos foram cunhados pelo anatomista britânico Sir **RICHARD OWEN**. Owen descrevia homologia como “...o mesmo órgão [...] em uma variedade de formas e funções...”. Por exemplo, a pata dianteira de um cavalo, o braço humano e a asa de um

**RICHARD OWEN
(1804-1892)**

Nasceu em Lancaster, na Inglaterra. Ele se formou em Medicina e se especializou em Anatomia comparada.

pássaro são estruturas homólogas. Isso porque eles possuem a mesma estrutura básica: o membro dianteiro com cinco dedos de um animal de quatro membros (tetrápodes, como mamíferos, aves, répteis e anfíbios).

Repare cuidadosamente nessas estruturas que chamamos de asas; suas características básicas são completamente diferentes. E por isso as asas da Figura 6 são chamadas de estruturas análogas, podendo ser definidas como “uma parte de um órgão [...] que possui a mesma função”. As asas de pássaros e de morcegos são ao mesmo tempo homólogas (como membros dianteiros de animais tetrápodes) e análogas (como asas funcionais).

Finalizando, duas características são homólogas quando suas partes semelhantes têm origem ancestral comum. O conceito de homologia cunhado por Owen é extremamente importante em análise comparativa, pois nesse tipo de análise devemos selecionar cuidadosamente as características homólogas e compará-las.

Owen e Darwin

Owen, durante sua vida, teve muita influência como anatomista, e suas palestras eram muito prestigiadas, incluindo em sua platéia membros da realeza londrina em inúmeras ocasiões. Inclusive, ele lecionou História Natural aos filhos da Rainha Vitória, e impressionou a todos quando disse que os girinos se transformavam em sapos durante a vida. Darwin, seu contemporâneo, também assistiu a várias palestras de Owen e era, portanto, familiar a suas idéias. Entretanto, Owen era fixista, ou seja, não acreditava em evolução. Além disso, ele era extremamente arrogante e chegou a se tornar inimigo público de Darwin depois da publicação da *Origem das Espécies*, em 1859.

Texto base 3

TAXONOMIA E O SEU COTIDIANO

A Taxonomia é o campo da Biologia que estuda, descreve e classifica todos os organismos em grupos taxonômicos. A Taxonomia é um campo muito importante, não apenas para os cientistas, como também para o público em geral. Quando você ouve na televisão que “uma espécie da família tal foi encontrada na Mata Atlântica”, a reportagem está se referindo ao sistema de classificação hierárquico criado por Lineu. Um outro exemplo que podemos encontrar em nosso cotidiano é quando alguém fala que “tal espécie é ‘prima’ da outra espécie”; essa pessoa está também se referindo ao sistema de classificação de Lineu. Você também já deve ter ouvido falar em nomes científicos. Pois é, é justamente através desse sistema hierárquico que os cientistas provêm e são providos dos chamados “nomes científicos” de todas as espécies. Por exemplo, os seres humanos são conhecidos cientificamente como membros da espécie *Homo sapiens* (Figura 1), da Família Hominidae, da Ordem Primates, da Classe Mammalia.



Figura 1: Toda a diversidade humana pertence a uma única espécie: *Homo sapiens*.

Existem cerca de dois milhões de espécies já descritas pelos pesquisadores em todo o mundo. Imagine que você é um pesquisador do século XV, que foi contratado em um determinado museu, mas você não conhece nenhum sistema de classificação. Se você fosse propor um sistema de classificação para organizar essas espécies em grupos, que tipo de critério você usaria? Vamos imaginar por exemplo, que você proponha um sistema de classificação no qual o critério de classificação seja presença

ERNST MAYR



Nasceu em 1904 e ainda continua produtivo, com o lançamento do livro *O que é evolução* em 2001. Ele se formou em Medicina e completou seu doutorado no mesmo ano. Começou sua carreira estudando pássaros, e hoje é considerado um dos grandes teóricos em Biologia.

de olhos.

Então, por esse sistema teríamos dois grandes grupos: os Ocellata (com olhos) e o Aocellata (sem olhos). Tudo bem, sem problemas. Mas por que o critério olhos? Não poderíamos usar o critério patas? Ou o critério cor? Será que o critério “presença ou ausência de olhos” tem mais sentido biológico do que o critério “presença ou ausência de patas”? Na realidade, não. Um critério é biologicamente indistinguível do outro, ou seja, equivalentes e assim cada pesquisador iria escolher um critério diferente do último que estudou o grupo.

Imagine só a confusão que seria se a cada momento mudássemos as definições de palavras da Língua Portuguesa. Pois é, na classificação biológica, também precisamos de estabilidade para promover e facilitar a comunicação entre os pesquisadores e o público em geral. Todas as espécies estão relacionadas evolutivamente e que elas possuem um ancestral em comum e que espécies mais próximas filogeneticamente compartilham uma maior parcela de sua história evolutiva e um ancestral comum mais recente. Por outro lado, espécies mais distantes filogeneticamente evoluem independentemente há mais tempo e seu ancestral comum viveu há mais tempo. Nesta aula iremos fazer uma introdução ao sistema atual de nomenclatura biológica, discorrer sobre a sua importância fundamental em Biologia e saber como a história filogenética das espécies se encaixa nesse sistema de classificação.

A IMPORTÂNCIA DA COMUNICABILIDADE

A Taxonomia surgiu no século XVII, quando Lineu criou um sistema hierárquico de nomenclatura. Esse sistema tão antigo ainda é a base fundamental para nosso esquema atual de nomenclatura, descrição e classificação dos organismos. A Taxonomia é a ciência que descreve e classifica os organismos vivos.

Por exemplo, imagine que você esteja fazendo uma excursão de campo na Mata Atlântica e se depara com o organismo da Figura 2 bebendo água num riacho.

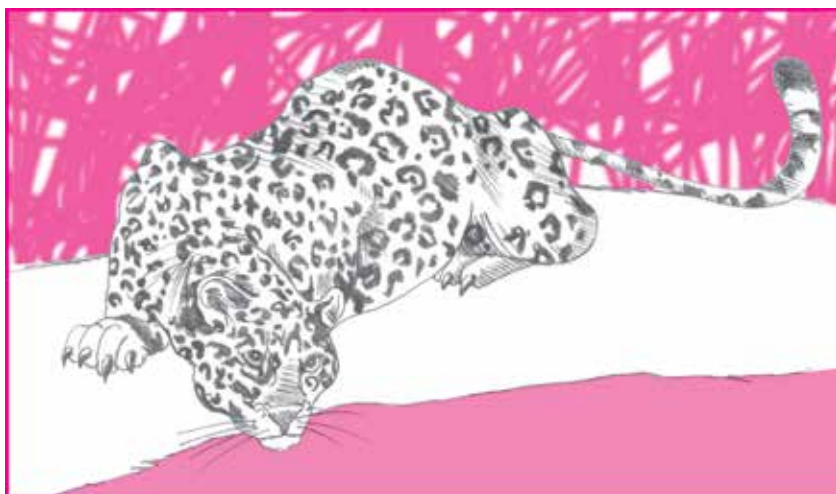


Figura 2: Onça pintada bebendo água no riacho

Quando você retorna da excursão, o professor pergunta-lhe o que você encontrou na floresta. No caso do organismo acima, o animal é suficientemente conhecido e você dispõe de palavras para descrevê-lo. Ou seja, se você mencionar “onça pintada”, seu professor imediatamente saberá o que você encontrou na sua excursão.

Entretanto, o que aconteceria se o organismo que você avistou na excursão fosse desconhecido pelo público em geral e não tivesse um nome em português? Nesse caso, você provavelmente recorreria à seguinte descrição: animal de quatro patas, pesando aproximadamente 100 quilos, com garras grandes, dentes afiados, feições que lembram as de um gato doméstico e com o corpo coberto por uma pelagem amarela, com manchas pretas, do tamanho de uma noz. Dessa forma, o professor poderia ter uma idéia do que você encontrou. Mas repare que essas trinta e nove palavras têm, na melhor das hipóteses, o mesmo efeito de apenas duas: onça pintada.

Dizendo unicamente “onça pintada”, conseguimos nos comunicar mais facilmente sem recorrer a uma descrição detalhada do organismo cada vez que temos de mencioná-lo.

No caso de mamíferos, boa parte das espécies é conhecida do grande público pelo nome comum, mas e no caso de outros organismos não-mamíferos? Certos grupos são menos conhecidos do grande público e por essa razão um nome diz respeito a um grupo maior de espécies reconhecidas cientificamente. A palavra “pardal”, por exemplo, se refere a diversas espécies de pássaros. Portanto, se você avistasse um pardal

na excursão, você deveria mencionar não apenas a palavra pardal, mas também uma descrição breve do animal, para que o professor soubesse exatamente o que você viu no passeio (Figura 3).

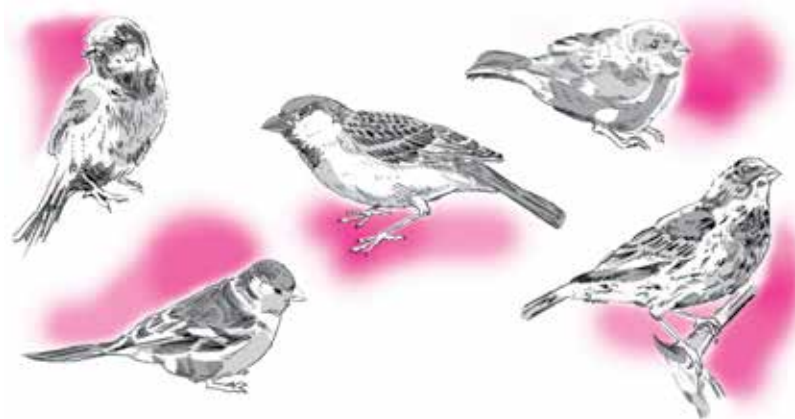


Figura 3: Essa figura mostra uma parcela da diversidade de pardais que existem na natureza. Se você disser que viu “um pardal” na sua excursão, como saber qual tipo de pardal foi avistado?

A questão se complica mais quando estamos lidando com organismos menores e menos conhecidos do grande público do que com mamíferos ou aves. No caso de besouros, por exemplo, a situação fica ainda pior, porque essa única palavra diz respeito a mais de 350.000 espécies! Imagine encontrar palavras para distinguir cada uma dessas 350.000 espécies para explicar ao seu professor exatamente o que você viu na excursão... Impossível, não é mesmo?

Note que a questão central ainda é a comunicabilidade. Quando você fala que encontrou uma onça pintada, o professor sabe exatamente que espécie você encontrou na mata. No entanto, quando você fala que encontrou um besouro, o professor restringe a imaginação dele para 350.000 espécies (Figura 4), ou seja, ele não sabe exatamente o que você viu na excursão.



Figura 4: Que besouro você avistou na excursão? A diversidade dos besouros é muito maior do que a amostra acima!

A questão ficaria mais complicada ainda se você tivesse de relatar seus achados a uma pessoa que não falasse português? É evidente que os pesquisadores precisam de uma linguagem de comunicação abrangente (aplicável a toda a diversidade biológica: plantas, fungos, esponjas, mamíferos) e universal (usável por todos os pesquisadores, independente de sua língua natal). Assim, eles poderiam se comunicar falando de qualquer organismo, mesmo aqueles menos conhecidos do público em geral.

PRIMEIRA LINGUAGEM CIENTÍFICA: O LATIM

Como mencionamos anteriormente, a comunicação entre pesquisadores pode ser complicada. Vamos tomar inicialmente a questão da linguagem. Imagine um pesquisador alemão, um chinês, um japonês, um francês, e um brasileiro. Pense que todos eles trabalham com o mesmo grupo de mamíferos, por exemplo, ROEDORES. Eles trabalham publicando descrições, em sua própria língua, das espécies encontradas em seus respectivos países. Imagine como o francês iria saber se determinada espécie A já tinha sido descrita na Alemanha e, portanto, uma nova descrição se tornaria irrelevante e sem sentido.

Nesse caso, cada um desses pesquisadores deveria aprender todas as línguas de todos os pesquisadores do mundo para poder trocar informações de maneira eficiente. Seria impossível.

A difusão do conhecimento científico através da **COMUNICAÇÃO** é fundamental para sabermos o que já foi feito, se já foi publicado, para que possamos sempre andar mais adiante. Portanto, uma linguagem universal não é apenas importante mas condição fundamental, como vimos

COMUNICAÇÃO

Pesquisadores importantes em todas as áreas da ciência publicam seus achados em revistas. Dessa forma, a pesquisa científica avança mais facilmente, pois os resultados de um pesquisador podem ser utilizados por pesquisadores do mundo todo.

no exemplo citado. A comunicação será implementada, desde que todos os pesquisadores do mundo tenham que saber somente uma língua adicional além da sua língua natal. Por isso, já no século XV, o primeiro passo para facilitar a comunicação entre pesquisadores foi adotar o latim como linguagem científica. Assim, todos os pesquisadores publicavam seus trabalhos em latim e os novos organismos eram descritos nessa língua. Cada pesquisador que encontrasse uma nova espécie a descrevia em latim e, assim, essa descrição ficava disponível para todos.

SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

Então voltando à classificação biológica, vamos iniciar por definir sistema de classificação, que é um conjunto de regras seguidas pelos taxonomistas para classificar os organismos. O primeiro sistema de classificação criado, portanto, foi dar nomes em latim que descrevessem perfeitamente os organismos. No entanto, esse sistema logo se tornou obsoleto por dois motivos. O primeiro deles foi a extensão dos nomes. Usavam-se, por vezes, 15 palavras para descrever uma única espécie. Por exemplo, uma planta semelhante ao cravo era denominada da seguinte forma: *Dianthus floribus solitariis, Squamis calycinis Subovatis brevissimus, Corollis crenatis*. (Hoje em dia é conhecido simplesmente por *Dianthus caryophyllus*.) Ou seja, os nomes descreviam a aparência externa do organismo. Repare que os nomes em geral servem para facilitar a comunicação. Se eu menciono “mesa” você imediatamente sabe o que eu estou falando e eu não preciso usar a descrição de mesa: tampo de madeira, com pés que servem para sustentação. Portanto, nomes descritivos tinham pouca utilidade, porque os pesquisadores tinham de usar muitos nomes para cada organismo e isso dificultava a leitura de um texto científico.

O segundo motivo: o pesquisador descrevia um dado organismo, acreditando que as características por ele escolhidas eram as mais marcantes. Esses dois motivos afetavam a comunicabilidade do sistema e, por consequência, o sistema se tornou obsoleto rapidamente.

Esse problema da comunicabilidade ficou crítico a partir do século XV, quando as grandes navegações avançaram pelo mundo (Figura 5) trazendo para a Europa plantas e animais oriundos das mais remotas e diversas regiões do globo.

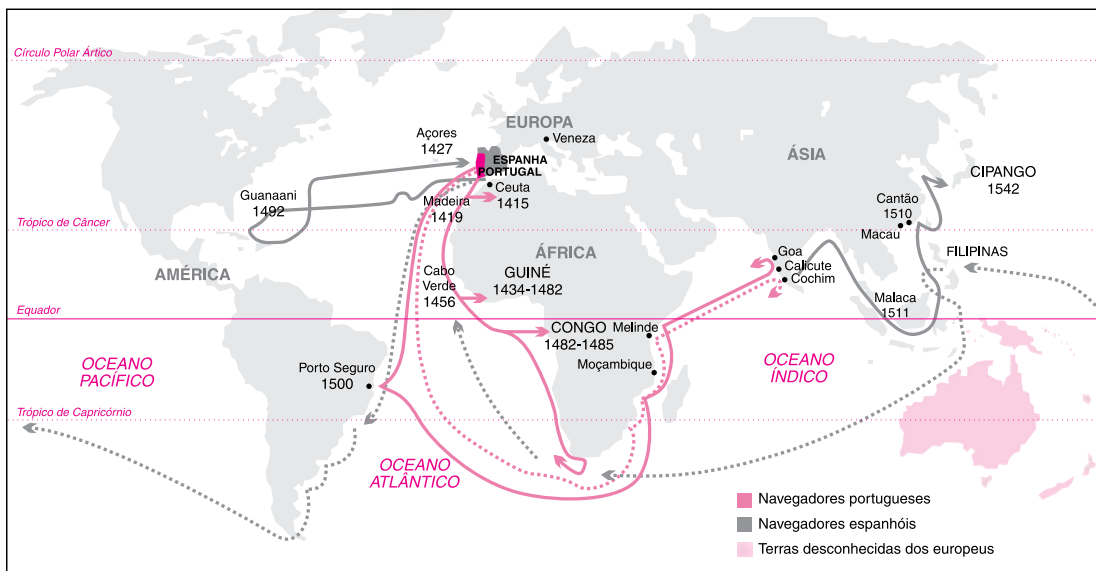


Figura 5: As rotas das grandes navegações.

Especialistas em Botânica e em Zoologia se encarregavam de descrever minuciosamente cada um dos milhares de organismos coletados. O trabalho de descrição e identificação das espécies, antes difícil, se tornou rapidamente impossível com o número e a diversidade de organismos que ali chegavam. Os biólogos claramente necessitavam de um sistema único, estável e conciso para nomear os organismos.

O SISTEMA BINOMIAL

O botânico sueco Carolus Linnaeus desenvolveu um método de nomenclatura chamado sistema binomial. Esse sistema é usado até hoje por taxonomistas do mundo inteiro quando descrevem os organismos. Cada espécie recebe um nome dito “específico”, constituído de duas partes. A espécie da Figura 2, a onça pintada, é conhecida por toda comunidade científica mundial pelo sistema binomial como *Panthera onca*.

A nomenclatura de cada espécie descrita deve seguir uma série de regras, minuciosamente detalhadas no Código de Nomenclatura Zoológica ou no Código de Nomenclatura Botânica. O nome, em latim, deve vir destacado no texto, por exemplo, em itálico, em negrito ou sublinhado. A primeira parte do nome — *Panthera* — é o nome do gênero. Note que o

nome do gênero começa sempre e necessariamente com letra maiúscula.

A segunda parte do nome — onca — sempre começa com letra minúscula. Em geral, o nome que designa a espécie resalta alguma característica morfológica da espécie. Por exemplo, o nome científico do tamanduá-bandeira é *Mimercophaga tridactyla*, onde tri significa três e *dactyla* significa dedos. Uma das características desse tamanduá é o fato de ele possuir três dedos, enquanto o tamanduá-mirim possui quatro dedos (*Tamandua tetradactyla*).

O nome que designa a espécie pode também lembrar o lugar onde ela ocorre. Por exemplo, *Clathrina* é um gênero de ESPONJA marinha que ocorre no mundo inteiro. Especialistas brasileiros em esponjas denominaram uma espécie deste gênero como *Clathrina brasiliensis*.

Nenhum outro grupo animal — um inseto, uma ave, ou outro mamífero — pode ter o mesmo nome para gênero. Ou seja, entre os animais, *Panthera* é um gênero de mamíferos, carnívoros, felinos de grande porte. No entanto, o mesmo nome de um gênero pode ser usado para animais e plantas. Por exemplo, o gênero *Cereus* é um CNIDÁRIO em animais e, em plantas, representa um gênero de cactus.

Outros nomes de gênero são esquisitos e impronunciáveis, como aquele que designa um primata já extinto, *Ekgmowechashala*!

CURIOSIDADES TAXONÔMICAS

Na realidade, o pesquisador que descreve pela primeira vez uma espécie tem liberdade de escolher qualquer nome para descrever o organismo. Outros pesquisadores escolhem homenagear pessoas importantes para o cientista ou mesmo personalidades famosas. Por exemplo, uma espécie de mariposa tem o nome de Leonardo *davincii*, em homenagem ao pintor e cientista LEONARDO DA VINCI. Uma espécie de aranha leva o nome de *Calponea harrisonfordi*, em homenagem ao famoso ator de cinema HARRISON FORD.

O SISTEMA HIERÁRQUICO

Entretanto, não existem apenas as categorias gênero e espécie no sistema de Lineu. Na realidade, diversos níveis de classificação são agrupados hierarquicamente da seguinte forma: Domínios, Reinos, Filos, Classes, Ordens, Famílias, Gêneros e Espécies. Ou seja, um gênero contém várias

espécies; da mesma forma, uma família contém vários gêneros; uma ordem várias famílias e assim por diante. Enquanto o nome específico deve sempre estar enfatizado no texto, itálico ou sublinhado, isso não se aplica a outras categorias como famílias, ordens etc.

Todos os nomes científicos são provenientes do latim ou da “latinização” de outros nomes; por essa razão nunca apresentam acentos.

Voltando à nossa onça pintada da Figura 2, a espécie *Panthera* pertence ao gênero *Panthera* da Família Felidae. Outros felinos conhecidos como o leão (*Panthera leo*) e o leopardo (*Panthera pardus*) também pertencem ao mesmo gênero da onça. O gato doméstico pertence a um outro gênero de felinos, *Felis*, e seu nome científico é *Felis catus*. A Família Felidae, por sua vez, pertence à Ordem Carnivora, juntos a todos os carnívoros (cachorro, lobo, coio, gato, leão, ariranha, foca, leão marinho). A Ordem Carnivora pertence à Classe Mammalia, junto a todos os mamíferos (cachorro, gato, ariranha, foca, boi, macaco-prego, lebre, camundongo, baleia, golfinho, elefante, zebra, cavalo etc.). A Classe Mammalia pertence ao Filo Chordata (cordados) que, por sua vez, pertence ao Reino Animalia (animais) do Domínio Eukarya (eucariontes)

Não se assuste se parecer nomes demais para decorar. Você vai entender mais profundamente a Taxonomia, no curso de Introdução à Zoologia no segundo período. O importante nesse momento é você saber que esses nomes ou níveis taxonômicos são hierarquicamente diferentes.

A relação hierárquica entre os nomes é mostrada na Tabela:

Tabela 1: Classificação taxonômica de quatro espécies de eucariontes¹.

	Ser humano	Chimpanzé	Formiga	Girassol
Domínio	Eukarya	Eukarya	Eukarya	Eukarya
Reino	Animalia	Animalia	Animalia	Plantae
Filo	Chordata	Chordata	Arthropoda	Anthophyta
Classe	Mammalia	Mammalia	Insecta	Dicotyledonae
Ordem	Primates	Primates	Hymenoptera	Asterales
Família	Hominidae	Hominidae	Formicidae	Compositae
Gênero	<i>Homo</i>	<i>Pan</i>	<i>Solenopsis</i>	<i>Helianthus</i>
Espécie	<i>Homo sapiens</i>	<i>Pan troglodytes</i>	<i>Solenopsis aevisima</i>	<i>Helianthus annuus</i>

Nela vemos a classificação da nossa espécie (*Homo sapiens*) comparada à classificação de um outro primata (chimpanzé), de um invertebrado (formiga) e de uma planta (girassol). Ao longo de nosso curso, iremos discorrer sobre a diversidade dos diferentes organismos e como essa diversidade foi gerada. Essas categorias que estão especificadas na Tabela 1 são usadas para todos os organismos; no entanto, quando a diversidade de espécies é muito grande em uma determinada categoria os cientistas criam novos níveis hierárquicos. Os taxonomistas do gênero de moscas *Drosophila*, por exemplo, usam quatro outros níveis taxonômicos entre gêneros e espécies: subgêneros, grupos, subgrupos e complexos de espécies para conseguir separar as mais de 1.500 espécies de *Drosophila* já descritas.

Você se lembra que no início da aula estávamos falando em critérios para definir grupos? Pois é, idealmente, grupamentos taxonômicos devem ter como critério a história filogenética dos organismos. Isso significa que os grandes grupos de espécies, de gêneros, de famílias refletem os padrões filogenéticos. Por exemplo, os eucariontes (classificados no Domínio Eukarya) são descendentes de uma espécie que apresentou uma membrana nuclear pela primeira vez.

O envoltório nuclear que protegia o DNA foi tão importante que essa mudança foi passada a seus descendentes e aos descendentes deles, e os inúmeros eventos de especiação geraram essa diversidade de eucariontes que encontramos hoje em dia. Os mamíferos possuem uma história e um ancestral em comum que não é compartilhada por nenhuma ave. Assim, eles são classificados em um grupo exclusivo, a Classe Mammalia. Ou

seja quanto mais recente for o ancestral de um grupo, uma maior número de grupamentos taxonômicos o grupo todo terá em comum.

UM POUCO MAIS SOBRE DROSOPHILA

O gênero *Drosophila* é um gênero muito importante de moscas que servem como modelos. Um modelo experimental como *Drosophila* é usado para testar hipóteses científicas por meio de experimentos com esses organismos. A mosca do tipo *Drosophila* é bem diferente da mosca comum. Ela é tão pequena que até pode ser confundida com um mosquito. Faça um experimento. Coloque uma banana descascada dentro de um vidro de maionese lavado e sem tampa na área da sua cozinha. Depois de alguns dias, volte ao local com um pedaço de pano fino (pode ser uma meia fina, ou seda) e um elástico de cabelo. Coloque o pedaço de pano tapando a boca do vidro e passe o elástico em volta para firmar o pano. Armazene os animais encontrados no vidro para levar ao laboratório quando puder e dê uma olhada na lupa. Verifique se eles se assemelham aos da Figura 6.



Figura 6: *Drosophila melanogaster*. A mosquinha da fruta



Roteiro de ação 2

Informações básicas:

Duração prevista:	50 minutos
Área de conhecimento:	Ciências
Assuntos:	Mutação.
Objetivos:	<ul style="list-style-type: none"> • Conceituar mutação; • Reconhecer a mutação como um dos mecanismos responsáveis pela variabilidade dos seres vivos, sobre a qual atua a seleção natural.
Material necessário:	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo dirigido
Organização da classe:	grupos de três a cinco alunos
Descritores associados:	<ul style="list-style-type: none"> • H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos. • H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos. • H17 – Relacionar informações, apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação, usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica. • H29 – Interpretar experimentos ou técnicas que utilizam seres vivos, analisando implicações para o ambiente, a saúde, a produção de alimentos, matérias primas ou produtos industriais.

**Comentários para o professor**

Professor, propomos neste roteiro um estudo dirigido sobre o tema mutação, assunto retratado com certa frequência e de forma imprecisa pelos meios de comunicação de massa e, por isso, passível de uma interpretação errônea pelos alunos. Com ele, destacamos o papel da mutação como fonte de variabilidade a fim de facilitar a compreensão em relação a esse tópico. Ao longo das atividades, os alunos são “convidados” a refletir (individualmente e em conjunto) com base nas situações propostas para buscar respostas às questões problematizadas. Dessa forma, esperamos despertar a curiosidade dos alunos e ajudar na compreensão da mutação como fonte primária de variabilidade.

MUTAÇÃO, AFINAL, QUAL É A SUA?

Etapas individuais:

Antes de começar o estudo dirigido com o seu grupo, pense e escreva o que você entende por **mutação**.

Etapas em grupo:**Situação 1: Anemia falciforme**

Raquel era uma aluna muito curiosa e participativa. Em toda aula de Biologia, ela tinha algo a perguntar. Vamos reproduzir abaixo um dos últimos diálogos entre Raquel (R) e sua professora de Biologia (P) em sala de aula.

(R) — “Fessora”, o que é anemia falciforme?

(P) — É uma doença genética.

(R) — Sabe a aluna nova da 2002? Ela tem essa doença! Ela me disse que não pode correr, pular, subir escadas, nem Educação Física ela faz!

(P) — É mesmo? Não sabia que a Thamiris tinha anemia falciforme!

(R) — Mas como a pessoa tem essa doença “fessora”?

(P) — A anemia falciforme é causada por uma **mutação no gene da**

hemoglobina dos glóbulos vermelhos do sangue (aquela proteína que transporta o oxigênio pelo corpo).

(R) — Mutação?!

(P) — As mutações são alterações na estrutura do DNA. No caso da anemia falciforme, ocorre a **substituição de uma base nitrogenada** em um trecho do DNA (**adenina** por **timina**) e como consequência, a troca do aminoácido ácido glutâmico por valina.

A professora, então, vai ao quadro e escreve um trecho das moléculas de hemoglobina normal e com mutação, bem como desenha suas respectivas hemácias:



(R) — Poxa, “fessora”, a troca de uma única base nitrogenada provoca a substituição de um único aminoácido e só isso causa uma doença?

(P) — Nesse caso, sim, Raquel. Em outras situações, a substituição de uma única base nitrogenada pode produzir um efeito diferente ou mesmo não causar efeito aparente! Ou seja, uma mutação não necessariamente causa doença!

(R) — Ah tá!!

(R) — Hum, então por causa dessa mutação a hemoglobina da Thami-
ris é diferente da nossa!

(P) — Isso. Nesse caso, a troca de um aminoácido por outro faz com que a **hemoglobina** de pessoas com anemia falciforme seja **defeituosa**. Nas partes do organismo onde a concentração de oxigênio esteja baixa, a nova molécula de hemoglobina cristaliza-se e provoca **deformações nas hemácias**, que passam a ter a **forma de meia-lua ou foice** (daí o nome da

doença “anemia falciforme”).

(R) — Ah tá! E essa hemácia em formato de foice provoca alguma coisa?

(P) — As hemácias deformadas nem sempre conseguem passar através dos vasos sanguíneos mais estreitos, impedindo a circulação do sangue, podendo comprometer vários órgãos.

(R) — Nossa “fessora”, então uma mutação pode provocar a morte?

(P) — Essa, infelizmente sim.

(P) — Mas é importante a gente pensar, turma: embora as mutações aconteçam, nas células os mecanismos de verificação e reparo de erros são muito eficientes. Pra vocês terem uma ideia do quanto esse controle é grande, na duplicação do DNA, calcula-se que ocorra apenas 1 erro para cada 1 bilhão de nucleotídeos inseridos, ou seja, em geral, a taxa de mutação é bem pequena.

(R) — “Caramba”, só 1 pra 1 bilhão!!

(P) — Isso aí! Voltando ao caso da anemia falciforme, há um detalhe interessante relacionado a essa doença que eu ainda não contei a vocês!

(R) — O quê “fessora”?

(P) — Pessoas **heterozigotas** para o gene da anemia falciforme, os chamados portadores, são resistentes à malária, aquela doença causada por um tipo de protozoário. Por isso, em regiões onde a malária apresenta grande incidência, como na África e o norte do Brasil, os heterozigotos são selecionados positivamente, tendo mais chances de sobreviver e se reproduzir. É dessa forma que o gene para a anemia falciforme mantém-se em frequência relativamente alta nessas populações.

(R) — Hum, agora entendi... A mutação no gene da hemoglobina é boa para os heterozigotos, que não ficam com malária!!

(P) — Exatamente, Raquel.

(R) — E as pessoas homozigotas nesses lugares?

(P) — **Os homozigotos “normais”** correm alto risco de morte por malária e os **homozigotos para o gene da anemia falciforme** podem morrer.

(R) — E em locais onde não há malária, como aqui no Rio?

(P) — Nesses locais, o gene para anemia falciforme sofre forte efeito negativo da seleção natural, ocorrendo em frequência baixa. É assim, porque os heterozigotos também apresentam problemas por causa da anemia, ainda que com menor gravidade do que os homozigotos.

(R) — Mais uma vez a seleção natural!

(P) — Sim. Com esse exemplo, podemos notar que, para as pessoas que vivem em área onde há malária, a mutação no gene da hemoglobina foi benéfica.

(R) — É mesmo!

(P) — Ao longo da história evolutiva dos seres vivos, as diferenças genéticas entre os indivíduos de uma população são geradas por **mutações** e selecionadas positiva ou negativamente, por **seleção natural**.

(P) — Vamos ver mais um exemplo da relação entre mutação e seleção natural?!

Situação 2: o exemplo da professora de Biologia – A resistência de bactérias a antibióticos.

A professora comenta:

— A penicilina foi o primeiro antibiótico empregado no tratamento de infecções bacterianas. Após a Segunda Guerra Mundial, o uso exagerado de tal medicamento selecionou inúmeras linhagens de bactérias resistentes. Vamos ver como isso acontece?

A professora faz no quadro um esquema mostrando como ocorre a seleção de bactérias resistentes a antibióticos:



A professora explica o esquema:

— Graças às mutações, pode existir grande variedade de bactérias em uma população. Como vocês podem observar no esquema, quando uma população de bactérias (bactérias originais) é submetida a determinado antibiótico por um período prolongado, os indivíduos com maior resistência ao antibiótico são selecionados, sobrevivendo, enquanto os sensíveis morrem. Gradativamente, geração após geração, diminui a quantidade de bactérias sensíveis e aumenta a de resistentes.

— Na verdade, nas populações bacterianas, podem surgir, por **mutação**, bactérias capazes de resistir a diversas substâncias tóxicas, entre elas os antibióticos. Quando uma população de bactérias é exposta a um antibiótico, ele atua como um agente seletivo: as bactérias sensíveis morrem e as resistentes sobrevivem. Elas aumentam de número, geração após geração; ou seja, as bactérias resistentes apresentam maior sucesso reprodutivo e predominam na população. Na ausência de antibiótico, as bactérias mutantes não levam nenhuma vantagem sobre as não mutantes. É assim que, desde que foram introduzidos, os antibióticos têm atuado como **agentes seletivos** de linhagens de bactérias resistentes, representando um dos exemplos mais visíveis do processo de **seleção natural**.



Comentários para o professor

Professor, acreditamos que a atividade se tornaria mais interessante se dois alunos realizassem a leitura do diálogo para a turma: um aluno interpretaria as falas da personagem Raquel e o outro, as da professora de Biologia.

Após a leitura dos diálogos, reúna-se com seu grupo e responda as perguntas a seguir.

1. Agora, como vocês conceituariam mutação?

Resposta comentada:

Alterações na estrutura da molécula de DNA de um organismo.

2. Muitas pessoas dizem que as mutações “fazem mal”. Vocês concordam com essa afirmação? Justifiquem sua resposta utilizando exemplos.

Resposta comentada:

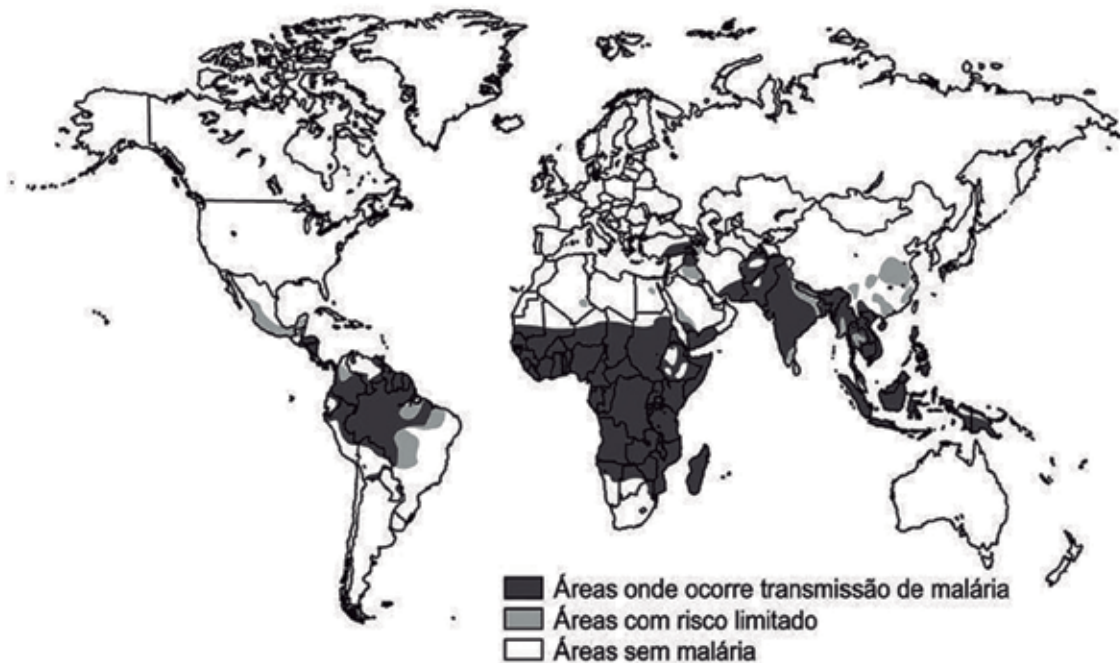
Não. Como as mutações geram variações nos conjuntos gênicos das populações, elas tanto podem ser favoráveis (como a resistência bacteriana a antibióticos) quanto desfavoráveis (exemplo dos indivíduos homozigotos para o gene da anemia falciforme, que possuem a doença)..

**Comentários para o professor**

Professor, embora não tenha sido abordada nas situações apresentadas no estudo dirigido, cabe informar aos alunos que, além das mutações favoráveis e das desvantajosas, existem as chamadas mutações neutras. Elas não apresentam vantagens adaptativas aparentes. Mas, em algum momento e dependendo das condições ambientais, podem vir a sofrer efeito da seleção natural, levando a mudanças evolutivas.

3. Existem áreas no mundo onde a incidência de malária é grande. No mapa abaixo estão marcadas algumas dessas áreas (em cinza escuro), assim como regiões com risco limitado da doença (em cinza claro) e sem ela

(em branco). Lembrando que existe uma conexão entre *mutação*, *anemia falciforme*, *seleção natural* e *malária*, em qual dessas áreas haverá maior frequência do gene para anemia falciforme? Justifique sua resposta.



Resposta comentada:

Os alunos devem perceber que a maior frequência do gene para anemia falciforme encontra-se nas áreas marcadas por cinza-escuro, já que nelas há maior frequência de malária, o que seleciona positivamente os portadores do gene para anemia.

4. Tomar um antibiótico por mais tempo do que o recomendado pelo médico pode ajudar na seleção de bactérias resistentes a antibióticos. Como isso pode ocorrer?

Resposta comentada:

Espera-se que o aluno responda de forma semelhante a:

Nas populações bacterianas podem surgir, por **mutação**, bactérias capazes de resistir a diversas substâncias tóxicas, entre elas os antibióticos. Quando bactérias **mutantes** são expostas de forma excessiva a um antibiótico, ele atua como um agente seletivo de linhagens de bactérias resistentes: elas sobrevivem e aumentam de número, gradativamente, geração após geração e predominam na população, enquanto as sensíveis são eliminadas. Sugerimos a leitura do texto “Infecções hospitalares, até quando?” escrito pelo geneticista Sergio Pena. Nele, há uma seção sobre resistência bacteriana aos antibióticos que vale a pena ler antes de abordar o assunto com os alunos. O texto está disponível em:

<<http://cienciahoje.org.br/coluna/infeccoes-hospitalares-ate-quando/>>. Acesso em 05 de setembro de 2018.

Também indicamos o vídeo (duração 5' 29") sobre anemia falciforme, produzido pela Academia de Ciência e Tecnologia de São José do Rio Preto (SP). Disponível em:

<<http://www.youtube.com/watch?v=FBXcJN1ETa4&feature=related>>. Acesso em 05 de setembro de 2018.



Comentários para o professor

Professor, uma opção para encerrar este bloco de atividades é a exposição de ideias e conclusões por grupo. Essa estratégia é bastante enriquecedora, pois permite a troca de informações entre os estudantes. Assim, eles têm a oportunidade de ouvir diferentes explicações para um mesmo assunto, e de ampliar a capacidade de expressão oral.



Roteiro de ação 3

Informações básicas:

Duração prevista:	40 minutos
Área de conhecimento:	Ciências
Assuntos:	Evolução
Descrição sucinta:	Dinâmica utilizando um jogo para entendimento que o processo de mutação faz parte do processo natural e é um dos principais fatores evolutivos.
Material Necessário:	Impressão de material do jogo, disponível no site http://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_293e65d230354d2ba43b50ae10f41336.pdf . (um tabuleiro, cartas de identidade, cartas surpresa), pinos (1 para cada jogador, podem ser feitos de moedas, ou borrachas ou outro material escolar disponível), 6 dados, marcadores de filhotes (miçangas, canudinhos, palitos de dente ou qualquer outro material disponível).
Organização da classe:	Grupos de 2 a 5 alunos

A EVOLUÇÃO EM JOGO!

Professor, nesse roteiro você encontrará uma ótima oportunidade de trabalhar conceitos como a evolução e a sobrevivência das espécies.

Você poderá obter mais informações sobre o jogo da evolução* e diversos conceitos relacionados ao tema, como mutação e deriva gênica no site: <http://geneticaescola.com.br/vol-vii2-artigo-06/>.

Procure deixar bem claro para os alunos as regras do jogo. Observe o raciocínio utilizado por cada um e interfira somente naqueles que se mostrarem totalmente incorretos. Aproveite para inserir conceitos quando os alunos encontrarem alguma dúvida.

*Referência: Mayra de Freitas Galvão, Rafael Wesley Bastos, Fabiana Freitas Moreira, Adriana de Castro Rodrigues e Karla Suemy Clemente Yotoko.

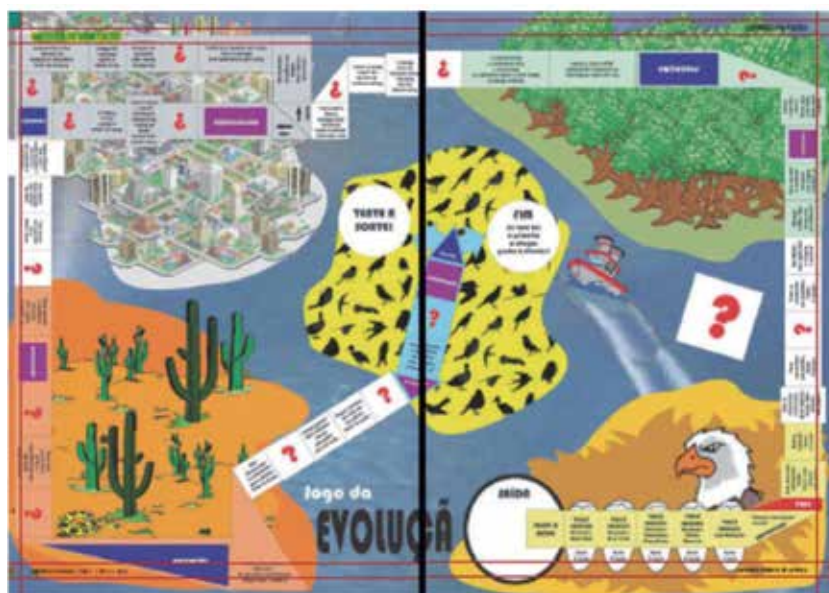
Em que consiste o “Jogo da Evolução”?

O jogo da evolução é baseado principalmente em três processos da genética de populações: mutação, deriva genética e seleção natural. O jogo representa a migração de aves que passam por 5 ilhas com características peculiares. A primeira e a quinta ilha são os locais de partida e destino desses indivíduos, respectivamente. A segunda ilha é uma floresta, a terceira uma cidade e, a quarta, um deserto. Cada uma dessas ilhas possui “casinhas” que demonstram suas características. Portanto, é interessante mostrar aos estudantes que nenhum genótipo é o melhor em todos os ambientes. Por exemplo, o genótipo que determina o fenótipo “camuflagem” pode ser importante na floresta, mas em um deserto pode não ter muito valor no sentido de evitar a predação. Desse modo, o estudante poderá perceber que o efeito da seleção natural depende do ambiente.

Material: Um tabuleiro, cartas de identidade, cartas surpresa (representadas pelo sinal ?), pinos (1 para cada jogador, podem ser feitos de moedas, ou borrachas ou outro material escolar disponível), 6 dados, marcadores de filhotes (miçangas, canudinhos, palitos de dente ou qualquer outro material disponível).

A seguir, colocamos as imagens do tabuleiro e das cartas para ajudá-lo a visualizar o jogo.

Tabuleiro



Cartas de identidade



Exemplos de cartas surpresas



Objetivo do jogo: Acumular mais filhotes.**Modo de Jogar:**

Todos os pinos são posicionados na saída do tabuleiro. Cada jogador deve lançar os dados para definir a ordem de início do jogo, que se dará em ordem decrescente dos valores obtidos. Em caso de empate, os dados devem ser jogados novamente até que haja o desempate.

O primeiro passo é que cada jogador deverá jogar um dado e andar as casas de acordo com o número indicado. Para cada uma dessas primeiras casas do tabuleiro, há uma carta-identidade correspondente ao indivíduo que o jogador será durante o jogo. Estas cartas contêm a taxa de reprodução e de predação para cada indivíduo.

A partir de então começa propriamente o jogo e a cada jogada, cada competidor deve seguir as orientações da casa em que parou.

Ganha o jogador que tiver mais filhotes vivos ao final do jogo ou aquele que conseguir acertar o TENTE A SORTE (explicações mais a frente) no final do tabuleiro.

Entendimento das Ordens:**Reprodução**

Sempre que o jogador PASSAR pela casa REPRODUÇÃO, gerará descendentes.

Para estabelecer o número de filhotes, o jogador deve lançar o número de dados indicado na carta-identidade (o jogador com a mutação “Rabo Azul”, por exemplo, joga sempre 3 dados para se reproduzir). O dado de maior valor nesta jogada define o número de filhotes que serão produzidos.

Predação

Sempre que PASSAR pela casa PREDACÃO, o jogador perderá alguns de seus filhotes. Para estabelecer o número de filhotes perdidos, um segundo jogador (apenas para representar o predador) lança 3 dados. O jogador que caiu na casa PREDACÃO lança o número de dados indicado na carta-identidade (o jogador com a mutação “Rabo Azul”, por exemplo, lança sempre 1 dado nesta ocasião). A diferença entre o maior número do predador e o maior do jogador será o número de filhotes perdidos.

Por exemplo, se um os dados lançados pelo predador tem como o maior número o 6 e o dado do jogador é 3, este participante perderá 3

filhotes ($6 - 3 = 3$). No entanto, se o jogador sortear um número maior ou igual ao número do predador, ele não perderá nenhum filhote

Casa “4”

Quando parar nesta casa, o jogador deve lançar um dado. Se ele tirar um número maior ou igual a 4, nada acontece. Porém, se esse número for menor que 4, ele retornará à primeira casa da ilha anterior.

Casa “?”

Quando parar nesta casa, o jogador tira uma carta “?” (carta surpresa) e age conforme indicado nela.

Casa “Bifurcação”

Na terceira ilha existe uma bifurcação, ou seja, é possível tomar dois caminhos diferentes a partir dela. Sendo assim, é preciso levar em consideração se o número tirado no dado foi par ou ímpar. No caso do número par, o jogador deverá seguir o caminho reto, mas no caso de número ímpar, ele deverá seguir o caminho alternativo (desvio para baixo).

Caso o jogador pare em cima da bifurcação, ele deve pular para a próxima casa levando em consideração o mesmo raciocínio usado anteriormente. Se o número tirado for par, ele segue o caminho reto, se for ímpar pega o caminho alternativo.

Fim do Jogo

Ganha o jogo quem tiver mais filhotes vivos ao final do tabuleiro. O primeiro jogador que chegar ao fim do tabuleiro ganha seis filhotes como bônus.

Tente a Sorte

Caso queira TENTAR A SORTE e ganhar o jogo independentemente do número de filhotes, o jogador que chegar ao final do tabuleiro deve escolher dois números e lançar dois dados. Se conseguir obter os números escolhidos, ganha o jogo, que termina neste momento. Caso contrário, perderá todos os filhotes. Caso ninguém queira TENTAR A SORTE, todos devem esperar até o penúltimo jogador chegar ao fim do tabuleiro para então se fazer a contagem dos filhotes. O último jogador não sofre nenhuma penalidade, porém o jogo termina antes que ele chegue ao fim do tabuleiro.

**Comentários para
o professor**

Professor, a qualquer momento do jogo poderão aparecer conceitos como mutação, seleção natural, deriva genética. Este é o momento de intervir e esclarecer aos alunos a importância de cada um deles no processo de seleção natural.

Segundo os autores do Jogo da evolução, o tabuleiro possui poucas “casinhas” para que o jogo possa ser usado em uma aula de, por exemplo, 50 minutos. Assim, haverá tempo suficiente para as explicações sobre o jogo e para os alunos jogarem. Recomenda-se que os estudantes joguem mais de uma vez para que seja possível observar todos os processos e perceber que tais processos na natureza estão acontecendo simultaneamente e interferindo um no outro.

Texto base 4

SELEÇÃO NATURAL

Nesta aula vamos falar sobre o mecanismo proposto por Darwin para explicar como acontecia a evolução dos seres vivos, a seleção natural. Mas, para entendermos o que é seleção natural, vamos começar definindo o que é seleção de uma maneira geral. Uma seleção conhecida de todos é a nossa pentacampeã seleção brasileira de futebol. Então, vamos pensar como a seleção brasileira de futebol foi formada. A seleção brasileira reúne um grupo de jogadores de futebol que apresentam as melhores características específicas (Figura 1).



Figura 1: Seleção brasileira de futebol. Repare que cada jogador foi selecionado por uma determinada característica para jogar numa posição específica.

O jogador que consegue pular mais alto é escalado como goleiro, o mais rápido como atacante e assim por diante, o técnico escala toda a seleção brasileira. Essas características específicas dos jogadores permitem que a seleção brasileira jogue futebol melhor do que um conjunto aleatório do restante da população. Portanto, o processo seletivo, ou a triagem, de jogadores para um time de futebol acontece de uma maneira semelhante ao processo natural da seleção nos seres vivos (Figura 2).

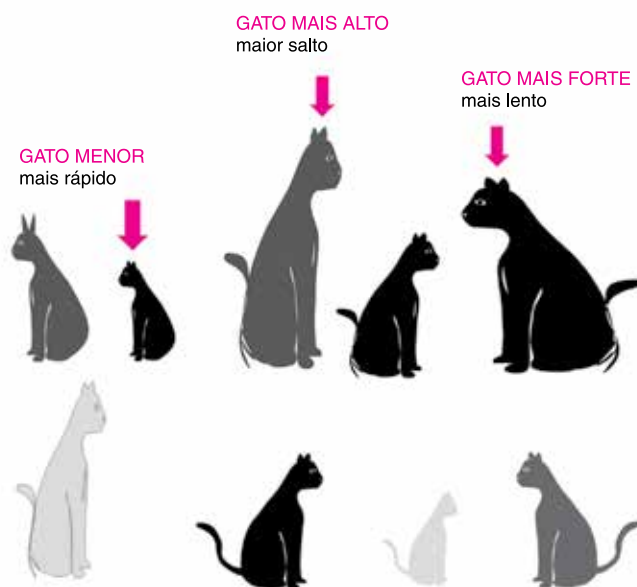


Figura 2: A seleção natural promove uma triagem onde os organismos que apresentam as características mais vantajosas para o ambiente em que vivem têm maiores probabilidades de sobrevivência, ..., para seus descendentes. No exemplo acima, cada uma das características citadas pode ser mais vantajosa em um determinado ambiente.

Na seleção brasileira, quem escala é o técnico e na natureza quem “escala” é o ambiente de maneira geral.

Vamos pensar mais sobre isso. Semelhante ao que acontece na seleção brasileira, o processo de seleção natural tria naturalmente um grupo de organismos que apresenta as melhores características para o ambiente em que vivem. A seleção natural se baseia no fato de haver probabilidades diferenciadas de sobrevivência (fecundidade diferencial) e, portanto, de reprodução entre organismos com diferentes características. Assim, se um determinado organismo apresenta características que lhe confirmam uma vantagem na hora de conseguir comida, ou de escapar de um predador esse organismo é selecionado naturalmente para sobreviver. No caso da seleção brasileira, características como habilidade com a bola, força no chute, altura, velocidade, são as características que determinam a seleção dos jogadores pelo técnico.

Agora vamos ver um exemplo da natureza. Digamos que em uma determinada população de leões, por exemplo, todos os indivíduos apresentavam um determinado gene A. Esse gene A codificava uma proteína que atuava na visão dos organismos e os permitia enxergar perfeitemen-

te qualquer presa que estivesse a 100 metros de distância. Num certo momento, uma leoa dessa população deu à luz um filhote mutante para o gene B. Com esse gene B, o filhote conseguia enxergar perfeitamente a 200 metros de distância. Assim, durante um período de seca durante o qual muitos organismos morreram e presas eram difíceis de serem encontradas, o filhote portador do gene B teria maior probabilidade de encontrar alimento, portanto, de sobreviver e de se reproduzir. Ao reproduzir-se, o indivíduo, agora adulto, passa para seus descendentes o gene B vantajoso. Isso ocorre de geração para geração até que todos os indivíduos da população de leões possuam o gene B. O processo que seleciona características vantajosas é chamado de **SELEÇÃO NATURAL**. Como consequência, a característica vantajosa de um indivíduo irá se espalhar por toda população em algumas **GERAÇÕES**.

A Figura 3 apresenta o espalhamento da característica cor da pelagem através das gerações de ratos. Repare que, neste exemplo, a seleção natural vai fazer com que a característica “cor preta” se espalhe na população. Os indivíduos marcados com uma letra são aqueles com maior probabilidade de sobrevivência e que deixaram mais filhotes também com essa característica vantajosa.

SELEÇÃO NATURAL

É definida como fecundidade diferencial na natureza entre organismos que possuem características adaptativas e aqueles que não as possuem.

GERAÇÃO

Pode ser definida como cada grau de filiação de pai a filho, ou de ascendente para descendente.

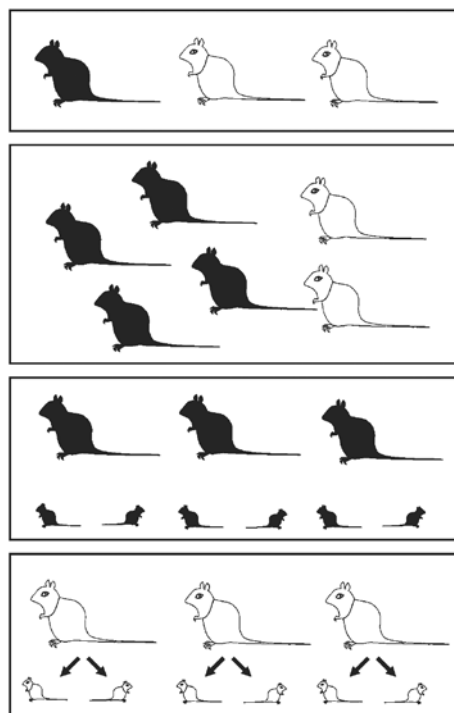


Figura 3: O processo de espalhamento da característica vantajosa pela população, através das gerações.

Uma hipótese para explicar a vantagem seletiva dos indivíduos com a pelagem preta é que o ambiente onde esses ratos viviam era mais escuro, fazendo que os indivíduos com pelagem mais clara ficassem mais visíveis a predadores.

A seleção natural pode agir em caracteres morfológicos, anatômicos, fisiológicos ou bioquímicos. Entretanto, a seleção natural só pode atuar em características herdadas geneticamente. Ou seja, caso a variação entre indivíduos não tenha base genética a seleção não irá conseguir selecionar a característica vantajosa, pois os descendentes do organismo não serão portadores da característica.

SELEÇÃO NATURAL VERSUS ARTIFICIAL

Darwin, quando propôs a idéia de seleção natural, pensou primeiramente na seleção artificial. Se os fazendeiros que cuidavam de gado leiteiro podiam selecionar vacas que produziam mais leite para cruzamento e na geração seguinte a produção de leite aumentaria, por que não imaginar que o mesmo processo pode ocorrer naturalmente? A criação de novas formas por evolução requer apenas variabilidade e uma “peneira” capaz de selecionar alguns indivíduos para a reprodução e bloquear outros indivíduos.

A idéia geral é que existe uma superprodução de indivíduos na natureza. Cada organismo produz muito mais filhos (filhotes) do que aqueles que sobreviverão para se reproduzir. Além disso, existe variação entre os filhotes, sendo que boa parte dessa variação não é observável diretamente. Se um organismo possui uma característica benéfica, ele, naturalmente, terá uma maior probabilidade de sobrevivência e, portanto, de reprodução. Dessa forma, ele passará a característica benéfica para seus descendentes. Como os filhos desse indivíduo herdarão a característica benéfica, a probabilidade de eles sobreviverem e se reproduzirem também será alta. Dessa forma, a característica irá não apenas se manter como também aumentar de frequência na população. Da mesma maneira, se um indivíduo possuir uma característica deletéria a probabilidade dele morrer aumentará e, assim, a característica será eliminada da população rapidamente, através da seleção natural.

SOBREVIVÊNCIA DOS MAIS APTOS

A frase “sobrevivência do mais apto” é geralmente associada à idéia de seleção natural de Darwin. O problema dessa associação é que gera um pensamento circular: quem sobrevive no processo de seleção natural? Os mais aptos. Quais indivíduos são os mais aptos? Aqueles que sobrevivem. O pensamento circular é perigoso em Biologia, pois uma frase circular não contém informação nenhuma. Entretanto, Darwin nunca mencionou seleção natural dessa forma. Seleção natural pode ser considerada a sobrevivência dos indivíduos que têm determinadas características mais apropriadas ao local e ao momento em que eles vivem. Um indivíduo pode ser o mais adaptado (ou seja, ele tem as melhores características), entretanto ele pode morrer por outros motivos externos. Por exemplo, o melhor caçador de todos os leões de uma população morreu atropelado. O fato de o leão ter sido atropelado, pode ter sido por acaso, e não por qualquer característica que o indivíduo tivesse apresentado. Além disso, o fato de o leão ter morrido também não significa que ele não era o mais adaptado.

Sucesso reprodutivo Um conceito fundamental para o entendimento de seleção natural é o de sucesso reprodutivo. Um organismo pode ser o mais forte, o mais rápido, o mais ágil, o mais atraente, mas de nada adiantará tudo isso se o organismo não conseguir se reproduzir. Sem reprodução, todas as características maravilhosas do indivíduo irão morrer com ele, isto é, sem reprodução, o indivíduo já é evolutivamente morto. O sucesso evolutivo do organismo é medido exclusivamente pelo número de filhotes que ele deixa para a próxima geração, ou seja, pelo número de genes com que o organismo contribui para a próxima geração.

A seleção natural ocorre sobre indivíduos, ou seja, no nível de organismos (Figura 4). Um outro ponto importante de lembrarmos é que a seleção natural trata-se de um processo que incide sobre o fenótipo do indivíduo e não sobre o seu genótipo. Por exemplo, em um indivíduo heterozigoto para uma dada característica deletéria pode apresentar um gene recessivo “escondido” da seleção natural. A seleção natural atua sobre as características expressas do organismo e aquele indivíduo mais adaptado ao seu ambiente vai deixar mais prole do que outros não (ou menos) adaptados.



Figura 4: Diferentes níveis de organização dos seres vivos. (Em cima: átomos, células, tecidos, órgãos, e sistema; embaixo: organismo, população, comunidade, ecossistema.)

Por exemplo, digamos que em uma população antiga de girafas de pescoço pequeno surgiu uma mutação que direta ou indiretamente aumentou o pescoço daquele indivíduo mutante. Esse indivíduo mutante adquiriu uma característica que o permitiu alcançar folhas mais altas nas árvores e assim ter uma maior facilidade de se alimentar do que os outros de sua população. Essa característica, ao longo dos anos, foi se espalhando pela população e um dia todas as girafas tinham pescoço grande.

Entretanto é importante enfatizar que a seleção não opera em cima do que o organismo está necessitando simplesmente. Para ela atuar, é necessário que exista variabilidade com formas vantajosas e formas desvantajosas (= deletérias), na população. Nesse caso, a seleção natural tria e seleciona as formas mais vantajosas para sobrevivência. Hoje conhecemos várias espécies que também teriam se beneficiado de um pescoço grande, entretanto, a evolução trabalha com a **VARIABILIDADE** que está disponível para as espécies.

O oca-pi da Figura 5 também se esticou para pegar as folhas mais altas das árvores, mas seu pescoço não aumentou ao longo do tempo como o da girafa. Isso ocorreu pela falta de mutações adequadas no oca-pi, demonstrando claramente que as mutações não ocorrem pela simples necessidade dos indivíduos, e sim por acaso.

VARIABILIDADE

É definida como a presença, em uma determinada população, de formas alternativas de uma determinada característica. Cor da pele, dos olhos, altura são todas características variáveis na população humana.



Figura 5: O ocapí tentando alcançar folhas mais altas para alimentação. Entretanto, seu pescoço não é grande como o da girafa, pois lhe faltaram as mutações responsáveis por esse aumento.

Quando a altura do pescoço se tornou importante para as girafas da época, por exemplo, devido a um período de seca, a mutação que determinava pescoço longo tornou-se vantajosa, e aquele indivíduo deixou mais prole do que os outros, o mesmo ocorrendo com seus descendentes, até que o gene mutante se fixou na população. Durante esse processo, de todos os genes presentes no genoma da girafa apenas um (onde houve a mutação determinando o pescoço mais longo) estava sob o efeito da seleção natural positiva. É a presença deste gene que irá conferir à girafa de pescoço longo uma sobrevivência diferenciada, uma maior fecundidade e a transmissão desta característica para as gerações posteriores.

Mas é claro que a girafa tem outros genes, que determinam outras características. Esses genes serão transmitidos casualmente aos seus descendentes, já que não foram tirados pela seleção natural.

Portanto, se estivermos olhando para um gene aleatoriamente, a probabilidade maior é que ele esteja sob efeito do acaso (chamado em genética de populações de **DERIVA GÊNICA**) e não da seleção natural.

DESENHO & CAOS

DERIVA GÊNICA

É a força evolutiva que promove a flutuação das frequências dos alelos devido a erros de amostragem. Se a probabilidade de sobrevivência do indivíduo não é alterada se ele possui o alelo A ou o alelo B, a evolução desse locus se dá pela ação da deriva gênica.

Um ponto central no pensamento evolutivo moderno é o fato de a mutação ser uma característica gerada aleatoriamente, não aparecendo de acordo com a necessidade do indivíduo, da população ou da espécie. Esse ponto é tão importante que recomendamos que você leia o texto a seguir atentamente quantas vezes forem necessárias para que não haja qualquer dúvida a esse respeito. Isso a princípio pode parecer diferente daquilo que você está acostumado a interpretar quando observa a natureza.

POLINIZADORES

A polinização em plantas pode ocorrer através de animais que, atraídos pelas cores, pelo cheiro ou pelo néctar, irão espalhar o pólen da planta para outras.

Vejamos a frase: “A flor exala perfume para atrair os animais **POLINIZADORES** que irão garantir sua reprodução.” A própria explicação nos transmite uma idéia de que uma característica está nos organismos “para tal” função. Essa palavrinha “para” é enganadora e perigosa, pois dá a entender erroneamente que a evolução caminha na direção de “ajudar” o organismo, como Lamarck já propôs. Na realidade, a evolução trabalha com as ferramentas disponibilizadas pelas mutações produzidas aleatoriamente, sem cuidado algum sobre as necessidades futuras do organismo. Você pode estar se perguntando: ora, se as características mutantes são geradas aleatoriamente, como os organismos são tão adaptados a seus ambientes?

A explicação para isso é razoavelmente simples. Isso acontece porque, apesar de a mutação ser aleatória, a seleção não é. Apenas os indivíduos mais bem adaptados (ou seja, com as melhores características) sobrevivem para formar a próxima geração. Realmente, em inúmeros casos os organismos morreram pela ausência de características que lhes permitissem sobreviver. Espécies que já morreram são denominadas extintas e a maior parte dela compõe os fósseis. E as espécies que só são encontradas como **FÓSSEIS** são uma evidência clara de que a evolução não tem direção.

FÓSSIL

São restos ou evidências de organismos que viveram no passado. Em geral, apenas as partes duras dos organismos são fossilizadas.

Ainda não está convencido? Calma, vamos devagar. A aleatoriedade da geração da variação pode ser mais bem entendida se considerarmos dois pontos: a origem das mutações e as características das mutações.

Devemos ter em mente que as mutações são mudanças nos genes de um indivíduo. Essas mudanças são geradas por erros durante a replicação do DNA. Portanto, se as mutações são, em última análise, erros da enzima que replica o DNA, elas não podem ser dependentes das necessidades do organismo impostas pelo ambiente em que ele vive. Elas são geradas aleatoriamente pela enzima que promove a duplicação do DNA.

A mutação é aleatória, mas a seleção natural vai determinar os sobre-

viventes da população. Essa triagem da seleção não é aleatória. Um outro ponto que poderá fazer você entender melhor essa idéia de aleatoriedade das mutações é o exame cuidadoso delas. Se elas fossem geradas pelas necessidades do indivíduo portador, não existiriam mutações deletérias ou mutações desvantajosas para os indivíduos. Mas elas existem.

Em populações humanas, chamamos as mutações deletérias de doenças genéticas. Por exemplo, o albinismo, a hemofilia, o daltonismo são doenças que têm base genética. Nesses casos, o indivíduo doente herda os genes deletérios de seus pais ou é o indivíduo mutante. Repare que essas doenças listadas não levam à morte do indivíduo, isto é, não são **LETAIS**. Um indivíduo albino é capaz de conviver com o albinismo, viver sua vida, e se reproduzir. Por isso essas doenças são tão conhecidas do grande público – porque convivemos com elas freqüentemente. Mas o que acontece, será que mutações letais não ocorrem? Ocorrem, sim. Entretanto, as mutações letais, em sua maioria, são eliminadas ainda na gestação. Existe uma estimativa de que cerca de 40% das gestações são abortadas espontaneamente, devido a mutações letais dos fetos. Esse número é impressionante! Entretanto, na maior parte dos casos, a gestante nem percebe, porque o aborto ocorre ainda antes de ela perceber que está grávida.

Se as espécies determinassem seu próprio destino ou se as mutações fossem resultado direto da necessidade das espécies, apenas mutações vantajosas existiriam, não é mesmo? Você está agora começando a perceber como acontece a geração da variabilidade?

As mutações, como são fruto de erros na duplicação do DNA, podem ser vantajosas, deletérias, ou neutras. O processo de seleção natural vai escolher para reproduzir os indivíduos que apresentem as melhores características e por isso parece-nos, olhando a natureza, que as mutações (variabilidade) são sempre vantajosas.

Por exemplo, o albinismo é uma doença humana na qual a pele e o pêlo do indivíduo não possui qualquer pigmentação. Ou seja, esse indivíduo nunca fica bronzeado quando exposto ao sol. Essa característica é considerada uma doença porque o indivíduo portador é extremamente vulnerável à exposição ao sol. Isso, principalmente em países tropicais, pode ter conseqüências graves como o desenvolvimento de câncer de pele. O albinismo é causado por um defeito genético. Mais especificamente, ele é conseqüência de uma mutação que torna defeituosa uma das enzimas da via de produção da MELANINA. Quando o indivíduo é homozigoto para o gene defeituoso, ele só produzirá enzimas defeituosas,

LETAL

É uma palavra que designa um gene cuja presença é mortal ao portador. Ou seja, pela herança desse gene o indivíduo morre antes de atingir a maturidade sexual e não passa o gene para a próxima geração.

impedindo a formação de melanina. Quando o indivíduo é heterozigoto para o gene defeituoso, ele tem o FENÓTIPO (aparência) normal, pois apresenta um gene normal que produz a enzima responsável pela fabricação de melanina. Assim, dizemos que o gene defeituoso é RECESSIVO em relação ao gene que determina o fenótipo normal. Nesse caso, o gene normal é chamado de DOMINANTE. Voltando ao caso do albinismo, o gene para essa doença é recessivo em relação ao gene normal, já que o indivíduo heterozigoto terá o fenótipo normal.

Você agora pode estar se perguntando: mas se a seleção natural elimina a variação deletéria, como explicar a manutenção de doenças genéticas, como o albinismo, nas populações humanas até os dias de hoje? Na realidade, a frequência de cada uma das doenças genéticas na população humana é muito baixa. Entretanto, como existem muitos tipos de doenças com base genética, elas acabam parecendo numerosas.

Um outro ponto que também explica a ocorrência de doenças é que, assim como o albinismo, a maior parte das doenças genéticas são recessivas. Isso significa que os indivíduos portadores de um único gene (genótipo heterozigoto) têm fenótipo normal. Nessa forma, os indivíduos heterozigotos têm o gene defeituoso “escondido” da seleção natural, pois como não apresentam fenótipo deletério, eles se reproduzem normalmente e continuam passando esse gene para seus descendentes mantendo o gene defeituoso na população. Quando duas pessoas heterozigotas se cruzam, podem gerar filhos com a doença (com genótipo duplo recessivo).

A última explicação é que algumas doenças genéticas só se expressam quando o indivíduo está mais velho e, portanto, já se reproduziu quando exibe a doença. Doenças como mal de Alzheimer ou de Parkinson são assim. Como elas se expressam quando o indivíduo já se reproduziu, ele já passou os genes deletérios para a próxima geração.

SELEÇÃO NATURAL OBSERVÁVEL

A seleção natural é, em geral, um processo longo, e pode envolver milhões ou até bilhões de anos. O aparecimento da asa de morcegos deve ter ocorrido em alguns milhões de anos, desde um ancestral com quatro patas até um morcego com plena capacidade de vôo. Por outro lado, a seleção natural também pode ser observada agindo rapidamente em curtos espaços de tempo. Por exemplo, a resistência de microorganismos a antibióticos e a remédios de uma forma geral é consequência desse mesmo processo de seleção natural. Por exemplo, em reportagens recentes

já foi registrada a ocorrência de novas linhagens de HIV-1 resistentes ao coquetel de drogas usado no combate à AIDS.

Um exemplo de adaptação

A ADAPTAÇÃO é a consequência da seleção natural, ou melhor, é a característica vantajosa que se mantém e se espalha pela população. Um exemplo muito bonito de adaptação extremamente complexa é o caso de focas.



Figura 6: Focas descansando na pedra.

As focas são mamíferos marinhos que respiram oxigênio atmosférico. Elas possuem um metabolismo diferenciado que lhes permite mergulhar por mais de 70 minutos a uma profundidade de mais de 300 metros, onde está seu alimento.

Nessa profundidade, nossos pulmões se colapsariam e seres humanos nunca sobreviveriam, mesmo por alguns segundos, ali. No entanto, as focas adquiriram ao longo de sua história evolutiva uma série de adaptações fisiológicas que permitem que elas não apenas sobrevivam, mas também façam desse tipo de mergulho seu mecanismo primário de captura de alimentos. por mais de 70 minutos a uma profundidade de mais de 300 metros, onde está seu alimento.

O primeiro tipo de adaptação envolve mecanismos para suprir a falta de oxigênio nos tecidos devido ao tempo do mergulho sem oxigênio de superfície. Em primeiro lugar, as focas possuem uma quantidade superior de sangue e, portanto, de hemoglobina. Como consequência direta disso, elas conseguem armazenar o dobro de oxigênio por quilo do

que um ser humano. Além disso, todo oxigênio durante o mergulho fica concentrado no sangue e nos músculos onde se torna mais necessário. Apenas cerca de 5% do oxigênio total do corpo da foca se encontra armazenado nos pulmões. Essas adaptações são fundamentais, mas ainda não são suficientes para permitir o modo de vida desses organismos.

No momento em que a foca mergulha, seu coração diminui o ritmo de trabalho, necessitando de menos oxigênio para trabalhar ao longo do tempo submerso. Seu metabolismo também tem seu ritmo reduzido. Os tecidos mais críticos, como a retina, o cérebro e, nas focas grávidas, a placenta, são supridos por oxigênio, enquanto outros tecidos menos importantes, como os rins, são cortados do suprimento de oxigênio até que a foca chegue à superfície.

Assim que o nível de oxigênio no corpo diminui, outros tecidos mudam para o METABOLISMO ANAERÓBICO, que produz ácido lático. No entanto, para diminuir a ACIDOSE causada por esse aumento, o organismo confina o metabolismo anaeróbico aos músculos esqueléticos e a outros tecidos isolados da corrente sanguínea. Quando a foca sobe à superfície, esses tecidos liberam o ácido lático no sangue para serem descartados.

O segundo tipo de adaptações envolve os mecanismos para evitar problemas relativos ao aumento de pressão. A pressão de várias ATMOSFERAS, a que as focas comumente estão submetidas, iria quebrar nossa caixa torácica mas não faz danos a da foca. Além disso, a pressão embaixo d'água causa um aumento de excitação nas células nervosas que pode resultar em convulsões. A glândula adrenal das focas produz uma substância, cortisol, que desestabiliza as células nervosas e previne contra as convulsões.

Texto base 5

MUTAÇÃO

O que será que vem à cabeça de nossos alunos, quando ouvem a palavra mutação?

Doença, anomalia, *X-men*, radiação nuclear... Dificilmente, essa palavra, em suas mentes, está associada ao conceito de fonte de variabilidade genética, essencial para o processo evolutivo, não é mesmo? Temos a influência da mídia, dos filmes... E, normalmente, até nos livros didáticos ela aparece associada a doenças. Será que, nesse cenário, conseguimos trabalhar a importância das mutações no contexto evolutivo? Afinal, a mutação é a fonte primária de variabilidade genética, matéria-prima da evolução.

Inicialmente, vamos pensar em como esse tema pode ser relacionado à seleção natural. Os pesquisadores estimam que a taxa de mutação durante a replicação do DNA (seja de bactérias, moscas ou nós, seres humanos) seja de um para um bilhão de nucleotídeos. Portanto, é provável que a seleção natural tenha tido importante papel em fixar enzimas capazes de verificar e corrigir tais alterações desde as primeiras formas de vida, pois quem apresentasse alta taxa de mutação seria incapaz de produzir cópias de sua informação genética para a próxima geração.

Na maioria das vezes, as mutações decorrem de falhas, a princípio aleatórias, no sistema de cópias do DNA. Ocorrem, portanto, durante a síntese de DNA que antecede a divisão celular.

Que dificuldades nossos alunos trazem durante as aulas sobre mutação? Uma associação comum entre alunos é a da mutação com radiação e doenças genéticas. Você já passou por essa experiência? Os acidentes nucleares de Chernobyl, Goiânia e mais recentemente de Fukushima alimentam, e com razão, esse temor. No entanto, a percepção dos alunos precisa ser problematizada, pois dessa forma as mutações podem ser vistas como algo exclusivamente causado pela tecnologia nuclear e que possuem efeitos negativos. É claro que devemos reafirmar que radiações podem gerar mutações e trazer riscos à saúde humana. Aliás, essa pode ser uma forma de despertar a atenção dos alunos.

Mas não podemos esquecer que mutações ocorrem sempre a cada divisão celular, mesmo em uma taxa baixa, e não dependem apenas da



Para saber mais:

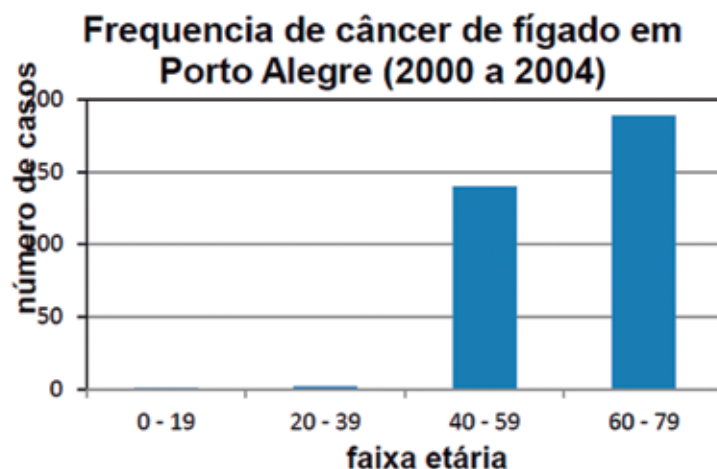
Na animação “Mutação no DNA”, é possível verificar como um nucleotídeo pode ser colocado no lugar errado durante a duplicação do DNA.

MUTAÇÃO do DNA. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=WARPg300&feature=related>>. Acesso em: 02 de Agosto de 2018.

radiação gerada pelo homem.

Outra confusão muito comum ocorre quando os alunos expandem o sentido de mutação para alterações no RNA. Quando isso acontecer, é importante lembrar que moléculas de RNA são extremamente instáveis e rapidamente se degradam no citoplasma. É por isso que a transcrição da maioria dos genes tem de ser contínua. Caso contrário, a informação genética deixaria de ser traduzida em proteínas rapidamente. Dessa forma, uma mutação no RNA tem pouca relevância evolutiva já que dificilmente chegará até a geração seguinte.

Professor, você pode problematizar essa questão com seus alunos. Peça a eles para relacionar a maior frequência de mutações durante a divisão celular com a maior incidência de câncer em pessoas mais velhas. Sugerimos o aproveitamento dos dados do gráfico a seguir que relaciona casos de câncer de fígado em diferentes faixas etárias na população de Porto Alegre, entre 2000 e 2004.



Fonte: <<http://www.inca.gov.br/cancernobrasil/2010/docs/PortoAlegre/P359-362.pdf>>

Pessoas mais velhas realizaram muito mais divisões celulares do que as mais novas por terem mais tempo de vida. Elas, portanto, estão mais sujeitas a acumular mutações em genes que controlam o ciclo celular, o que leva à produção de tumores.

Os livros didáticos enfatizam os diversos tipos de mutação: as pontuais e as cromossômicas; as silenciosas, deletérias ou favoráveis etc. Tais conteúdos são relevantes, porém queremos enfatizar aqui a mutação no

contexto evolutivo.

Mesmo uma mutação considerada a princípio deletéria, dependendo do contexto, pode ser favorável. Vamos destacar apenas o caso da anemia falciforme, no qual o alelo responsável pela doença é mantido por seleção natural em regiões onde a malária é endêmica. A anemia falciforme é causada por uma mutação no gene da cadeia beta da hemoglobina: ocorre a substituição da base nitrogenada adenina por timina e, consequentemente, a troca do aminoácido ácido glutâmico por valina. Tal mutação resulta em glóbulos vermelhos frágeis, com vida mais curta e sua destruição em grande escala causa anemia, às vezes, fatal. Além disso, em baixas concentrações de oxigênio, as hemácias deformam-se e adquirem o aspecto de foice ou meia lua, agrupando-se e entupindo capilares sanguíneos.

Pessoas heterozigotas para o alelo da anemia falciforme, os chamados traços falciformes, possuem alguns glóbulos vermelhos falciformes, o que lhes confere resistência à malária. Em termos evolutivos, esses indivíduos heterozigotos têm vantagem adaptativa em áreas atingidas pela doença, como, por exemplo, África, Mediterrâneo, Índia, Oriente Médio e Brasil. Estes são selecionados positivamente, sobrevivendo e reproduzindo-se, quando comparados aos homozigotos “normais” e aos homozigotos “doentes”, que morrem de malária e anemia falciforme, respectivamente. Em contraposição, em regiões onde a malária foi erradicada, o gene para anemia falciforme sofre forte efeito seletivo negativo, ocorrendo em baixa frequência na população.

Outro tema menos discutido, mas de enorme importância evolutiva, é a aleatoriedade das mutações. Para Darwin, Weissmann, Oparin e Dobzhansky seria pouco provável que a evolução pudesse ocorrer e a imensa diversidade de seres vivos pudesse existir baseada apenas na seleção de erros ao acaso. A evolução seria muito lenta e as chances de construir estruturas organizadas, muito baixas. Eles anteviram que, provavelmente, deveria haver algum tipo de direcionamento na origem da mutação.

Porém, até a década de 1980 era consenso entre os biólogos que as mutações constituíam-se apenas em erros cegos, ao acaso, na estrutura do DNA. Mas esse panorama mudou, pelo menos em determinados casos. Hoje sabemos que há várias formas de mutação, cuja frequência não pode ser explicada por fenômenos aleatórios. Vamos tratar apenas de casos bem documentados, sobre os quais há uma relativa concordância entre os pesquisadores.

Um deles é a hipermutação local. Nesse caso, genes específicos sofrem mutações em uma taxa mais alta do que os demais e essa variabilidade genética cumpre uma função adaptativa, apesar do meio não exercer nenhuma influência direta na frequência de mutação desse gene. Um exemplo clássico é o da bactéria *Haemophilus influenzae* que causa a meningite. Os genes que codificam estruturas de seu envoltório celular são extremamente mutáveis, por possuírem sequências de nucleotídeos repetidas (por exemplo, TATATATA), que facilitam os erros de duplicação. Dessa forma, novas variedades de *H. influenzae* são constantemente produzidas e algumas delas logram enganar o sistema imune dos hospedeiros.

Os hospedeiros, por sua vez, podem produzir uma variedade muito grande de anticorpos por dois processos. O primeiro deles envolve a hipermutação local. Após o contato de um linfócito B com o antígeno, o linfócito é estimulado a se proliferar rapidamente. Simultaneamente, nos genes responsáveis pela produção de anticorpos ocorre hipermutação. A taxa de mutação é, pelo menos, cem mil a um milhão de vezes maior do que a taxa encontrada normalmente no restante do genoma desta célula. Além disso, ao longo da maturação desses glóbulos brancos acontece o embaralhamento de pedaços de DNA. Na medida em que esses pedaços de DNA são reagrupados, novas sequências de DNA são construídas e, por consequência, diferentes anticorpos (proteínas) são formados capazes de detectar uma ampla gama de antígenos.

Repare, portanto, que nem todas as células somáticas de um animal com esse tipo de sistema imunológico, como nós humanos, possuem o mesmo material genético.

A hipermutação também foi verificada em genes que produzem venenos em cobras que apresentam maior frequência de mutação, permitindo fugir dos contravenenos elaborados por suas presas.

Vamos então pensar: será que as mutações que ocorrem no sistema imunológico dos vertebrados são transmissíveis para a geração seguinte? Provavelmente não, porque as informações que passam para a geração seguinte estão contidas no DNA dos gametas.

Nos casos das hipermutações citadas acima, podemos perceber a provável mão da seleção natural atuando na fixação desses mecanismos. Os organismos que possuíam qualquer um dos mecanismos que aumentaram a taxa de mutação apresentaram mais chances de sobrevivência, se comparados àqueles que possuíam partes do genoma mais conservado.

Texto base 6

DOMÍNIOS

Devido ao tamanho do nosso corpo, estamos acostumados a perceber apenas a diversidade biológica que engloba os organismos maiores. Entretanto, se atentarmos para os pequenos organismos, iremos notar um novo mundo ainda muito mais diverso daquele que nos salta aos olhos. Por exemplo, caminhando por uma floresta e observando atentamente, poderemos perceber pequenos cogumelos, insetos, líquens, que numa caminhada mais rápida nos escapariam à vista. No entanto, apesar de toda atenção durante a caminhada, nos passaria despercebida a totalidade das grandes divisões da diversidade biológica; a primeira delas se refere à celular, imperceptível a olho nu. Atualmente, essa primeira grande divisão dos organismos está salientada no nível hierárquico chamado Domínio, o primeiro e, portanto, o mais abrangente dos níveis do sistema hierárquico de Lineu

Entretanto, o Domínio é um nível hierárquico relativamente recente que foi proposto só em 1990, por CARL WOESE. Vamos falar um pouco sobre como era dividida a diversidade biológica antes de Carl Woese, para entendermos a importância do trabalho desse cientista.

Até 1990, a vida era dividida pelos sistematas em cinco reinos diferentes (Figura 1): Reino Monera (bactérias), Reino Protista (protozoários), Reino Animalia (animais), Reino Fungi (fungos) e Reino Plantae (plantas). A divisão primária da vida em cinco reinos sugere que todos eles são hierarquicamente equivalentes. Isso significa que animais, fungos, plantas, protistas e bactérias possuiriam diferenças equivalentes, quando comparados par a par.

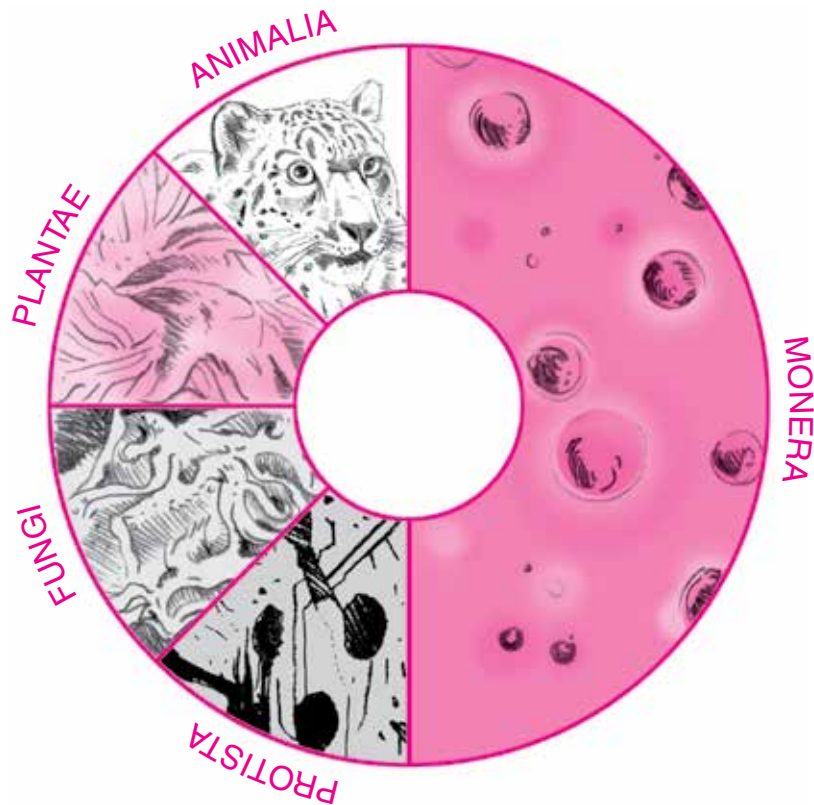


Figura 1: Grandes grupos da vida, a antiga divisão primária da vida nos cinco reinos.

Será que animais e protistas são tão diferentes quanto plantas e bactérias? Vamos pensar mais um pouco sobre o assunto. Obviamente, se as bactérias e os protistas são organismos unicelulares, devemos nos basear no nível celular para tal afirmação.

Observando cuidadosamente as células desses organismos, entretanto, podemos perceber claramente que isso não é verdade. As células de animais, por exemplo, são muito mais complexas que as de bactérias. Os animais, junto com plantas, fungos e protistas, pertencem a um grupo denominado eucariontes (do grego, *eu* = verdadeiro e *karya* = núcleo, i.e., organismos com núcleo verdadeiro). Todas as bactérias são chamadas procariontes (*pro* = anterior e *karya* = núcleo: organismos anteriores ao aparecimento do núcleo). A Figura 2 ilustra uma célula eucarionte e uma célula procarionte. Por essa figura podemos perceber que a célula procarionte não possui organelas celulares, nem mesmo um núcleo definido que deveria isolar o material genético do citoplasma.

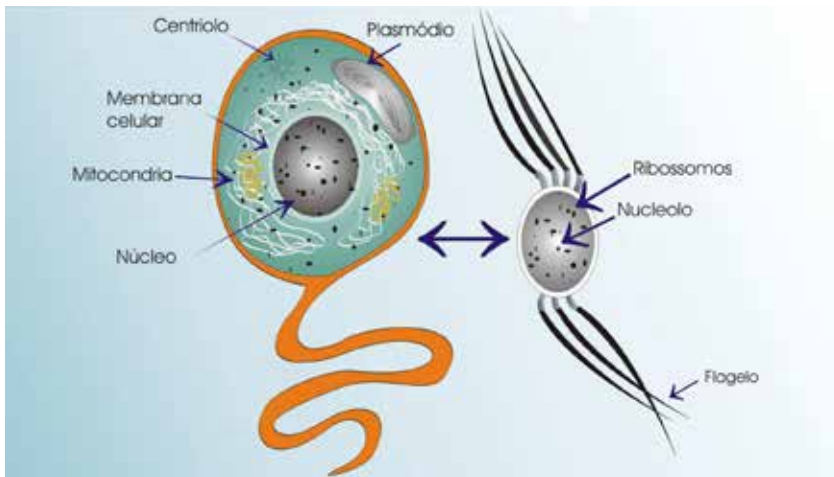


Figura 2: A célula eucarionte e a célula procariote com núcleo.

Se os organismos procariontes e eucariontes são tão diferentes, a classificação da vida também deve seguir essa perspectiva. Ou seja, num nível hierárquico acima de reinos, a primeira divisão dos organismos os dividiria em procariontes e eucariontes. No entanto, mesmo essa divisão não reflete a diversidade real dos organismos. Isso porque existem dois grandes grupos de bactérias, as arqueobactérias e as eubactérias. Tais grupos possuem diferenças fisiológicas tão grandes quanto procariontes e eucariontes.

Para refletir essas diferenças, Carl Woese propôs a criação de um novo nível hierárquico, o Domínio, que divide a diversidade da vida em três grupos: Eukarya (eucariontes), Archea (arqueas) e Bacteria (bactérias). Nesse novo sistema, o Domínio Eukarya possui quatro dos antigos reinos (Protista, Fungi, Animalia e Plantae). Seguiremos, daqui por diante, a classificação proposta por Woese e, portanto, iremos nos referir da seguinte forma:

Bactérias = antigas eubactérias do Reino Monera

Arqueas = antigas arqueobactérias do Reino Monera

Procariontes = bactérias + arqueas = antigo Reino Monera

PROCARIONTES

Quando os microorganismos foram descobertos no final do século XVII, eles foram considerados pequenos animais ou plantas. O próprio Lineu colocou todos os microorganismos em um único e diverso gênero que denominou apropriadamente, em 1759, *Chaos*, em uma referência à falta de organização aparente desse grupo de organismos.

Um organismo patogênico é um organismo que prejudica a saúde humana de alguma forma. Atualmente, quando falamos de bactérias em nosso cotidiano, na maior parte das vezes estamos nos referindo a bactérias patogênicas, como as que causam sífilis, tétano, cólera, tuberculose, gonorréia etc. No entanto, esses tipos de bactérias compõem apenas uma pequena fração dos procariontes que habitam nosso planeta. Atualmente, existem mais de quatro mil espécies descritas, mas alguns especialistas acreditam que o número real pode ser 100 ou 1.000 vezes maior.

Esse número já indica que os procariontes são organismos de imenso sucesso evolutivo. Isso se deve a dois fatos independentes. O primeiro é a possibilidade de esses organismos ficarem dormentes por algum tempo. Com isso, mediante condições ambientais adversas, eles podem ficar “esperando” as condições melhorarem.

O segundo é o fato de eles terem uma grande diversidade metabólica, ou seja, eles conseguem energia das mais variadas formas. Assim, como consequência, podem ser encontrados nos mais diversos e inóspitos ambientes, como no fundo de oceanos, nas rochas congeladas da Antártica, no trato digestivo de animais, no Mar Morto etc.

Uma dificuldade no estudo de procariontes é a simplicidade morfológica desses organismos, que dificulta enormemente a classificação e, portanto, a organização natural de sua diversidade. Ao longo dos anos, alguns esquemas de classificação de procariontes foram descritos.

Por exemplo, os procariontes podem ser classificados em três grupos distintos, baseados na relação com o gás oxigênio. Os aeróbicos requerem oxigênio para seu desenvolvimento e para sua existência. Há procariontes anaeróbicos estritos que não conseguem tolerar oxigênio e morrem na presença desse elemento, como a bactéria que causa o tétano. Outros ainda são anaeróbicos facultativos, preferem viver com oxigênio, mas também podem sobreviver sem ele.

Outra maneira de classificá-los é baseada na forma pela qual eles obtêm energia. Vamos primeiro relembrar que os organismos eucariontes

apresentam apenas duas formas de obtenção de energia. Os heterotróficos, que quebram matéria orgânica (animal, vegetal ou em decomposição, como já mencionamos na aula passada), e os autotróficos, que usam a energia solar para formar compostos orgânicos. Procariontes podem obter energia como heterotróficos ou como autotróficos.

Além dessas, outras formas de obtenção de energia são encontradas nos procariontes, como os metanogênicos, que produzem o gás metano, e os fermentadores, que quebram compostos orgânicos produzindo compostos simples e energia. Outro tipo de procariontes reduz moléculas orgânicas pelo sulfato, produzindo energia: são os chamados redutores de sulfato. Muitas outras formas de obtenção de energia são encontradas no mundo procariótico, como as que usam nitrogênio, enxofre ou, ainda, oxidam metais para garantir sua sobrevivência.

BACTÉRIAS ANTIGAS TRAZIDAS DE VOLTA À VIDA

O microbiologista Raul Cano descobriu recentemente que bactérias de milhões de anos podem ser trazidas de volta à vida. Esse pesquisador conseguiu reviver bactérias e outros organismos unicelulares com até 135 milhões de anos de idade! “Nós descobrimos uma fonte inteiramente nova de organismos que podem produzir produtos farmacêuticos ou de uso em processos industriais”, diz Cano. Cano reviveu a primeira bactéria antiga em 1991 e outros três anos foram necessários para averiguar a veracidade da descoberta. Através de estudos de filogenia molecular, Cano comprovou que a bactéria isolada era muito diferente de qualquer outra atual. Todas as bactérias revividas estavam como esporos, que é a forma dormente de bactéria, mergulhada em âmbar. (O âmbar é uma resina excretada de um certo tipo de planta que solidifica em contato com o ar, envolvendo organismos vivos em geral que viveram no passado.) O mais impressionante do âmbar é que, ao contrário da fossilização, ele preserva e isola o organismo do ar, desidratando-o e protegendo-o de qualquer dano físico. Além disso, tecidos moles são frequentemente recuperáveis em âmbar, tornando possível inclusive o estudo de DNA desses organismos antigos.

ARCHEA X BACTERIA X EUKARYA

A classificação mais aceita entre os especialistas é a proposta por Carl Woese. Nesse esquema de classificação, todos os procariontes são divi-

dados em dois grandes grupos distintos, como vimos anteriormente: o primeiro é o grupo das arqueas e o segundo, das bactérias.

A filogenia a seguir mostra que as arqueobactérias são mais próximas filogeneticamente dos eucariontes que das bactérias (Figura 3).

A princípio, isso pode nos parecer estranho. Como pode uma arquea (assim como as bactérias, unicelulares e sem núcleo definido) ser mais próxima filogeneticamente de um mamífero do que das bactérias?

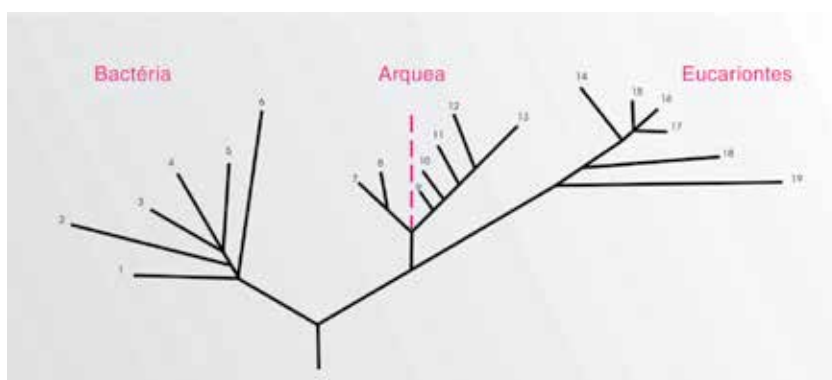


Figura 3: Filogenia dos grandes domínios baseada em comparações de seqüências de RNA-ribossomal. Por essa filogenia, podemos perceber que as arqueas e os eucariontes possuem um ancestral comum não compartilhado com as bactérias.

A resposta, nesse caso, é que as bactérias e as arqueas preservaram sua morfologia externa de uma maneira semelhante ao ancestral, enquanto a linhagem dos eucariontes se modificou profundamente. Realmente, esses três organismos são tão diferentes em sua organização de corpo que caracteres morfológicos não podem ser usados para resolver essa questão, pois não conseguimos distinguir homologies. Esse tipo de afirmativa sobre relações filogenéticas tem por base dados moleculares. Na comparação das seqüências de RNA-ribossomal desses três grupos, notamos que existe uma maior afinidade entre as seqüências de arqueas e de eucariontes. Nesse caso, o que aconteceu foi que dois organismos preservaram as características procarióticas originais (arquea e bactéria) enquanto uma linhagem se tornou eucariótica (eucariontes) e sofreu uma transformação e diversificação morfológica estupenda.

Realmente, outras características mostram a mesma tendência, ou seja, agrupam as arqueas e os eucariontes, tais como:

- 1- Nem eucariontes nem arqueas possuem peptidoglicanos em suas paredes celulares, como as bactérias. Eucariontes possuem celulose ou quitina, enquanto as arqueas constroem suas paredes com pseudomureína;
- 2- Tanto eucariontes como arqueas possuem vários tipos de RNA-polimerase, enquanto bactérias possuem apenas um tipo;
- 3- Tanto eucariontes como arqueas usam metionina como iniciador da síntese de proteínas, ao passo que bactérias usam formil-metionina;
- 4- Bactérias são os únicos organismos sensíveis aos antibióticos estreptomicina e cloranfenicol; membros dos outros dois grupos não são afetados por eles;
- 5- Alguns genes de arqueas possuem introns; introns são ausentes em bactérias, enquanto a maior parte dos genes eucarióticos apresenta introns.

ARQUEAS

As arqueas são classificadas em três subgrupos distintos, de acordo com o ambiente em que vivem e seus modos de obter energia: metanogênicas, halófitas e termoacidófilas. As arqueas metanogênicas constituem a família Methanobacteriaceae. Esses organismos são anaeróbicos estritos, ou seja, eles não sobrevivem na presença de oxigênio. Para obter energia, os metanogênicos usam hidrogênio para reduzir dióxido de carbono em metano e assim mantêm seu metabolismo. A atividade desses organismos pode ser observada em pântanos com baixos níveis de oxigênio, onde a ocorrência de bolhas no fundo indica a presença deles. Metanogênicos estão presentes no trato intestinal de alguns animais, auxiliando na digestão da celulose. Eles também já foram usados por humanos, como biodigestores anaeróbicos em esgotos e depósitos de lixo. Ali, esses organismos auxiliam na reciclagem de lixo, convertendo-o em metano, que, por sua vez, pode ser usado como combustível.

O segundo grupo de arqueas são as chamadas halófitas, constituindo a família Halobacteriaceae. Esses organismos são aeróbicos heterotróficos e uma de suas peculiaridades é a capacidade de sobreviver em ambientes extremamente salinos, como o Mar Morto ou o Grande Lago Salgado.

O terceiro grupo de arqueas são as chamadas termoacidófilas ou termófilas. Trata-se de um grupo heterogêneo definido pela habilidade de

viver em altas temperaturas (pelo menos 60°C, Figura 4) e em pH ácido. Na realidade, algumas espécies não conseguem se reproduzir se a temperatura cair abaixo de 80°C.

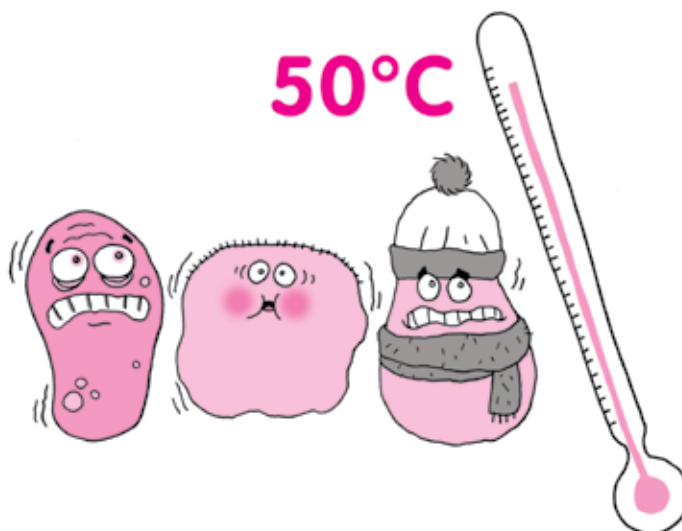


Figura 4: Bactérias tremendo de frio e o termômetro marcando 50°C.

Os nomes dados aos gêneros desse tipo de organismo deixam clara a sua preferência: *Thermoproteus*, *Thermofilium*, *Pyrobaculum* etc. O gênero *Pyrodicticum*, por exemplo, contém bactérias ainda mais resistentes, cujo ótimo de temperatura fica em torno de 105°C! Estudos de filogenia molecular apontam uma evidência interessante endossando que o clima da Terra primitiva era mais quente que o atual. A árvore filogenética mostra os procariontes termófilos como basais na filogenia da vida, indicando claramente uma tendência a esse tipo de organismo na Terra primitiva.

Texto base 7

DIVERSIDADE DAS BACTÉRIAS

Existem bactérias com diversos formatos (figura 1).

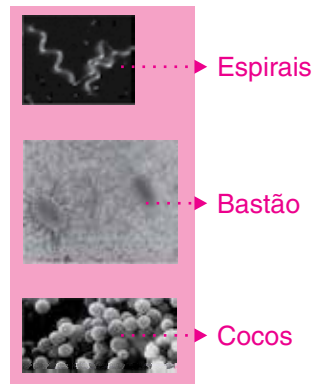


Figura 1: Formas de bactérias.

Bactérias com formas de bacilos-bastão são as mais comuns. *ESCHERICHIA COLI*, por exemplo, é uma bactéria que vive como ENDOSSIMBIONTE no intestino de humanos e de outros mamíferos. Indivíduos dessa espécie são os principais componentes dos famosos coliformes fecais, que águas poluídas apresentam em grandes quantidades.

Outras bactérias com essa forma são *Lactobacillus spp.*, responsáveis pela cárie em nossos dentes e pela formação do iogurte. Entretanto, hoje em dia a bactéria com forma de bacilo-bastão mais famosa é a *Bacillus anthracis*. Esta bactéria patogênica é a causadora do antrax, doença decorrente da ingestão, da inalação ou de contato com tal espécie.

A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DAS BACTÉRIAS

Algumas bactérias são chamadas de fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Rhizobium*. Elas habitam as raízes de plantas da Família Fabacea. Esses simbioses prestam um enorme serviço à comunidade local, convertendo nitrogênio gasoso da atmosfera (N_2) em nitrogênio



ENDOSSIMBIONTE

São organismos que vivem no interior de outro organismo. A palavra "simbiose" retrata a relação ecológica, benéfica ou não, entre dois organismos.

usável pelas plantas como amônia, nitrito e nitrato. Esses compostos de nitrogênio podem ser absorvidos pelas raízes e usados pelas plantas para manufaturar proteínas e ácidos nucleicos. Outras bactérias ainda são fontes de remédios salvadores de vidas. Um exemplo são as bactérias do gênero *Streptomycetes*, das quais é extraído um poderoso antibiótico chamado estreptomicina.

Outra forma de bactéria comum são os cocos esféricos. Bactérias do gênero *Streptococcus* possuem formatos de cocos. Essas bactérias têm habilidade de formar cadeias e são responsáveis, dentre outras coisas, por causarem dor de garganta em humanos. *Staphylococcus* também é um gênero de bactérias em forma de coco. Elas formam grupamentos que parecem pequenos cachos de uvas e são responsáveis pelo gangrenamento do tecido, em machucados não tratados.

COLORAÇÃO GRAM

Além da classificação em formas, uma outra maneira de classificar bactérias é aquela baseada na COLORAÇÃO GRAM. Na Figura 2, a bactéria tem uma parede celular feita de peptidoglicanos e faz parte de um grupo chamado Gram-positivas. O nome vem do fato de algumas bactérias ficarem com a coloração púrpura quando tingidas com o corante violeta-cristal (Gram positivas) e presta homenagem ao bacteriologista dinamarquês que desenvolveu o procedimento de coloração.

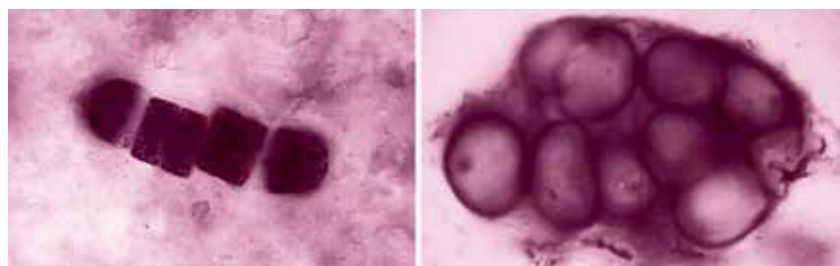


Figura 2: Fósseis de cianobactérias da Austrália, datados de 3,45 bilhões de anos.

A divisão Gram-positivas representa cerca de 25% das bactérias e inclui cocos, bastões e actinomicetos. Estas últimas exibem uma similaridade superficial aos fungos eucarióticos. No entanto, estudos de FILO-

HANS GRAM (1853 - 1938)

Nasceu em Copenhague, na Dinamarca. Ele completou seus estudos em ciências naturais, na Universidade de Copenhague. Começou a trabalhar com plantas, mas seu interesse em farmacologia e no uso do microscópio seria mais marcante durante sua vida. Mais tarde iniciou sua carreira em Medicina e se tornou famoso pelo desenvolvimento do método de coloração Gram.

GENIA MOLECULAR indicam que os actinomicetos não têm relação evolutiva próxima com os fungos.

Algumas bactérias possuem células com parede dupla: uma interna mais fina de peptidoglicanos e uma externa mais grossa de carboidratos, proteínas e lipídeos. Estas últimas não ficam tingidas pelo violeta-cristal e são chamadas de Gram-negativas. Cerca de 75% das bactérias fazem parte desse grupo. Elas incluem bactérias espiroquetas, curvadas (os víbrios), espirais, cocos, bastões, clamídias, rickettsias e as fotossintetizantes cianobactérias.

MICOPLASMAS

Os micoplasmas são as menores células vivas já descobertas, e são conhecidas por terem a quantidade mínima de DNA necessária para codificar uma célula funcionante. Eles não possuem parede celular como a maioria das bactérias, nem mesmo a membrana mais rígida das arqueas. A maior parte dos micoplasmas existe como parasitas intracelulares em plantas e animais. Esse tipo de hábito de vida funciona como uma regulação do estresse osmótico com que organismos de vida livre devem cooptar. A penicilina, um antibiótico eficiente contra outros tipos de bactérias, é ineficaz contra os micoplasmas. A penicilina age interferindo na formação da parede celular. Portanto, como os micoplasmas não possuem parede celular, o antibiótico não é eficiente contra eles.

JOSEPH LISTER E A CIRURGIA ANTI-SÉPTICA MODERNA

Joseph Lister (1827-1912) foi um médico inglês educado na University College em Londres. Para entendermos a contribuição de Lister na cirurgia moderna, vamos imaginar um hospital do século XIX na Inglaterra. As mesas operatórias eram um pouco melhores do que as mesas que você tem na sua cozinha. Muito frequentemente, quando um cirurgião não podia comparecer à cirurgia, um barbeiro fazia a operação em seu lugar. Os instrumentos usados na cirurgia eram colocados na gaveta e nem eram lavados antes da próxima operação. Os médicos operavam com as roupas do dia-a-dia e não tinham hábito de lavarem as mãos nem antes nem depois da cirurgia! Não era de se espantar que a maior parte dos pacientes operados viesse a morrer; não durante a cirurgia, mas no pós-operatório. Depois da intervenção, a região em torno da operação

ficava vermelha, o paciente tinha febre e, freqüentemente, morria em poucos dias. Os médicos não eram perversos ou negligentes, eles simplesmente não conectavam as mortes de seus pacientes com a sujeira. Hoje sabemos que os pacientes eram vítimas de infecção bacteriana, mas como saber naquela época? Numa determinada noite, Lister leu alguns trabalhos de Pasteur, onde o microbiologista francês dizia que a gangrena não era causada pelo ar, mas por pequenos organismos no ar. Lister refletiu e desenvolveu uma solução para desinfetar as mãos de cirurgiões antes das operações.

Além disso, ele propôs que todos os instrumentos usados na cirurgia deveriam ser fervidos antes de serem usados. Hoje, esses dois procedimentos simples são considerados padrão em hospitais de todo o mundo, mas naquela época causou muito debate. No entanto, nas operações de Lister, poucos pacientes morriam no pós-operatório. Assim, pouco a pouco, outros médicos começaram a se convencer e a proceder dessa forma. Essa mudança de hábito eventualmente causaria uma redução no número de óbitos pós-operatórios na ordem de 90%! Ou seja, cerca de 90 em cada 100 pacientes que morriam após uma operação na época de Lister, morriam de infecção bacteriana e não da causa operatória em si.

Cianobactérias

O grande salto evolutivo dos procariontes ocorreu quando algumas bactérias adquiriram a capacidade de manipular o oxigênio. Lembre-se de que o oxigênio livre é venenoso para as células e, por isso, as bactérias da Terra primitiva não podiam usar a água dos oceanos primitivos como fonte (abundante e altamente disponível) de hidrogênio, pois depois de usar o hidrogênio, elas se viam com o oxigênio venenoso. Por isso, o aparecimento de enzimas específicas, que se acoplavam ao oxigênio e o transportavam para fora da célula com segurança, foi um passo crucial na evolução biológica. Nesse processo, o organismo absorvia CO₂, abundante na atmosfera primitiva, e liberava oxigênio livre na atmosfera como produto descartável.

As cianobactérias foram os primeiros organismos que desenvolveram essa capacidade e os primeiros fósseis têm 3,5 bilhões de anos de idade (Figura 2). A partir daí, o crescimento populacional das cianobactérias ocorreu rapidamente e foi responsável pela drástica mudança na concentração de oxigênio na atmosfera terrestre por volta de 2 bilhões de anos atrás. Alguns estudos sugerem que entre 1,9 e 2,2 bilhões de anos atrás

os níveis de oxigênio subiram de menos de 1% até cerca de 15% do nível atmosférico atual

Como poderia ter ocorrido essa mudança? Imagine primeiro um mundo sem qualquer oxigênio livre. Nossa vida, e a vida da maior parte dos organismos que conhecemos, seria impossível nesse ambiente.

Pois é, assim era nossa Terra há pouco menos de dois bilhões. Imagine agora a primeira célula mutante (i.e., a primeira cianobactéria) exalando uma quantidade ínfima de oxigênio para a atmosfera. Essa primeira célula agora pode usar componentes como CO₂, H₂O e luz para fabricar energia. A energia tão necessária para o metabolismo da célula pode agora ser conseguida a partir da grande quantidade de compostos no ambiente. Como os compostos necessários são abundantes, a célula mutante tem uma enorme vantagem em relação a outras células normais. Assim, os descendentes da célula mutante tendem a ficar em vantagem em relação aos descendentes das normais. Como consequência, rapidamente ela se replica produzindo duas células, igualmente bem adaptadas. Essas se dividem em quatro outras que, por sua vez, se dividem em oito e assim por diante. Aproveitando componentes abundantes, mas inutilizáveis pelos organismos até então, essas células garantem a própria sobrevivência e a reprodução. Assim, a perpetuação desse processo metabólico também é garantida, exalando oxigênio nele, modificando para sempre o planeta.

A Terra, por outro lado, tenta remover o oxigênio da atmosfera produzido pelas cianobactérias. Rochas calcáreas capturam o oxigênio na forma de carbonato de cálcio. Minerais, como o ferro, são oxidados e a ferrugem começa a surgir na superfície do planeta. Na verdade, uma das maneiras mais eficientes de medir a quantidade de oxigênio da Terra primitiva se baseia na quantificação de ferro e ferrugem (ferro oxidado) nos estratos sedimentares do período. Assim como o ferro, outros tantos elementos podem ser combinados com o oxigênio, retirando-o da atmosfera antes que atinja uma concentração maior. Como, então, os níveis de oxigênio aumentaram?

Vamos imaginar que o fóssil mais antigo de cianobactéria fosse a primeira cianobactéria. Esse primeiro organismo lançava uma quantidade mínima de oxigênio na atmosfera há 3,5 bilhões de anos. Para facilitar nosso cálculo, vamos assumir que uma bactéria tem um ciclo de vida de 24 horas, ou seja, em um dia a quantidade de bactérias dobra em relação ao dia anterior. Imagine a primeira cianobactéria se multiplicando e suas

filhas também por um período de mais de 1 trilhão de dias (365 bilhões de dias = 1 bilhão de anos).

A cada um desses dias, a quantidade de oxigênio lançado na atmosfera se multiplica. Em pouco tempo, o oxigênio começa a se acumular, ultrapassando rapidamente a quantidade possível de ser removida por elementos como o ferro mencionado acima. Assim, o oxigênio aumentava e o dióxido de carbono diminuía na atmosfera. Com o aumento de oxigênio, organismos que não conseguiam manipulá-lo tiveram que se confinar em outros lugares. As arqueas, que vivem em fossas hidrotermais, são exemplos de organismos que habitam lugares sem oxigênio livre. Outros organismos desenvolveram adaptações para usá-lo e carregá-lo eficientemente para fora da célula. Esses últimos, os heterotróficos, conseguiam muito mais energia ao quebrar alimentos com o oxigênio, resultando na liberação de água e dióxido de carbono na atmosfera.

A outra grande contribuição das cianobactérias é a origem das plantas (Figura 11.3). Os cloroplastos são, na verdade, cianobactérias que foram incorporadas às células de plantas há muito tempo. Em algum momento, no Proterozóico ou no início do Cambriano, cianobactérias começaram a habitar o interior de células eucarióticas, fornecendo nutrientes ao hospedeiro em troca de um lar. Esse tipo de relação é conhecido como endossimbiose, ou seja, uma relação em que os dois organismos partilhantes (a célula eucarionte e a cianobactéria) se beneficiam e um vive no interior do outro.

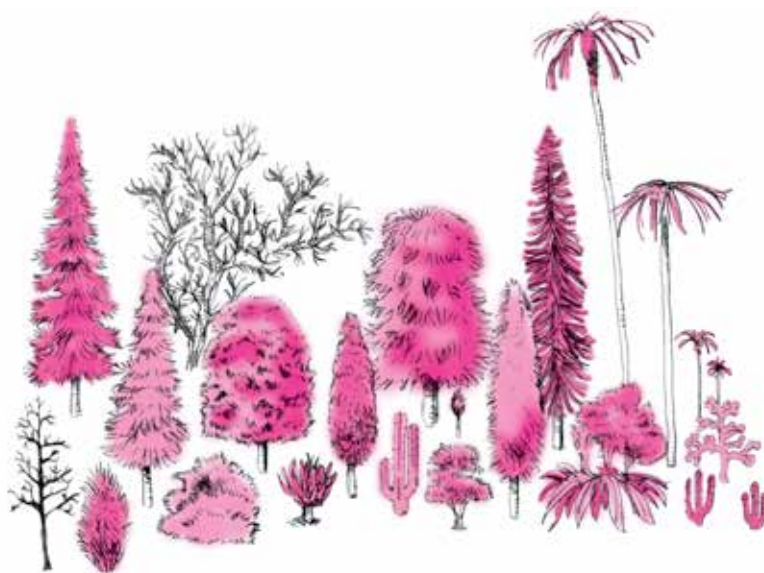


Figura 3: Arbustos, árvores e florestas.

A IMPORTÂNCIA DA FOTOSSÍNTESE

A fotossíntese tem uma importância fundamental para toda a vida no planeta. Esse processo de transformação de matéria orgânica a partir de matéria inorgânica é o único na natureza. Dessa forma, podemos dizer que os cloroplastos das plantas e as cianobactérias regulam todas as fábricas de matéria orgânica do planeta. A partir dessa produção, todos os organismos heterotróficos podem se alimentar: os herbívoros se alimentam das plantas diretamente, os carnívoros se alimentam dos herbívoros, ou de outros carnívoros e os decompositores se alimentam de restos dos dois.

CIANOACTÉRIAS ATUAIS

Hoje em dia, as cianobactérias são abundantes e podem sobreviver nos mais variados ambientes. Podem habitar oceanos, regiões de alta salinidade e podem até sobreviver a longos períodos de seca.



Figura 4: Estromatólitos atuais da Austrália. Os estromatólitos são camadas de cianobactérias e de carbonato de cálcio. Os estromatólitos habitam nosso planeta há muito tempo. Os mais antigos estão entre os fósseis mais antigos de 3 bilhões de anos.

No deserto de Atacama, no Chile, diversas espécies foram encontradas num local onde nunca foram registradas chuvas. Elas podem resistir à radiação, como deveriam ter resistido no início de sua existência no planeta.

Não raramente, as cianobactérias são encontradas em estruturas chamadas estromatólitos (Figura 4). Os estromatólitos são laminados, cada camada é composta por cianobactérias, poeira e argila. Na camada superior acontece a fotossíntese. Uma nova camada é incorporada e se forma em cima da antiga, crescendo camada a camada. Os estromatólitos são encontrados no registro fóssil há mais de 3 bilhões de anos, também contribuindo para a injeção de oxigênio da atmosfera terrestre.

Outras bactérias importantes

Além das cianobactérias, outros três grupos são importantes no nosso cotidiano: as enterobactérias, as bactérias do ácido lático e as clostrídias.

As enterobactérias formam um grupo de bacilos Gramnegativos que inclui decompositores que vivem em matéria orgânica em decomposição. A mais famosa é a bactéria *Escherichia coli*, que já falamos no início da aula, habita o trato intestinal de humanos e outros animais. Na realidade, *E. coli* é parte da nossa flora intestinal mesmo quando estamos saudáveis. Por exemplo, a ausência dessa bactéria pode causar sérios transtornos e deficiência de vitaminas (principalmente B e K) depois que tomamos antibióticos durante muito tempo.

No entanto, algumas linhagens de *E. coli* são patogênicas. Isso significa que existem alguns indivíduos dessa espécie que são geneticamente diferentes e conseguem atacar nosso organismo. A presença dessas linhagens no corpo humano pode causar diarreia e outros sintomas graves (como hemorragias), principalmente em crianças.

Outras bactérias Gram-positivas são as produtoras de ácido lático, que é o produto final de seu metabolismo de fermentação de açúcares. Essas bactérias estão presentes em matéria vegetal em decomposição, no leite e em seus derivados. O gosto característico do iogurte, do pickles, de azeitonas, é causado por bactérias de ácido lático. Essas bactérias também são comumente encontradas na boca e na vagina humanas.

As bactérias clostrídias afetam nossas vidas de inúmeras maneiras. Uma de suas espécies, *Clostridium tetani*, são bacilos patogênicos responsáveis pelo tétano em humanos. Uma outra espécie desse gênero causa o botulismo, que é *Clostridium botulinum*.



Roteiro de ação 4

Informações básicas:

Duração prevista:	50 minutos
Área de conhecimento:	Ciências
Assuntos:	Diversidade biológica
Objetivos:	Compreender o papel da segregação, independente de cromossomos durante a meiose na produção de variabilidade genética.
Pré-requisitos:	Conhecimentos básicos de meiose.
Material Necessário:	Roteiro
Organização da classe:	Grupos de quatro a seis alunos.
Descritores associados:	<p>H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.</p> <p>H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.</p> <p>H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação, usadas nas Ciências Físicas, Químicas ou Biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.</p>

FILHOS, COMBINAÇÕES DOS PAIS?

Professor, essa atividade funciona bem quando realizada individualmente ou em grupo. Sugerimos grupos de quatro a seis alunos para facilitar a discussão final, quando os resultados são expostos para a turma.

A mutação, a segregação independente e a permutação (*crossing-over*) são as fontes de variabilidade genética comumente citadas nos livros didáticos de Ensino Médio. Essa atividade pode ajudar os alunos a compreenderem melhor a segregação independente e suas relações com o aumento da variabilidade.

Para isso, simulamos a formação da família Silva. Os alunos são apresentados ao Sr. e à Sra. Silva e a algumas das suas características genéticas com os fenótipos correspondentes. A partir dessas características e utilizando conceitos básicos relacionados à meiose, cada grupo de alunos cria um descendente para o casal. Usamos dois exemplos de herança monogênica. O termo herança monogênica ou monoidrismo aplica-se a casos em que apenas um par de alelos de um gene está envolvido na herança da característica (1ª Lei de Mendel). Nossos exemplos são características hereditárias com segregação independente, pois são determinados por genes localizados em pares diferentes de cromossomos homólogos (2ª Lei de Mendel). Os quadros abaixo mostram o genótipo do casal Silva e as características hereditárias utilizadas.

Sr. Silva (genótipo e fenótipo)	Sra. Silva (genótipo e fenótipo)
Aa – Pigmentação normal da pele, cabelos e olhos.	Aa – Pigmentação normal da pele, cabelos e olhos.
LI – Lóbulos das orelhas soltos	LI – Lóbulos das orelhas soltos

Característica	Genótipo	Fenótipo
ALBINISMO Essa característica decorre do bloqueio da síntese de melanina. Os indivíduos afetados apresentam a pele, cabelos e íris sem pigmentação.	AA (homozigótico dominante) Aa (heterozigótico) aa (homozigótico recessivo)	normal normal albino
LÓBULOS DAS ORELHAS	LL (homozigótico dominante) LI (heterozigótico) II (homozigótico recessivo)	Lóbulos soltos Lóbulos soltos Lóbulos presos

Na família Silva, todos os irmãos são filhos do mesmo pai e da mesma mãe. Entre eles, alguns são muito parecidos com os pais e outros, nem tanto. Mas, se eles têm o mesmo pai e a mesma mãe, por que isso acontece?

Vamos conhecer os pais, o Sr. e a Sra. Silva, e descobrir a resposta para essa questão.

Para nossa investigação, usaremos três características do casal Silva: a produção de melanina (a proteína que colore olhos, cabelos e pele), o formato dos lóbulos das orelhas, que podem ser soltos ou presos e o sexo.

Observem, na tabela a seguir, como é o genótipo e o fenótipo do Sr. e da Sra. Silva em relação a essas características.

Característica	Sr. Silva		Sra. Silva	
	Genótipo	Fenótipo	Genótipo	Fenótipo
Produção de melanina	Aa	Normal	Aa	Normal
Lóbulos das orelhas	Ll	Lóbulos soltos	Ll	Lóbulos soltos
Sexo	XY	Masculino	XX	Feminino

Vamos relembrar algumas ideias relacionadas com as informações da tabela antes de continuar?

Os genes definem as características de um indivíduo. Eles estão localizados nos cromossomos. As variações de um gene são chamadas de alelos. Por exemplo, as letras A e a representam duas variações do gene para produção de melanina, a proteína que dá cor à pele, aos olhos e aos cabelos.

O alelo **A** determina a produção de melanina. Ele é dominante em relação ao alelo a. Assim, basta que ele apareça em dose única para a pessoa produzir melanina. Então, os olhos, cabelos e pele dessa pessoa terão coloração.

O alelo **a** bloqueia a produção de melanina. Ele é recessivo em relação ao alelo **A**. Uma pessoa não produzirá melanina se possuir esse alelo em dose dupla. Nesse caso, a pessoa será albina.

As letras **L** e **l** representam duas variações do gene para lóbulo de orelha.

O alelo **L** determina lóbulo de orelha solto. Ele é dominante em relação ao alelo **l**. Portanto, basta que ele apareça em dose única para a pessoa ter lóbulo solto

O alelo **l** determina lóbulo de orelha preso. Ele é recessivo em relação ao alelo **L**. Dessa maneira, ele precisa aparecer em dose dupla para que a pessoa tenha lóbulo preso.

Já as letras **X** e **Y** representam os cromossomos sexuais. O cromossomo **X**, em dose dupla, determina o sexo feminino. O par de cromossomos **X** e **Y** determina o sexo masculino.

Observe os modelos de célula do Sr. e da Sra. Silva. Eles estão simplificados, mostrando apenas três dos 23 pares de cromossomos que a espécie humana possui. Você pode observar os cromossomos onde se localizam os alelos relacionados com a produção de melanina e com lóbulo de orelha e, também, os cromossomos sexuais.

Esses modelos representam as células que se dividem e dão origem aos espermatozoides no Sr. Silva e aos óvulos na Sra. Silva.

Repare que os alelos citados (**A**, **a**, **L**, **l**) estão em cromossomos diferentes.



Agora, vamos montar um espermatozoide e um óvulo que poderiam ser produzidos a partir das células representadas acima. Para isso, precisamos lembrar que os gametas (ou células reprodutivas) surgem por meio de uma divisão celular, chamada meiose. Nesse tipo de divisão, cada espermatozoide ou óvulo formado tem somente um cromossomo de cada par existente na célula original.

Essa separação do par de cromossomos acontece ao acaso. Além disso, a separação de um determinado par de cromossomos é independente da separação dos outros pares. Vamos ver um exemplo?

Considerando as células da Sra. Silva, diferentes óvulos podem ser formados. Vejamos quatro possibilidades:



Comentários para o professor

Caro professor, as figuras coloridas não impedem a impressão do relatório em preto e branco, o que é mais viável nas nossas escolas. O entendimento não fica comprometido porque os cromossomos possuem características diferentes uns dos outros (tamanho, posição do centrômero e alelo presente). Se for possível e você considerar adequado, as figuras podem ser projetadas coloridas para os alunos.

Optamos por não mostrar as fases da meiose e a forma como se dá a segregação independente para não tornar obrigatória a revisão dessa divisão celular, o que interromperia essa atividade. Se você considerar oportuna essa revisão, sugerimos que ela seja feita antes da atividade.

Também para a formação dos espermatozoides do Sr. Silva, existem várias possibilidades que acontecem ao acaso. Dessa maneira, o sorteio é uma boa maneira de escolher qual cromossomo de cada par estará no espermatozoide ou no óvulo.

Vamos começar?

1. Escrevam a letra **A** em um pedaço de papel e a letra **a** em outro. Façam o sorteio para definir qual dos dois alelos irá para o espermatozoi-

de. Depois, repitam o sorteio para determinar qual será o alelo do óvulo. Registrem os resultados do sorteio na **Tabela 1**.

2. Para definir o genótipo, relacionado aos lóbulos das orelhas, repitam o sorteio do item 1, usando as letras **L** e **l**. Registrem os resultados do sorteio na **Tabela 1**.

3. Agora, vamos definir qual cromossomo sexual irá para o espermatozoide. Escrevam em um pedaço de papel a letra **X** e, em outro, a letra **Y**. Sorteiem e escrevam o resultado na tabela. Em relação ao cromossomo sexual do óvulo, é só escrever **X**, certo?

Tabela 1 – Definindo o genótipo dos gametas do Sr. e da Sra. Silva.

	Genótipo do Espermatozoide	Genótipo do Óvulo
Produção de melanina		
Lóbulos das orelhas		
Cromossomo Sexual		



Comentários para o professor

Professor, o resultado de cada grupo será bem específico, pois dependerá do sorteio de cada um. Na tabela a seguir, estão registradas as possibilidades.

	Genótipo do Espermatozoide	Genótipo do Óvulo
Produção de melanina	A ou a	A ou a
Lóbulos das orelhas	L ou l	L ou l
Cromossomo Sexual / Sexo	X ou Y	Sempre X

4. Agora, simulem a fecundação. Para definir o genótipo do filho ou da filha, basta juntar os genótipos do espermatozoide e do óvulo sorteados para cada um das características e registrados na **Tabela 1**. Escrevam o resultado desta união na coluna “**Genótipo do (a) filho (a)**”. Por fim, determinem qual é o fenótipo do filho ou filha.

Tabela 2 – Definindo o genótipo do(a) filho(a) do Sr. e da Sra. Silva.

	Genótipo do (a) filho (a)	Fenótipo do (a) filho (a)
Produção de melanina		
Lóbulos das orelhas		
Cromossomo Sexual		



Comentários para o professor

Professor, o resultado deste item também será bem específico para cada grupo, já que também depende do sorteio. Na tabela a seguir, estão registradas as possibilidades.

	Genótipo do filho (a)	Fenótipo do filho (a)
Produção de melanina	AA, Aa ou aa	Normal, normal ou albino (a).
Lóbulos das orelhas	LL, Ll ou ll	Lóbulos soltos, lóbulos soltos ou lóbulos presos.
Cromossomo Sexual / Sexo	XX ou XY	Sexo feminino ou masculino.

5. Hora de conhecer todos os filhos do casal Silva! Comparem o filho produzido por vocês com os filhos formados pelo restante da turma.

6. Quantos filhos diferentes foram formados na turma toda? _____

7. Eles são parecidos com o pai ou com a mãe?

8. Como foi possível o surgimento de alguns irmãos bem diferentes uns dos outros? Discutam com seus colegas de turma e depois escrevam suas respostas com, pelo menos, duas justificativas.

**Comentários para o professor**

Com a discussão em grupo, esperamos que os alunos cheguem às seguintes respostas:

6. Foram formados X filhos. (resposta de acordo com o número de grupos).

7. Alguns filhos são parecidos com o pai e outros com a mãe. Também apareceram filhos com fenótipos inexistentes no pai ou na mãe (caso do albinismo e dos lóbulos presos).

O surgimento de filhos diferentes uns dos outros foi possível porque:

- o Sr. e a Sra. Silva produzem gametas por meiose. Assim, cada um deles contribui com metade da carga genética que formará o descendente. Portanto, no filho, há uma combinação da herança materna com a paterna.

- na formação dos espermatozoides e dos óvulos, cada par de alelos considerado tem sua separação independente dos demais (segregação independente) porque estão localizados em cromossomos diferentes. Assim, são várias as possibilidades de combinação, gerando diversidade de espermatozoides e óvulos.

Ao final da atividade, têm-se tantos filhos quantos são os grupos de trabalho ou os alunos da turma, se o trabalho foi individual. Alguns genótipos podem ser escritos no quadro e o papel da segregação independente na criação de variabilidade genética pode ser mostrado.

Vale a pena enfatizar a possibilidade de aparecimento de irmãos bem diferentes, como, por exemplo: menino albino de lóbulo solto e menina com pigmentação normal e lóbulo preso.



Roteiro de ação 5

Informações básicas:

Duração prevista:	50 minutos
Área de conhecimento:	Ciências
Assuntos:	Diversidade biológica
Objetivos:	Compreender o papel da segregação, independente de cromossomos durante a meiose na produção de variabilidade genética.
Pré-requisitos:	Conhecimentos básicos de meiose.
Material Necessário:	Roteiro
Organização da classe:	Grupos de quatro a seis alunos.
Descritores associados:	<p>H13 – Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.</p> <p>H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.</p> <p>H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação, usadas nas Ciências Físicas, Químicas ou Biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.</p>

**Comentários para o professor**

Professor, essa atividade funciona bem, quando realizada individualmente ou em grupo. Sugerimos grupos de quatro a seis alunos para facilitar a discussão final, quando os resultados são expostos para a turma.

A mutação, a segregação independente e a permutação (crossing-over) são fontes de variabilidade genética muito citadas, nos livros didáticos de Ensino Médio. Essa atividade pode ajudar os alunos a compreender melhor a permutação e suas relações com o aumento da variabilidade.

Para isso, simulamos a formação de filhotes de duas variedades de moscas drosófilas:

1. selvagem (corpo amarelado) com asas normais (alongadas) e
2. black (corpo preto) com asas bem curtas (vestigiais).

Os alunos são apresentados à fêmea Selvagem, ao macho Black e conhecem duas de suas características genéticas com os fenótipos correspondentes.

A partir daí, apresentamos a história de uma pesquisa: como os cruzamentos entre essas duas variedades de mosca ajudaram um grupo de cientistas liderado por Thomas Hunt Morgan (1866 – 1945) a descobrir que os genes estão localizados em cromossomos e, portanto, os cromossomos estão relacionados com a hereditariedade, conceitos que são comuns nos nossos livros didáticos.

Utilizando a *Drosophila melanogaster* – (a “mosca-da-banana”, animal com ciclos reprodutivos muito curtos) ele e sua equipe demonstraram experimentalmente que os genes são entidades físicas localizadas nos cromossomos. Morgan criou moscas-da-fruta aos milhares e sua equipe conseguiu produzir moscas mutantes com raios-x, ácidos e outras substâncias tóxicas.

Os quadros abaixo mostram o genótipo de Black e Selvagem e as características hereditárias utilizadas.

Black (genótipo e fenótipo)	Selvagem (genótipo e fenótipo)
pp – Corpo preto (alelo recessivo surgido por mutação provocada em laboratório).	Pp – Pigmentação normal do corpo: amarelada.
vv – Asas curtas ou vestigiais (alelo recessivo surgido por mutação provocada em laboratório).	Vv – Asas longas (mais compridas do que o corpo)

Característica	Genótipo	Fenótipo
COR DO CORPO	PP (homozigótico dominante)	Selvagem (corpo amarelado)
	Pp (heterozigótico)	Selvagem (corpo amarelado)
	pp (homozigótico recessivo)	Black (corpo preto)
COMPRIMENTO DAS ASAS	VV (homozigótico dominante)	Asas longas
	Vv (heterozigótico)	Asas longas
	vv (homozigótico recessivo)	Asas curtas, vestigiais.

Por fim, sugerimos que os alunos façam primeiro o roteiro de ação “Filhos, combinações dos pais?” ou uma revisão do comportamento dos cromossomos, durante a meiose.

MORGAN, AS DROSÓFILAS E NÓS!

Moscas drosófilas são seres bem diferentes de nós, mas vários mecanismos de reprodução e passagem de características de pais para filhos são semelhantes. Vamos conhecer a história de uma pesquisa que ajudou os cientistas a entenderem porque os descendentes de um casal apresentam características que são uma combinação das características maternas e paternas.

Para começar, vamos conhecer as moscas drosófilas Selvagem e Black. Selvagem é uma fêmea, ela tem o corpo amarelado e asas alongadas. Black é um macho com o corpo preto e asas vestigiais (asas muito curtas, praticamente vestígios de asas). Selvagem e Black são personagens de um interessante episódio da história da Ciência.

Há muito tempo, por volta de 1915, em um laboratório nos Estados Unidos, Thomas Hunt Morgan e um grupo de cientistas faziam experimentos com cruzamentos de diferentes variedades de moscas drosófilas. As pesquisas de Morgan e sua equipe levaram à descoberta do papel dos cromossomos na transmissão das características genéticas de pais para filhos (hereditariedade). Eles criavam as moscas em um laboratório na Universidade de Columbia que era conhecido como sala das moscas. Lá, produziam mutantes, utilizando radiação ou substâncias químicas, depois, cruzavam esses mutantes com as moscas selvagens, moscas que não recebiam radiação. Vamos conhecer um desses cruzamentos e as descobertas que ele ajudou Morgan e sua equipe a realizar.

Mas primeiro, é importante que vocês tenham mais informações sobre as moscas drosófilas personagens dessa história.

Observem, na tabela 1, como é o genótipo e o fenótipo de Selvagem e Black para as características investigadas no experimento.

Tabela 1: Genótipo e fenótipo de Selvagem e Black

Característica	Selvagem (fêmea)		Black (macho)	
	Genótipo	Fenótipo	Genótipo	Fenótipo
Corpo	Pp	Corpo amarelado	pp	Corpo preto
Asas	Vv	Asas longas	vv	Asas curtas

Vamos relembrar algumas ideias relacionadas com as informações da tabela?

Os genes definem as características de um indivíduo. Eles estão localizados dentro dos cromossomos. As variações de um gene são chamadas de alelos.

As letras P e p representam duas variações do gene para cor do corpo em moscas da espécie *Drosophila melanogaster*.

O alelo P condiciona o corpo amarelado. Ele é dominante em relação ao alelo p. Assim, basta que ele apareça em dose única para a mosca ter o corpo amarelado.

O alelo p condiciona o corpo preto. Ele é recessivo em relação ao alelo P. Uma mosca terá corpo preto, se possuir esse alelo em dose dupla.

As letras V e v representam duas variações do gene para comprimento da asa em moscas da espécie *Drosophila melanogaster*.

O alelo V condiciona asas alongadas, mais compridas do que o corpo. Ele é dominante em relação ao alelo v. Portanto, basta que ele apareça em dose única para a mosca ter asas longas.

O alelo v condiciona asas vestigiais. Ele é recessivo em relação ao alelo V. Dessa maneira, ele precisa aparecer em dose dupla para que a mosca tenha asas curtas.

Agora, vejam os modelos de cromossomos de Selvagem e Black. Embora as moscas da espécie *Drosophila melanogaster* possuam quatro pares de cromossomos, nós vamos trabalhar com apenas um dos pares: aquele que carrega os alelos pesquisados. Observem com atenção: cada cromossomo carrega dois alelos, uma para cor do corpo (P ou p) e outro para comprimento da asa (V ou v).



Figura 1: Representação dos cromossomos de Selvagem e Black, apresentando a localização dos alelos para cor do corpo e comprimento da asa.

Voltando à nossa história...

Na sala das moscas, as pesquisas desenvolviam-se com diversos cruzamentos sendo feitos. A fêmea Selvagem e o macho Black cruzaram, e Selvagem produziu muitos ovos. Deles saíram larvas que foram alimentadas, transformaram-se em pupas e depois em mosquinhas.

Como vocês acham que eram os filhotes? Parecidos com Selvagem ou com Black? Vamos descobrir?

Lembrem-se de que óvulos ou espermatozoides são produzidos quando determinadas células passam por um tipo particular de divisão: a meiose. Durante a meiose, os cromossomos dessas células duplicam-se e depois se dividem, indo um cromossomo para cada gameta formado (óvulo ou espermatozoide).

Considerem os cromossomos de Selvagem e Black já apresentados. Vamos ver como esses cromossomos seriam distribuídos nos óvulos e espermatozoides?

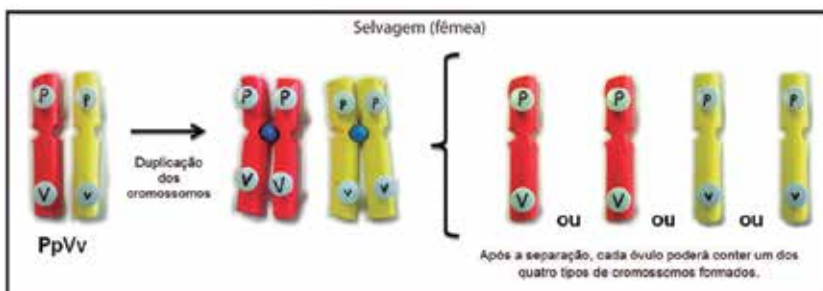


Figura 2: A partir do genótipo de Selvagem para cor do corpo e comprimento da asa, é possível a produção de quatro óvulos diferentes, como vocês podem ver à direita.

Como vimos, Selvagem produziria óvulos com os alelos PV ou com pv. E Black? Quais seriam os alelos presentes em cada espermatozoide? A partir do genótipo de Black para cor do corpo e comprimento da asa, completem o esquema, representando a duplicação do material genético e os diferentes espermatozoides formados.

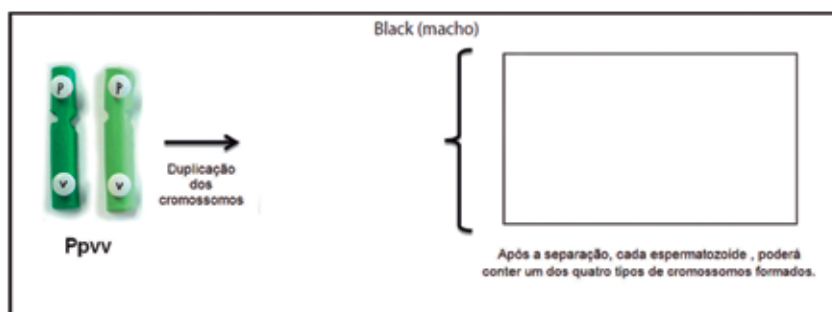


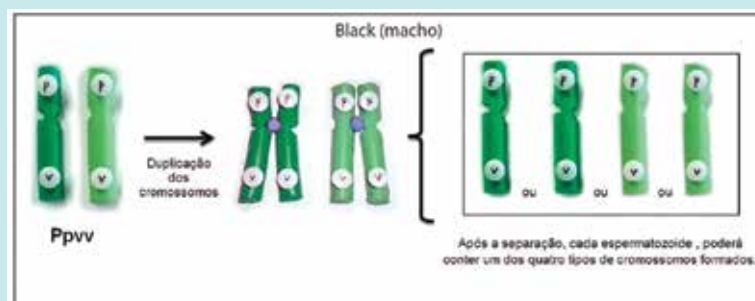
Figura 3: Genótipo de Black para cor do corpo e comprimento da asa, à esquerda. No centro, os dois cromossomos duplicados. E à direita, os quatro tipos de espermatozoides.



Comentários para o professor

E Black? Quais seriam os alelos presentes em cada espermatozoide?

Os alelos presentes nos espermatozoides de Black seriam sempre pv. Sendo assim, é esperado que os alunos respondam de forma semelhante a:



Agora já podemos descobrir como, provavelmente, eram os filhotes de Selvagem e Black, vocês concordam?

Use a tabela 2 e descubram os genótipos e fenótipos dos filhotes.

Primeiro, preenchem a coluna mais à esquerda com os genótipos encontrados para os espermatozoides de Black. Depois, combinem os

genótipos dos óvulos com os dos espermatozoides, preenchendo o restante da tabela.

Tabela 2: Quais serão os possíveis genótipos dos filhotes de Selvagem e Black? Preencham a tabela e descubram!

Genótipos dos filhotes de Selvagem e Black		Genótipos dos óvulos de Selvagem			
		PV	pv	pv	pv
Genótipos dos espermatozoides de Black					

Quais os dois fenótipos encontrados nos filhotes?



Comentários para o professor

É esperado que os alunos respondam de forma semelhante a:

Genótipos dos filhotes de Selvagem e Black		Genótipos dos óvulos de Selvagem			
		PV	pv	pv	PV
Genótipos dos espermatozoides de Black	pv	PvVv	PvVv	pvpv	pvpv
	pv	PvVv	PvVv	pvpv	pvpv
	pv	PvVv	PvVv	pvpv	pvpv
	pv	PvVv	PvVv	pvpv	pvpv

Quais os dois fenótipos encontrados nos filhotes?

Encontramos os seguintes fenótipos:

PpVv – moscas com o corpo amarelado e asas longas.

ppvv – moscas com o corpo preto e asas vestigiais.

Filhotes com esses fenótipos apareciam em grande proporção a cada cruzamento feito. Isso ajudou Morgan a ter certeza que os alelos para cor do corpo e comprimento da asa estavam no mesmo cromossomo (como representamos).

Entretanto, Morgan e sua equipe encontravam alguns filhotes com outros fenótipos. Entre tantos filhotes com os dois fenótipos que vocês

previram, foram achados alguns com os fenótipos citados na tabela 3. Completem as informações, escrevendo os genótipos correspondentes aos fenótipos encontrados.

Tabela 3: Quais são os genótipos dos filhotes que possuem características diferentes das previstas?

Fenótipos encontrados	Genótipos correspondentes
Corpo amarelado e asas vestigiais	
Corpo preto e asas longas	



Comentários para o professor

Professor, esperamos que os alunos respondam da seguinte maneira

Fenótipos encontrados	Genótipos correspondentes
Corpo amarelado e asas vestigiais	PpVv
Corpo preto e asas longas	ppVv

Como apareceram esses genótipos? Morgan já sabia que os alelos para cor do corpo e comprimento das asas estavam no mesmo cromossomo. Ele também sabia que Selvagem era heterozigota e Black homozigoto porque eles eram descendentes de outros cruzamentos controlados. Assim, Morgan usou descobertas já feitas em outras ocasiões por colegas seus e pensou que, também para as drosófilas, poderia acontecer permutação.

Permutação?

Agora o desafio é para vocês: descobrir como a permutação originou os genótipos diferentes do previsto.

Nesse momento, vocês devem agir como cientistas e professores: em certas ocasiões eles usam modelos para representar uma ideia e facilitar o entendimento.

Vamos começar?

Use dois bastões de massa de modelar, tachinhas e caneta para escrever nas tachinhas. Se vocês não tiverem tachinhas, usem pequenos pedaços de papel. Montem modelos parecidos com os mostrados na Figura 4. Eles representarão o par de cromossomos de Selvagem, onde estão os alelos para a cor do corpo e o comprimento das asas. Cada cromossomo já estará duplicado.



Figura 4: Modelos dos cromossomos duplicados de Selvagem e Black, feitos com massa de modelar.

Observem com atenção os cromossomos duplicados. O que poderia acontecer entre esses cromossomos para que surgissem os genótipos encontrados por Morgan e sua equipe entre os filhotes?

Querem uma pista? Descubram o que significa a palavra permutação.

E lembrem-se da conclusão de Morgan, afirmando que ocorreu uma permutação entre os cromossomos. O que seria então essa permutação? Usem os modelos de massa para mostrar as suas hipóteses. Troquem ideias com os colegas e o professor. Depois de chegarem a uma conclusão, representem com um desenho, a resposta para a pergunta:

Como a permutação originou os genótipos diferentes do previsto?

Desenho da Permutação





Comentários para o professor

Com relação ao esquema da permutação, espera-se que os alunos respondam de forma semelhante ao esquema abaixo.



Professor, a ilustração com os desenhos do próprio Morgan pode ser mostrada aos alunos. Será muito interessante aproximá-los da produção original do cientista.

Ilustração feita pelo próprio Thomas Hunt Morgan em 1916 para explicar a permutação:

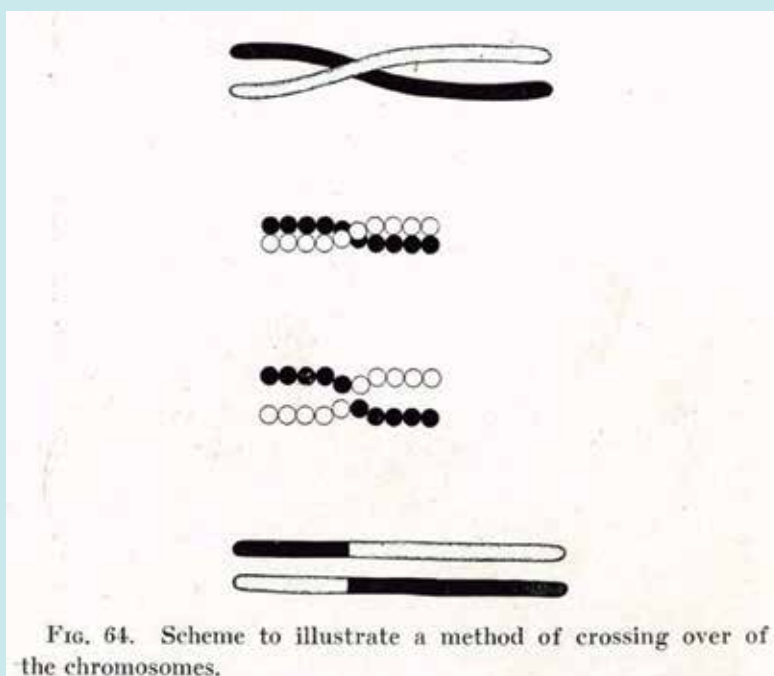


Imagem disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Hunt_Morgan>. Acesso em 12/09/2018.

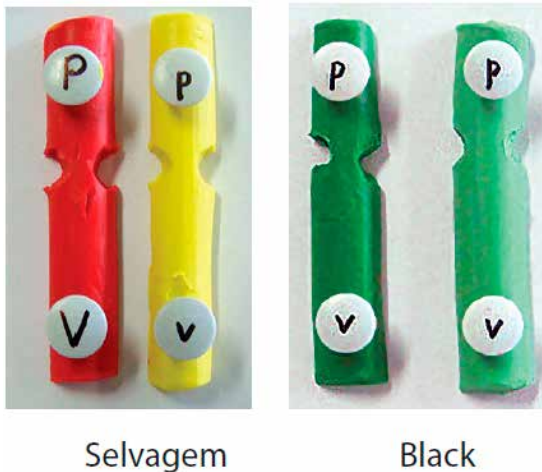
Vocês acabam de simular um importante fenômeno que acontece em muitos seres vivos, durante a produção dos gametas, sejam óvulos ou espermatozoides: a permutação, também chamada de crossing over.

Esse fenômeno possibilita que alelos localizados inicialmente em cromossomos diferentes fiquem no mesmo cromossomo e apareçam no mesmo gameta. Mas atenção: essa troca só acontece entre cromossomos do mesmo tipo, aqueles que carregam alelos relacionados com a mesma característica.



Comentários para o professor

Professor, propositalmente não citamos o termo homólogo para caracterizar os cromossomos que estão sendo analisados. Se você julgar adequado, aproveite esse momento para relembrar esse e outros conceitos, relacionados com a meiose. Achamos que será mais fácil para os alunos se os modelos fotografados servirem como exemplo. Veja as sugestões de comentários que poderiam ser feitos com os alunos.



Esses modelos significam que Selvagem e Black têm um par de cromossomos, contendo os alelos relacionados à cor do corpo e ao tamanho da asa.

A parte mais estreita nos cromossomos representa o local por onde eles se unem depois que se autoduplicam. Essa região chama-se centrômero.

Esses cromossomos são chamados de homólogos porque possuem mesmo tamanho, centrômero na mesma posição e alelos relacionados com a mesma característica localizados na mesma altura.

Assim, em Selvagem, os cromossomos vermelho e amarelo formam um par de homólogos. Já em Black, o par de homólogos é formado pelos cromossomos verde escuro e verde claro.

Nessas imagens, os cromossomos não estão duplicados.



Quando o cromossomo duplica-se, ele permanece unido à sua cópia por meio de uma proteína. A bolinha de massa entre o cromossomo e sua cópia representa essa proteína.

Quando o cromossomo está duplicado, ele e sua cópia são chamados de cromátides irmãs.

Na ilustração, temos um par de cromossomos homólogos. Como os dois cromossomos estão duplicados, temos quatro cromátides. As cromátides irmãs têm a mesma cor.

As figuras coloridas não impedem a impressão do relatório em preto e branco, o que é mais viável nas nossas escolas. O entendimento não fica comprometido porque os cromossomos possuem características diferentes uns dos outros (tamanho, posição do centrômero e alelo presente). Se for possível e você considerar adequado, as figuras podem ser projetadas coloridas para os alunos.

Em relação às montagens

A montagem com massa de modelar é fácil e pode ser repetida pelos alunos em sala. Assim, se você considerar adequado, peça aos alunos o material e ensine-os a montar os cromossomos com massa de modelar e tachinhas (ou pedaços de papel). De acordo com nossa experiência, participar da montagem do material ajuda a concentração e o entendimento do assunto.



a / b – Cada bastão de massa foi cortado ao meio ao longo do seu comprimento. Sendo assim, cada metade foi aproveitada para representar o cromossomo simples ou uma das cromátides irmãs do cromossomo duplicado.

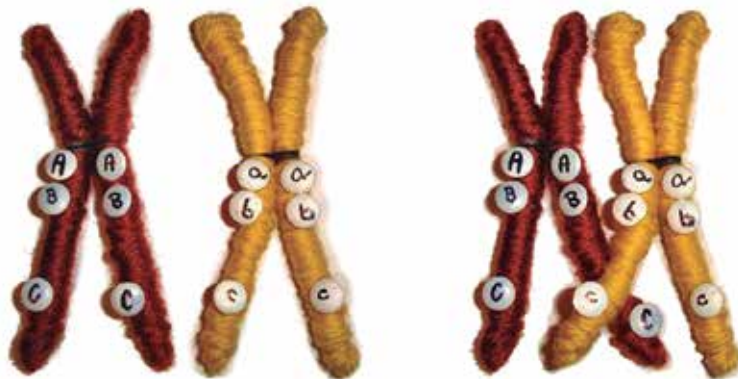
c / d – Foram escolhidas tachinhas brancas que são facilmente marcadas com caneta para retroprojeter. Também podemos usar pedacinhos de papel ou cartolina branca. Entretanto, esses materiais sujam com massa e não são permanentes.

Os modelos de massa também podem ser preparados com antecedência e mostrados aos alunos, funcionando como material permanente do professor. Os modelos também podem ser montados com material mais resistente. Isso permitirá a utilização em diversas turmas por muito tempo. A seguir, você encontra uma sugestão para elaborar esse tipo de modelo.



Exemplo de montagem e utilização

São montados dois cromossomos duplicados, enrolando-se o fio de lã em torno do fio ou arame. Depois, as tachinhas marcadas com os alelos são encaixadas na parte de lã. Esses modelos podem ser facilmente movimentados para demonstrar a permutação.



Confeccionando dois modelos de cromátides com as duas cores utilizadas, simula-se o resultado da permutação. É muito importante usar as tachinhas com a identificação dos alelos. Essa é uma vantagem desses modelos sobre as imagens mais comumente encontradas nos materiais didáticos: mostrar claramente a troca de alelos após a permutação. Observe a distribuição dos cromossomos no final da meiose:



Texto base 8

ORIGEM DA CÉLULA EUCARIONTE

As células procariontes de bactérias e de arqueas não possuem núcleo definido. Nelas, o material genético fica no citoplasma, ao contrário das células eucariontes, nas quais o núcleo abriga os cromossomos. Entretanto, muitas outras diferenças separam os dois tipos de células. Por exemplo, a célula procarionte é geralmente menor que a eucarionte, seu genoma está arranjado em um único cromossomo circular solto no citoplasma, e ela não possui organelas nem membranas complexas. A Figura 1 ilustra as principais diferenças entre essas células.

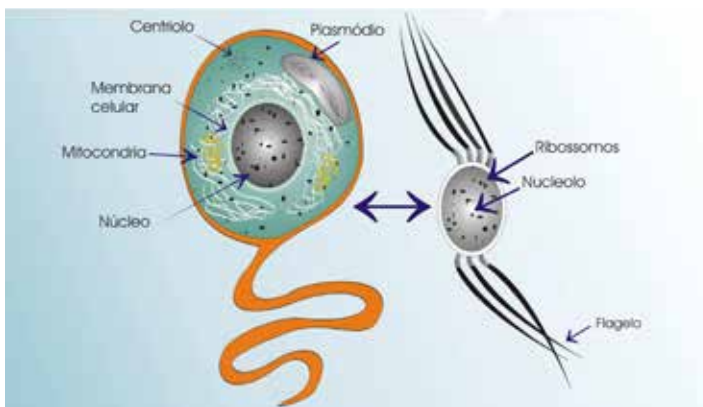


Figura 1: A célula eucarionte e a célula procarionte.

Vários passos evolutivos separam esses dois tipos de células. Nesta aula iremos discorrer sobre a evolução das estruturas que diferenciam a célula procarionte da eucarionte.

Os primeiros fósseis de eucariontes datam de 1,8 bilhão de anos, enquanto os primeiros procariontes são muito mais antigos, como a cianobactéria de 3,5 bilhões de anos.

Portanto, obviamente, o sentido da evolução ocorreu de procariontes para eucariontes (Figura 2). Mas como isso aconteceu?

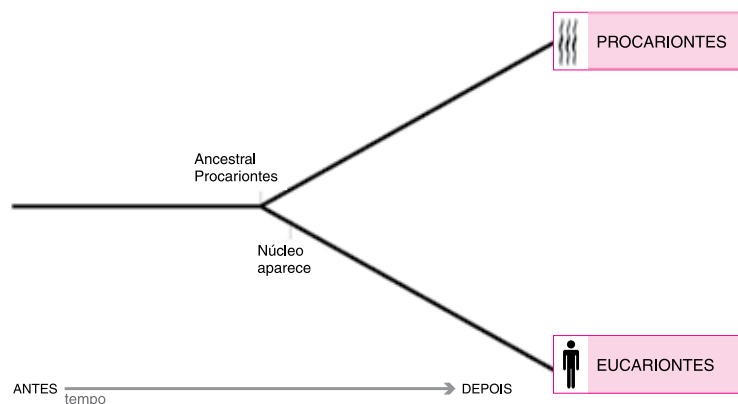


Figura 2: Evolução de procariontes para eucariontes.

A maior parte dos pesquisadores da área acredita que a origem da célula eucarionte se deu através de uma seqüência de eventos de endossimbiose. Nesse caso, simbiose pode ser definida como uma associação física de longa duração entre organismos de diferentes espécies. A principal teoria de origem da célula eucarionte é conhecida como endossimbionte serial (ou SET, derivada do inglês *serial endosymbiosis theory*).

De acordo com essa teoria, as células nucleadas ou eucariontes são derivadas de comunidades de bactérias integradas.

A teoria endossimbionte serial diz que três classes de organelas das células eucariontes – cílios e flagelos, mitocôndrias e cloroplastos – originaram de bactérias simbiotes. As células eucariontes teriam evoluído por um processo denominado endossimbiose serial, termo que se refere à aquisição e à integração de bactérias numa seqüência determinada.

Quando essa associação se torna permanente e obrigatória chamamos de simbiogênese, e os organismos originais se unem para formar um novo organismo.

A célula eucarionte é formada por DNA nuclear envolto em uma membrana e pelo citoplasma, externo ao núcleo e rico em ribossomos. A seqüência de nucleotídeos do DNA serve de molde para a fabricação do RNA-mensageiro. As “mensagens” são lidas nos ribossomos do citoplasma de forma que a seqüência da proteína é determinada. O núcleo tem um papel fundamental neste cenário. Sua origem é, portanto, o passo mais importante para a compreensão da origem dos eucariontes.

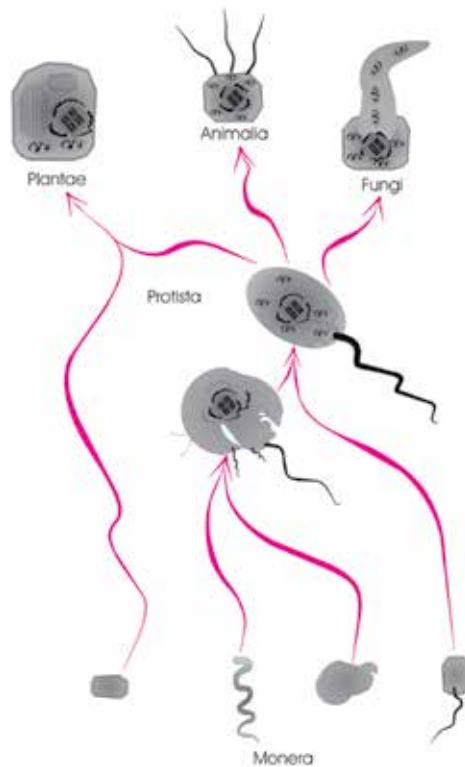


Figura 3: Fusão de uma arqueia *Thermoplasma* e uma bactéria espiroqueta formando uma célula flagelada. O núcleo apareceu como?

LYNN MARGULIS é uma das principais pesquisadoras na área e ela acredita que a célula eucarionte se originou da fusão de uma arqueia (*Thermoplasma*) e de uma bactéria (espiroqueta), formando uma célula flagelada, como mostra a Figura 3. A própria membrana nuclear pode ter sido consequência também dessa fusão. Na realidade, uma célula eucarionte possui várias membranas, tais como a nuclear, a plasmática, a do retículo endoplasmático etc. Todas elas são contínuas, fluidas e dinâmicas. A autora justifica sua afirmativa dizendo que, na maior parte dos organismos, as membranas tendem a crescer vigorosamente quando a célula sofre uma invasão microbiana. Assim, as membranas intracelulares, incluindo a nuclear, podem ter sido consequência direta da fusão (ou invasão) da bactéria espiroqueta com *Thermoplasma*.

Uma outra teoria para explicar o aparecimento do núcleo é a da citose. A citose é um processo celular no qual a membrana celular se dobra internamente formando um vacúolo, como mostra a Figura 4. Por exemplo, na fagocitose, a célula absorve uma partícula sólida e forma um vacúolo com essa partícula em seu interior. O vacúolo formado se



LYNN MARGULIS

É uma das principais defensoras da SET. Essa autora discorda da visão de Carl Woese, sobre os três domínios. Para ela, apenas dois grandes grupos existem: os procariotes (sem origem simbiótica) e os eucariontes (com origem simbiótica).

**LISOSSOMA**

É uma organela celular, caracterizada por um vacúolo com enzimas digestivas em seu interior

funde com o **LISOSSOMA**. É possível que o núcleo celular tenha se originado de um desses vacúolos.

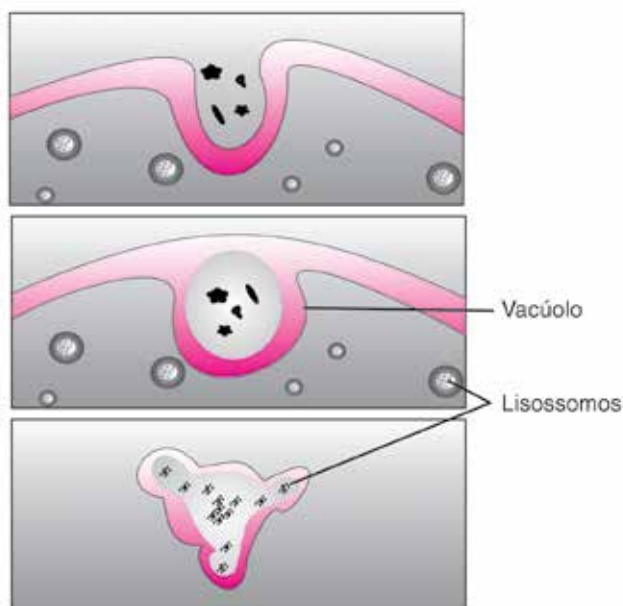


Figura 4: Fagocitose.

Se esse processo simples de fagocitose é o responsável pelo aparecimento do núcleo, por que o mesmo processo não se deu com as bactérias atuais? Na realidade, as bactérias atuais não fazem fagocitose, porque a membrana que envolve as células de bactérias é muito rígida e não consegue se dobrar para formar um vacúolo. Essa membrana é chamada de parede celular. Como elas não conseguem dobrar a parede celular rígida, para absorver nutrientes, as bactérias devem absorver molécula por molécula pela parede celular. Para se alimentar de objetos sólidos, elas devem secretar enzimas digestivas no meio externo e absorver molécula por molécula do objeto, num processo extremamente dispendioso energeticamente. O outro grande grupo dos procariontes, as arqueas, também possui uma membrana semi-rígida que envolve cada indivíduo. Essa membrana, porém, não é considerada uma parede celular, porque não chega a ser tão rígida como a de bactérias.

Hoje sabemos que as arqueas e os eucariontes possuem um ancestral comum que não é compartilhado pelas bactérias. Em tal contexto, poderíamos imaginar um cenário mais detalhado do que aquele apresentado na Figura 2. Neste novo cenário, os primeiros organismos possuí-

am uma parede celular que além de proteger o interior do organismo, dá sustentação à célula. Depois, essa parede foi perdida nas linhagens que deram origem aos eucariontes e às arqueas (Figura 5).

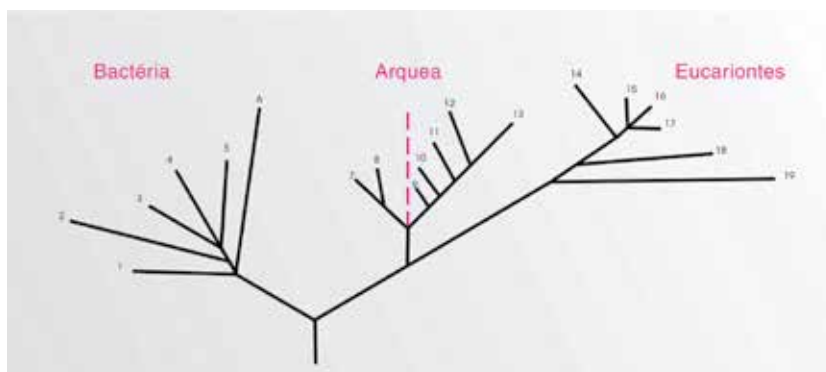


Figura 5: Filogenia de arqueas, bactérias e eucariontes mostrando a perda da parede celular e o ganho do núcleo.

Assim, como um passo aparentemente tão desvantajoso (i.e., perda da parede celular) ao organismo portador poderia ter sido selecionado e mantido na população original? Naturalmente, não podemos pensar no desaparecimento da parede para que a bactéria pudesse ser capaz de fazer fagocitose, porque isso implicaria a previsibilidade da evolução pela seleção natural, o que não acontece. A seleção natural atua no presente do organismo e não no futuro. Ou seja, a reprodução diferencial age sobre o que o organismo é e não sobre o que ele pode ser.

Então, uma possível explicação do desaparecimento da parede celular, sem recorrer à previsibilidade da evolução, seria a seguinte: algumas bactérias antigas adquiriram capacidade antibiótica de bloqueio da síntese da parede celular em outras bactérias.

Bactérias sem parede celular são extremamente frágeis e, portanto, a maior parte delas (sem parede) deve ter sido extinta quase que imediatamente, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as secretoras de antibióticos.

Dentre todas as linhagens que perderam a parede, duas delas – ou uma delas, já que as duas são relacionadas –, descobriram uma saída para essa fragilidade. A primeira, a linhagem das arqueas, desenvolveu uma membrana celular rígida inteiramente nova a partir de pseudomureína, e não de peptidoglicanos. A segunda, a linhagem dos eucariontes, desenvolveu um esqueleto molecular interno — o citoesqueleto

**JOHN MAYNARD SMITH**

Nasceu em 1920 em Londres. Após uma graduação em engenharia aeronáutica, ele trabalhou nessa profissão de 1941 a 1947. Depois disso, resolveu retornar aos estudos, se formando em Zoologia em 1951. Recipiente de vários prêmios importantes mundialmente, ele se tornou um dos principais pesquisadores e pensadores sobre a origem da vida e a evolução da célula eucarionte e de evolução em geral.

—, dando sustentação à célula. Um dos pesquisadores mais respeitados nessa área de evolução da vida e da origem da célula eucarionte é JOHN MAYNARD SMITH.

CITOESQUELETO E MITOSE

O citoesqueleto foi um passo fundamental no desenvolvimento dos eucariontes. Nesses organismos, ele é formado por duas classes complementares de moléculas: os filamentos de actina, que resistem a forças que esticam, e os microtúbulos, que resistem a forças que comprimem. Essas duas classes de moléculas permitem à célula manter sua forma, mesmo na ausência de uma parede celular. A mitose, por exemplo, só se tornou possível com o advento do citoesqueleto. Procariontes não possuem citoesqueleto e, portanto, não se multiplicam pela mitose. A reprodução procariótica acontece por um outro processo, chamado divisão binária. O passo fundamental é garantir que todo o material genético passe para cada uma das células-filhas. O único cromossomo procarionte se liga à parede celular. Esta por sua vez vai se estendendo e, assim, separando as duas cópias do cromossomo em lados opostos da célula. A célula finalmente se divide em duas células filhas idênticas.

Nos eucariontes, a divisão celular, muito mais complexa, é chamada de mitose. O citoesqueleto, além de manter a forma da célula, como descrito anteriormente, pode distorcê-la também.

O citoesqueleto ainda é responsável por movimentar elementos e partículas no interior da célula. Seu papel na mitose é crucial. Antes da mitose, os cromossomos são duplicados, mas permanecem unidos pelo centrômero. Durante a mitose, o núcleo desaparece, o citoesqueleto guia os cromossomos já duplicados para o meio da célula e separa, em seguida, as cromátides irmãs.

ORGANELAS E ENERGIA

Existem dois tipos de organelas celulares especiais: as mitocôndrias e os cloroplastos. Essas organelas, únicas entre todos os componentes da célula eucarionte, têm característica de se auto-replicarem e possuem seu próprio material genético. Por essas razões, a teoria mais aceita sobre a origem das organelas entende que as mitocôndrias e os cloroplastos eram bactérias que, através da fagocitose, foram ingeridas mas não

digeridas.

Uma vez no interior da célula, uma relação simbiótica estabeleceu-se entre esses organismos e foi tão vantajosa para ambas as partes que, atualmente, a célula não sobrevive sem mitocôndrias e vice-versa. Enquanto a célula hospedeira protege a mitocôndria e provê todo o aparato celular para sua replicação, a mitocôndria é a responsável por boa parte da captação de energia da célula.

Alguns eucariontes atuais não possuem mitocôndrias em seu interior. Desse modo, a invasão das bactérias que originaram as mitocôndrias ocorreu depois de formada a linhagem dos eucariontes. Os eucariontes sem mitocôndria são confinados a locais com lama ou como endossimbiontes de insetos, ou seja, com pouco ou nenhum oxigênio. Foi apenas com a aquisição das bactérias que respiravam oxigênio que o mundo aeróbico se abriu aos eucariontes. Realmente, seqüências de genes ribossomais mostram uma proximidade evolutiva das mitocôndrias com as bactérias roxas e dos cloroplastos com as cianobactérias.

Todas as plantas, os fungos e os animais possuem mitocôndrias em seu interior. Entretanto, apenas algas e plantas possuem cloroplastos. Portanto, as mitocôndrias já estavam presentes nas células quando a bactéria que deu origem aos plastídeos as invadiu. A origem do cloroplasto poderia ter seguido o seguinte esquema: imagine um mundo procarionte, onde os procariontes sobrevivem das mais diversas formas. Alguns absorvem a comida diretamente do ambiente, outros fazem fotossíntese, enquanto outros ainda se alimentam de outros procariontes.

Suponha que uma cianobactéria foi ingerida por um procarionte maior. Imagine agora que ele foi ingerido mas não foi digerido por enzimas lisossomais. A cianobactéria está capturada no maior e consegue sobreviver tempo suficiente para se reproduzir. Foi assim que o primeiro cloroplasto pode ter aparecido.

Texto base 9

RECOMBINANDO A VARIABILIDADE: SEGREGAÇÃO INDEPENDENTE, PERMUTAÇÃO E TRANSMISSÃO HORIZONTAL DE GENES

Além das mutações, vamos tratar agora de duas outras fontes de variabilidade genética que são costumeiramente trabalhadas no Ensino Médio: a segregação independente e a permutação (*crossing-over*).

É importante frisar para os alunos que a mutação é a fonte primária de variabilidade; a segregação independente e a permutação são fontes secundárias, visto que esses eventos apenas recombina a variedade de alelos gerada por mutação.

Professor, professora, não se esqueça de também lembrar a eles que permutação e segregação independente são fontes de variabilidade genética que ocorrem exclusivamente entre os seres vivos que fazem meiose. Em outras palavras: não ocorrem em procariontes e em eucariontes que não realizam reprodução sexuada.

A segregação independente ocorre sempre que uma espécie possui mais de um par de cromossomos homólogos e muitas células da linhagem germinativa realizam meiose. Essas duas condições são atendidas por quase todas as espécies eucariontes. Até onde sabemos, apenas uma espécie de *Ascaris* – uma lombriga – possui um só par de homólogos. A posição relativa dos cromossomos homólogos no plano equatorial da célula durante a meiose I pode variar entre duas células germinativas que sofrem meiose. Veja a Figura 1.



Cientistas sequenciam o genoma do esperma humano.

Pesquisadores americanos realizam o sequenciamento de 91 espermatozoides do mesmo indivíduo.

GENOMA do esperma humano. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia/2012/07/19/interna_tecnologia,306916/cientistas-sequenciam-o-genoma-do-esperma-humano.shtml. Acesso em 14 de agosto de 2018.

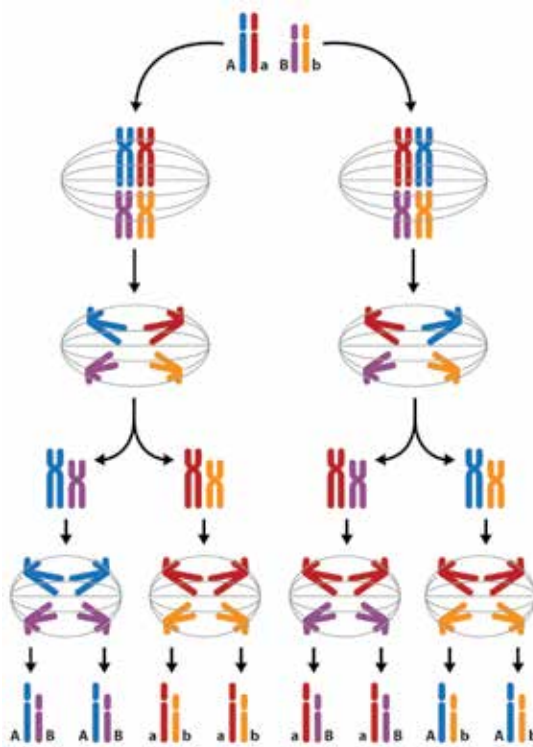


Figura 1: Uma célula diploide ($2n = 4$), sofrendo meiose.

O que vemos na Figura 1? A célula mais ao alto representa uma espécie hipotética que possui dois pares de cromossomos homólogos. Em cada par de homólogos estão identificados dois alelos distintos: **A** e **a**; **B** e **b**.

No entanto, a posição relativa dos homólogos no plano equatorial (metafásico) pode variar quando se considera mais de uma célula germinativa de um mesmo organismo em meiose. É o que acontece com as células logo abaixo, na figura. À esquerda, os cromossomos que levam genes **A** e **B**, agora duplicados, se encontram no mesmo lado do plano metafásico e seus respectivos homólogos, carregando genes **a** e **b**, estão do outro. Após a separação dos homólogos na meiose I e a separação das cromátides na meiose II, obtemos quatro gametas iguais dois a dois em termos genéticos: **AB** e **ab**. Mas como esse organismo tem mais de uma célula germinativa sofrendo meiose, a posição dos homólogos pode ser outra. É o que se vê na figura à direita. Nessa célula germinativa, os cromossomos levando genes **A** e **b**, agora duplicados, encontram-se do mesmo lado, em oposição aos seus respectivos homólogos que levam os genes **a** e **B**. Concluídas as meioses I e II, são gerados outros dois tipos de

gametas: dois com genes **A** e **b** e outros dois com genes **a** e **B**.

Sem os alelos diferentes, as recombinações gênicas feitas por segregação independente não formariam gametas novos. Por isso se diz que a segregação é uma fonte secundária de variabilidade e a mutação seria a fonte primária, pois ela está na origem dos diferentes alelos.

Quanto mais cromossomos uma espécie tem, maior o número de gametas diferentes que podem ser gerados por segregação independente. Esse número é dado pela fórmula $2n$, em que n é o número haploide de cromossomos da espécie. No caso da espécie humana, é possível gerar 223 gametas diferentes por segregação independente, ou seja, mais de oito milhões.

Portanto, a segregação independente é responsável pela formação de muitos gametas diferentes. Essa variabilidade é também uma das causas da variabilidade genotípica entre indivíduos de uma população, a matéria-prima da evolução e, portanto, de novas espécies de eucariotos.

Vamos agora analisar nossa segunda fonte de variabilidade secundária. A permutação é a troca de fragmentos de cromossomos homólogos entre cromátides não irmãs durante a meiose. Veja a Figura 2.

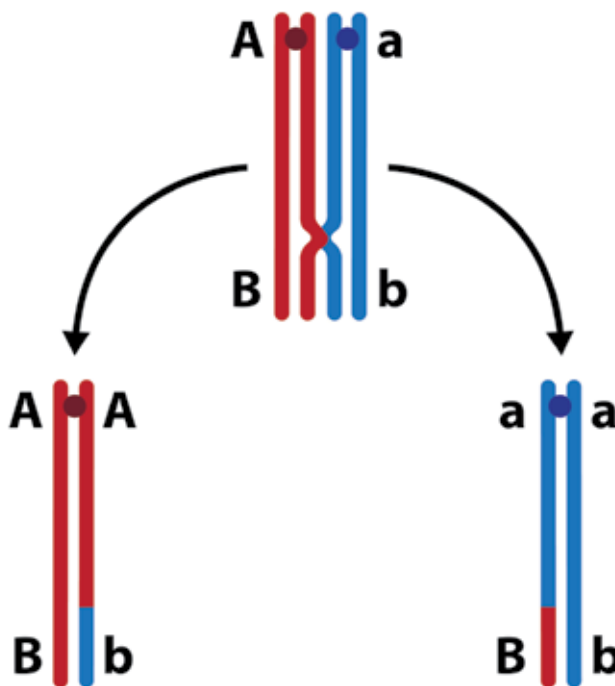


Figura 2: Um par de cromossomos homólogos realizando permutação

Repare que, sem identificar alelos diferentes, não fica claro que a permutação produz gametas distintos. Observe que, na ausência de permutação, os gametas gerados na Figura 2 seriam apenas de dois tipos: dois gametas, cada um com genes A e B e os dois outros com genes a e b. Havendo permutação, passamos a ter quatro tipos de gameta: um com genes A e B, outro com a e b, um terceiro com a e B e, por último, um com genes A e b.

Da mesma forma que a segregação independente, a permutação apenas recombina alelos diferentes. Se eles fossem idênticos, mesmo havendo permutação, os gametas não apresentariam variabilidade genética; consequentemente, a permutação não incrementaria a diversidade biológica em nenhum dos níveis.

No entanto, além da segregação independente e da permutação, não podemos deixar de mencionar outra fonte de variabilidade genética não comentada nos livros didáticos: a transmissão horizontal de genes (THG), comum entre microrganismos, mas também observada em plantas e animais. THG significa que fragmentos de material genético podem ser passados entre organismos de uma mesma geração – e não entre gerações. A transmissão de genes de progenitores para sua descendência é conhecida por transmissão vertical de genes.

Há três formas bem conhecidas de THG, todas envolvendo bactérias:

- **Conjugação**, quando fragmentos de material genético são transferidos de uma bactéria a outra através dos pelos sexuais;
- **Transformação**, quando os fragmentos são transferidos diretamente do ambiente;
- **Transdução**, quando a transferência se dá via vírus.

Tais processos podem explicar, por exemplo, a rápida disseminação de genes que conferem resistência a antibióticos.

Sobre esses casos de THG, gostaríamos de fazer duas observações. Em alguns livros didáticos, eles são apresentados como formas de reprodução sexuada. Consideramos isso uma pequena impropriedade. Você concorda conosco? Por que não é adequado considerar a conjugação, a transdução e a transformação como casos de reprodução sexuada? Porque não há produção de novos indivíduos. Ocorre simplesmente uma troca de material genético.

A segunda observação refere-se aos registros, cada vez mais frequentes, de THG entre espécies diferentes, muitas delas filogeneticamente

distantes entre si. Alguns desses processos estão bem descritos. Um deles é o caso dos genes da bactéria *Wolbachia pipientis* que são transmitidos para diferentes animais. Essa bactéria parasita os gametas em desenvolvimento de cerca de 20% das espécies de insetos, além de alguns nematódeos. A transmissão dessa bactéria (da célula inteira) ocorre apenas pela linhagem materna dos hospedeiros, porque os hospedeiros machos não sobrevivem à infecção ou tornam-se fêmeas estéreis.

No entanto, alguns genes de *Wolbachia* têm sido encontrados em machos de diversas espécies animais, sugerindo que essas informações podem ter sido integradas ao DNA do hospedeiro. No caso de THG de *Wolbachia* para *Drosophila ananassae*, cerca de 2% dos genes transferidos são transcritos numa taxa comparativamente baixa. Suspeita-se, até o momento, que pelo menos oito espécies – incluindo moscas, mosquitos, vespas e um nematódeo – podem carregar em seus genomas traços do DNA de *Wolbachia*.

Um caso interessante é o de THG entre fungos e alguns afídeos (conhecidos também como pulgões). Animais não têm capacidade de produzir carotenoides, pigmentos solúveis em gordura de coloração vermelha, laranja, amarela ou marrom. Esse composto precisa ser adquirido pela dieta. No entanto, na espécie de afídeo de ervilha (*Acyrtosiphon pisum*) há um poliformismo de cor: uma variedade verde e outra alaranjada.



Figura 3: Pulgões alimentando-se da seiva de uma planta

Disponível em: <Fonte: http://www.sxc.hu/pic/m/r/rg/rgrabe/1011796_.jpg>. Acesso em 14 ago. 2018.

A forma alaranjada apresenta dois tipos de carotenoides ausentes na forma verde. Tais carotenoides não estão presentes na seiva da qual se alimentam os afídeos; portanto, a hipótese de origem na dieta deve ser descartada. Uma análise filogenética sugere que os genes responsáveis pela tradução de duas das enzimas que catalisam a produção desses carotenoides a partir dos tipos mais comuns dessa molécula foram transferidos no passado por um fungo para os ancestrais dos afídeos. Especula-se que esse fungo poderia ter contaminado os afídeos pela alimentação, ou seja, o fungo estaria presente na seiva das plantas usadas pelos afídeos como alimento. A forma verde teria perdido essas informações.

Não apenas as bactérias têm um importante papel na constituição do genoma de animais e plantas; os vírus também são fundamentais. Estima-se que 8,3% do genoma humano sejam formados por fragmentos de DNA de origem viral. Isso não é pouco, se considerarmos que apenas 4 a 5% de nosso genoma são funcionais. Mas esses genes de origem viral são relevantes para nossa vida? Tudo indica que sim. Por exemplo: a proteína sincicina, envolvida na formação de parte da placenta e na supressão imunológica do organismo materno que evita a rejeição do feto, é traduzida por um gene viral. Em outras palavras, o sucesso dos mamíferos placentários pode ser decorrente de uma infecção viral que teria ocorrido entre 90 a 60 milhões de anos atrás!

Podemos então parar um pouco e pensar: em quais células desses ancestrais de mamíferos deve ter ocorrido a infecção viral responsável pela introdução do gene da sincicina? Deve ter ocorrido nos gametas; caso contrário esses genes não teriam se propagado para as gerações seguintes.



Roteiro de ação 6

Informações básicas:

Duração prevista:	100 minutos
Área de conhecimento:	Biologia
Assuntos:	Especiação
Objetivos:	Reconhecer a diversidade biológica como resultado de processos de especiação e extinção, bem como das interações dos seres vivos entre si e com o ambiente.
Pré-requisitos:	Conceito biológico de espécie
Regras do jogo:	<p>Um tabuleiro (ver modelo. Pode ser impresso do roteiro de ação)</p> <p>Uma tabela de anotações para o coordenador do grupo (ver o modelo. Pode ser impresso do roteiro de ação).</p> <p>Seis conjuntos de 3 peças. As três peças de cada conjunto são marcadas com um mesmo número. Usam-se os números de 1 a 6 (ver modelo. Pode ser impresso do roteiro de ação).</p> <p>Dois dados: um branco (populacional) e outro vermelho (especiação/extinção).</p>
Organização da classe:	Grupos de 4 a 6 alunos.
Descritores associados:	<p>H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.</p> <p>H16 – Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos ou na organização taxonômica dos seres vivos.</p> <p>H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação, usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.</p>

Tentilhões de Darwin é um jogo de tabuleiro cujo objetivo é auxiliar o ensino-aprendizagem dos conteúdos de extinção e especiação, e a influência desses fenômenos na diversidade de espécies. Utilizam-se materiais de baixo custo, que estão disponíveis neste roteiro de ação. Se você preferir, pode construí-lo com seus alunos.

Este roteiro de ação foi adaptado do “Jogo Galápagos: a extinção e a irradiação de espécies na construção da diversidade biológica”, disponível em http://docs.wixstatic.com/ugd/b703be_c91a4d7c23474e5c8216c5c2e7e08ed5.pdf

O tabuleiro é composto de uma figura da Grande Ilha e seis ilhas satélites menores ao seu redor, colada em uma cartolina para ficar rígida. Alternativamente, você pode fabricar essa figura com seus alunos e, se quiser, pode montar com massa de modelar o grande vulcão.

Cada grupo precisa ter, além do seu tabuleiro, 18 peças formadas por 3 conjuntos numerados de 1 a 6 e também dois dados, um branco e outro vermelho, conforme o anexo 2.

Cada conjunto de peças com o mesmo número corresponde a uma subpopulação da espécie de tentilhão da Grande Ilha. Elas se diferenciam pelo formato e tamanho do bico. Você pode imprimir e recortar as peças e o tabuleiro. Para ficarem mais rígidos as peças e o tabuleiro podem ser colados a uma cartolina.

Antes de começar o jogo, mostre aos alunos que cada subpopulação de tentilhões difere uma da outra por pequenas variações no formato do bico e que este permite que os tentilhões alimentem-se preferencialmente de um tipo de semente. Alerta os alunos que inicialmente há uma grande disponibilidade de alimento na Grande Ilha. Como a população de tentilhões cresce em um ritmo mais acelerado que a produção de alimentos, haverá escassez de recursos, o que obrigará os indivíduos a migrarem para as ilhas satélites desabitadas. Essas, por serem menores, possuem apenas um tipo de recurso alimentar em cada uma delas.

COMO O JOGO FUNCIONA:

1. Antes do jogo. Dividir a turma em grupos de 4 a 6 alunos por tabuleiro. O mais importante é que todos os grupos da turma tenham o mesmo número de jogadores. Escolha um coordenador para cada grupo. Ele não joga os dados. Suas tarefas são: orientar os jogadores quanto às regras, registrar na tabela os números das jogadas, verificar e regis-

trar, quando há especiação ou extinção.



Figura 1: Tabuleiro do jogo “Tentilhões de Darwin”.

Jogadores						
1ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
2ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
3ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
4ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
5ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
6ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
7ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
8ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
9ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()
10ª rodada	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()	Dado Extinção () Especiação ()

O jogo terá início com todas as 18 peças fora do tabuleiro. Repare que na Grande Ilha já se encontram as seis subpopulações de tentilhões ilustradas. As demais ilhas satélites estão desabitadas.

2. Rodadas. Em uma rodada, cada jogador lança o dado branco uma vez. O número que sai corresponde a um tipo de subpopulação de tentilhão. A peça correspondente é colocada sobre a Grande Ilha. Isso significa crescimento daquela subpopulação. O coordenador de cada grupo registra o número sorteado na tabela.

- Quando for sorteado pela terceira vez o mesmo número, por qualquer jogador, significa que a subpopulação daquele tipo de tentilhão atingiu a capacidade de suporte do ambiente. Em seguida, deve-se jogar o dado vermelho da especiação/extinção e migrar para a ilha satélite correspondente ao número sorteado. Duas situações, então, são possíveis:
- Se sair o mesmo número da subpopulação do tentilhão que migrou, a colonização foi bem sucedida, porque encontrou na ilha satélite o alimento correspondente ao seu bico. Há especiação. A peça dessa subpopulação permanecerá na ilha satélite. Ficam apenas duas peças da subpopulação na Grande Ilha.
- Se sair um número diferente, significa que o tentilhão migrou para uma ilha satélite onde não há alimento adequado ao seu tipo de bico. Logo, a colonização foi mal sucedida e a peça da subpopulação colocada na ilha satélite sorteadas é retirada do tabuleiro. Há extinção local. Ficam apenas duas da subpopulação na Grande Ilha e nenhuma na ilha satélite. A peça retirada poderá voltar à Grande Ilha, quando algum jogador sortear novamente o seu número.

Nas próximas rodadas, toda vez que um jogador sortear o número da subpopulação que tenha formado uma nova espécie em uma rodada anterior, ele perde a jogada e passa o dado para o próximo jogador.

Os resultados de cada rodada, aumento das populações, extinção e especiação, deverão ser marcados pelo coordenador na tabela.

3. Fim do jogo: na 10ª rodada, o vulcão entrará em erupção e extinguirá todas as subpopulações de tentilhões da Grande Ilha. Só sobreviverão as novas espécies formadas nas ilhas satélites. Compare o resultado dos grupos. É fundamental fazer um levantamento de quais subpopulações conseguiram formar novas espécies em cada grupo e compará-lo com a turma. O grupo vencedor será aquele que tiver formado o maior número de espécies de tentilhão.

Destaque a importância do lançamento do dado durante o jogo. Ele representa o evento mais ou menos aleatório que envolve a colonização, por parte das subpopulações, da ilha que tenha o recurso alimentar que sirva para aquele tipo de tentilhão em questão. Assim, apenas as espécies que apresentarem o formato do bico adaptado ao tipo de alimento disponível na ilha satélite são capazes de explorá-lo e terão sucesso no novo ambiente. A colonização desses novos ambientes e o isolamento geográfico permitirão que as subpopulações formem novas espécies, simulando o processo de especiação alopátrica.

A discussão do significado de cada etapa do jogo é importante para que os eventos evolutivos e as nuances ecológicas sejam compreendidos.

Ao final da atividade, você pode trabalhar algumas questões para discussão ou utilizá-las como atividade de casa:

A) Qual o motivo que levou os tentilhões a migrarem para outras ilhas?

B) O que pode acontecer com uma população que cresce, além da quantidade de alimento que a ilha oferece?

C) Que características os tentilhões possuem que ajudam a migrar para as outras ilhas?

D) Que condição é fundamental para o sucesso de uma espécie de tentilhão em determinada ilha?

E) Devido ao isolamento entre as ilhas satélites e a Grande Ilha, os indivíduos de uma população na ilha satélite acumulam diferenças em relação àqueles que ficaram na Grande Ilha. Essas diferenças podem transformar essa população da ilha satélite em uma nova espécie. Que fator é fundamental para que a especiação ocorra?

F) Por que os resultados dos grupos podem ser tão diferentes?

G) A partir do jogo, é possível concluir quais as relações entre os processos de extinção e especiação na manutenção da diversidade biológica?

RESPOSTA COMENTADA

a. A escassez de comida.

b. Quando a comida acaba, os indivíduos tendem a morrer, progressivamente. Se a renovação da comida for muito demorada todos podem morrer. Se ela for rápida, alguns sobrevivem. Nessas situações de estresse, alguns

indivíduos migram na tentativa de colonizar novos locais.

c. Eles voam.

d. O formato do bico deve permitir que o tentilhão coma o alimento disponível na ilha.

e. Deve ocorrer o isolamento reprodutivo. Algumas diferenças acumuladas podem impedir que a subpopulação da ilha satélite cruze e gere prole fértil com os indivíduos da Grande Ilha. Isso caracteriza a formação de uma nova espécie.

f. Provavelmente, os resultados dos grupos não serão iguais porque os eventos de migração para ilha correta e posterior especiação no jogo se deve ao acaso (lançamento dos dados). Portanto, cada tabuleiro poderá apresentar uma constituição de espécies diferente.

g. Sim, na natureza a interação entre os processos de extinção e especiação é fundamental para a manutenção da diversidade biológica. A todo o momento, as espécies estão sofrendo pressões seletivas. No caso do jogo, foi a escassez de alimento que levou as subpopulações a migrarem. Porém muitas dessas tentativas não foram bem sucedidas, levando aquelas subpopulações à extinção. O jogo mostra um número de extinções maior que o de especiações (isso é devido à maior probabilidade, 5 para 1, respectivamente). Esse fato também ocorre na natureza. O número de espécies do planeta varia porque novas espécies são formadas e outras

JOGO TENTILHÕES DE DARWIN

A atividade de hoje é um jogo de tabuleiro que tenta simular dois eventos evolutivos fundamentais para compreender por que o número de espécies pode variar ao longo do tempo. São eles: a especiação, ou seja, como podem se formar novas espécies a partir de uma ancestral e a extinção. O número de espécies do planeta varia porque novas espécies são formadas e outras extintas. Neste jogo, vamos utilizar para entender melhor este processo o exemplo de pássaros normalmente pequenos e

de bico forte: os tentilhões. A observação da distribuição dessas espécies nas ilhas Galápagos no Oceano Pacífico ajudou Darwin a elaborar a teoria da evolução por seleção natural no século XIX.

Vocês deverão formar grupos de 4 a 6 alunos e, dentre esses, escolher 1 coordenador para o grupo. O coordenador não joga os dados, suas tarefas são: orientar os jogadores quanto às regras, registrar na tabela os números das jogadas, registrar, quando há especiação ou extinção.

Cada grupo recebe:

- 1 tabuleiro
- 1 tabela
- 18 peças
- 2 dados.

Observem que no tabuleiro existe uma Grande Ilha com um vulcão onde vive uma espécie de tentilhão. Como em qualquer espécie, existem diferenças entre os indivíduos, formando subpopulações. Repare que cada subpopulação de tentilhões, representada na Grande Ilha, difere uma da outra por pequenas variações no formato do bico, o que permite que os tentilhões alimentem-se preferencialmente de um tipo semente. Ao redor da Grande Ilha estão seis ilhas satélite desabitadas.

Na Grande Ilha, há alimentos em quantidades limitadas para todos os tipos de subpopulação. Nas ilhas satélite, há apenas alimentos específicos para cada uma das subpopulações. Por exemplo, na ilha 1, só há alimento para a subpopulação 1.

JOGANDO

O jogo terá início com todas as peças fora do tabuleiro. Cada jogador joga o dado branco. Após a jogada, o coordenador deverá marcar na tabela o número sorteado e colocar a peça correspondente na Grande Ilha. Isso significa o crescimento da subpopulação.



Exemplo:

Jogadores	<i>Bia</i>	
1ª rodada	Dado 2	Extinção () Especiação ()

Bia tirou 2 na 1ª rodada.

Quando for sorteado pela terceira vez o mesmo número, por qualquer jogador do grupo, a subpopulação daquele tipo de tentilhão tenta migrar para a ilha satélite correta, ou seja, aquela que tem o número correspondente a da subpopulação.

Portanto, em seguida, deve-se jogar o dado da especiação/extinção, o dado vermelho.

- Se sair o mesmo número da subpopulação do tentilhão que migrou, a colonização foi bem sucedida porque encontrou na ilha o alimento correspondente ao seu bico. Há especiação. A peça dessa subpopulação permanecerá na ilha satélite.



Ficam apenas duas peças da subpopulação na Grande Ilha.

Exemplo: Se Jean tirou 2 na sexta rodada. A subpopulação 2 ficou com três peças e teve que migrar. Jean lançou o dado vermelho e tirou 2 novamente. A colonização foi bem sucedida, porque encontrou na ilha o alimento correspondente ao seu bico. A subpopulação especiou!

Jogadores	<i>Jean</i>
6ª rodada	Dado <div style="border: 1px solid green; padding: 2px; display: inline-block;">2</div> Extinção () Especiação (X)

- Se, no entanto, sair um número diferente, significa que o tentilhão migrou para uma ilha onde não há alimento adequado ao seu tipo de bico. Logo, a colonização foi mal sucedida e a peça da subpopulação colocada na ilha satélite sorteada é retirada do tabuleiro. Há extinção local. Ficam apenas duas peças da subpopulação na Grande Ilha e nenhuma na ilha satélite. A peça retirada poderá voltar à Grande Ilha quando algum jogador sortear novamente o seu número.



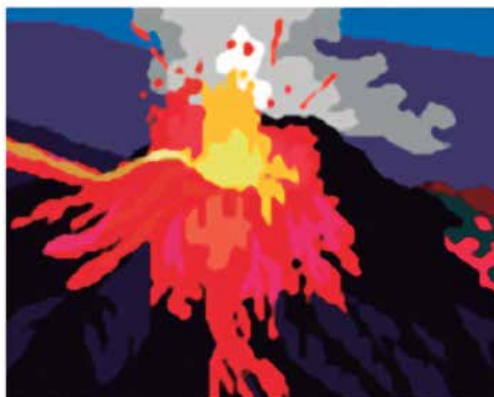
Exemplo: Jean lançou o dado vermelho e tirou 4. A colonização foi mal sucedida, porque não encontrou na ilha o alimento correspondente ao seu bico. A subpopulação extinguiu!

Jogadores	<i>Jean</i>
6ª rodada	Dado 4 Extinção (X) Especiação ()

Nas próximas rodadas, toda vez que um jogador retirar o número da subpopulação que tenha formado uma nova espécie em uma rodada anterior, ele perde a jogada e passa o dado para o próximo jogador.

Os resultados de cada rodada, aumento das populações, extinção e especiação, deverão ser marcados pelo coordenador na tabela.

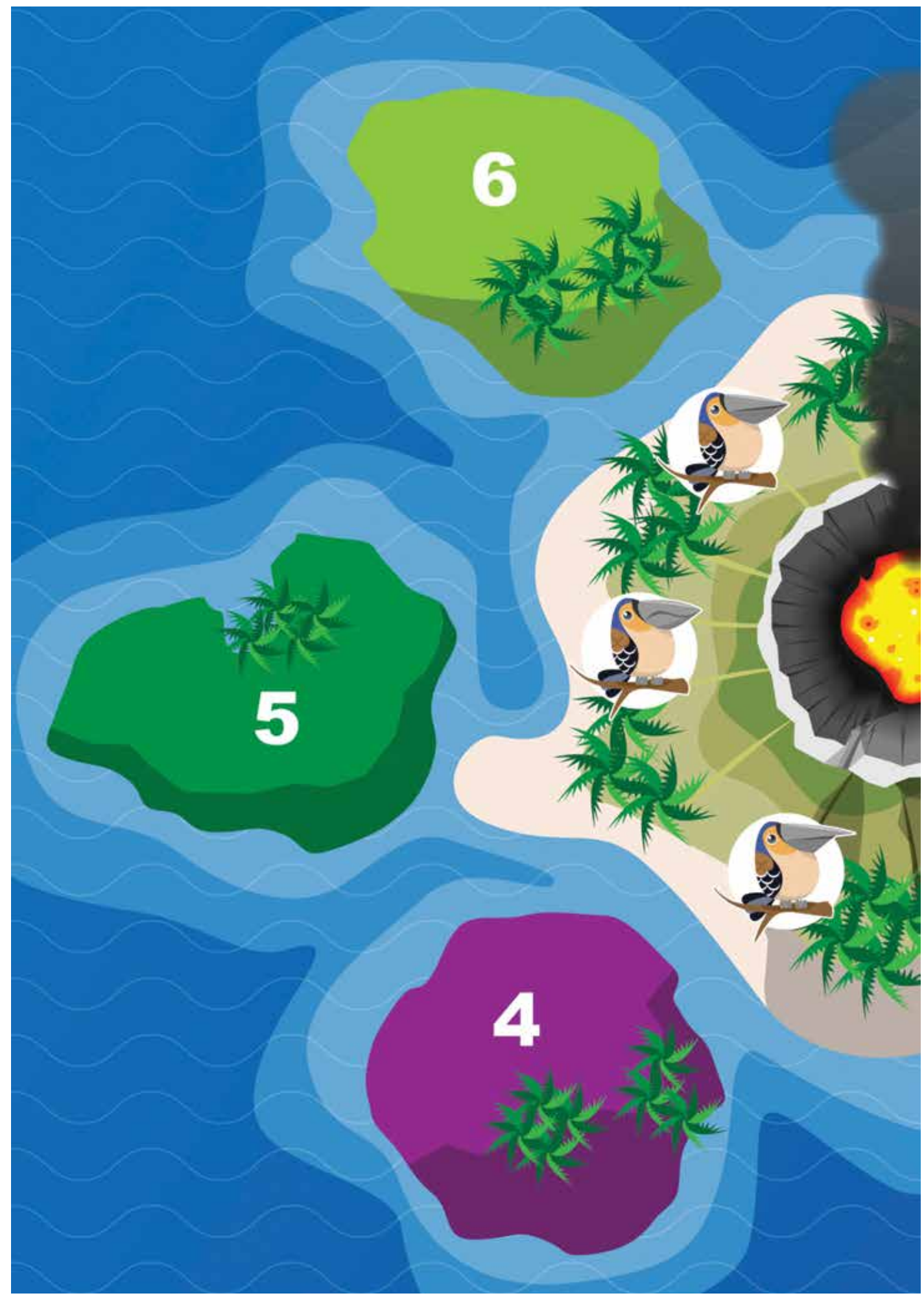
Fim do jogo: na 10ª rodada, o vulcão entrará em erupção e extinguirá todas as subpopulações de tentilhões da Grande Ilha. Só sobreviverão as novas espécies, formadas nas ilhas satélite ao redor.

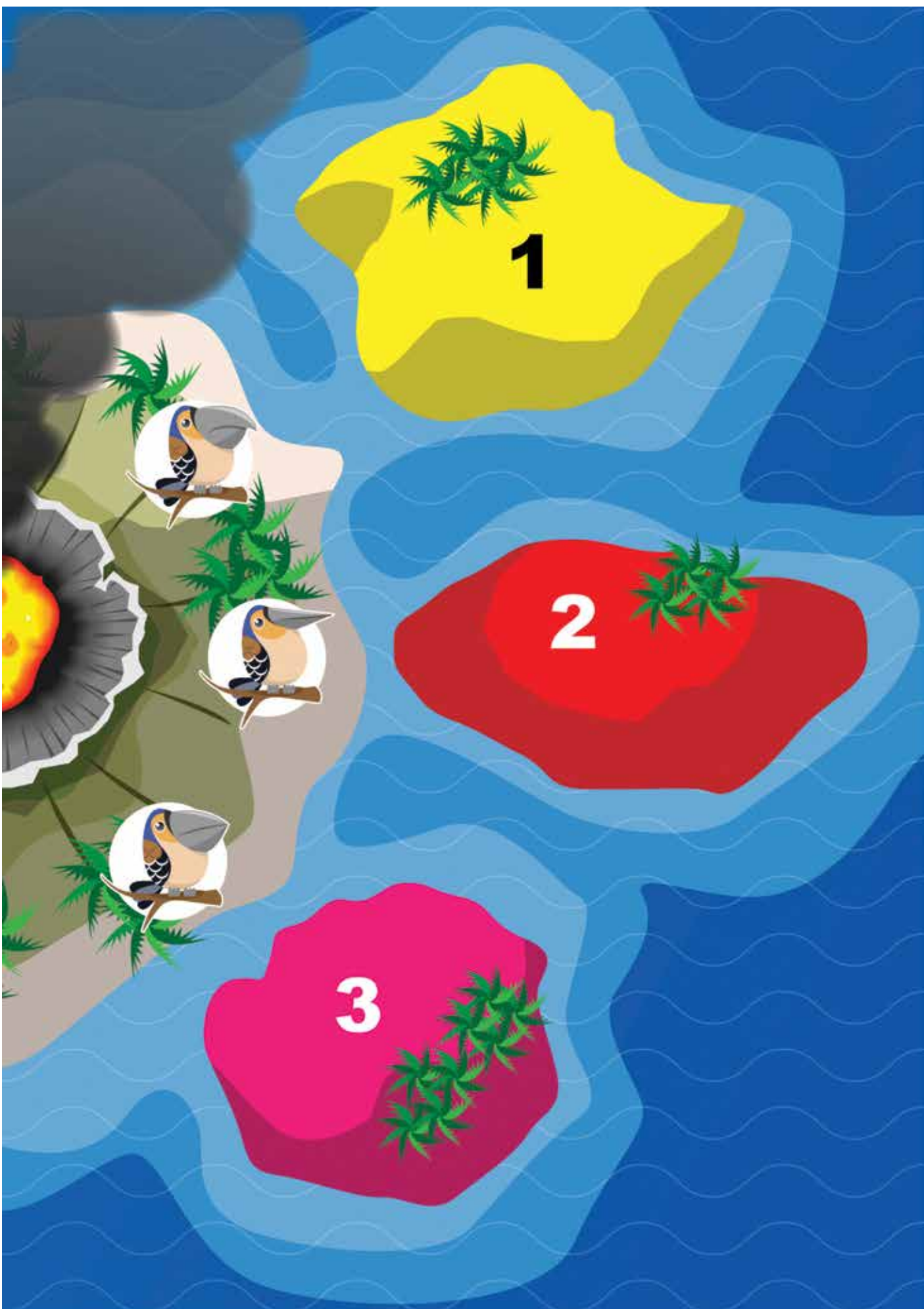


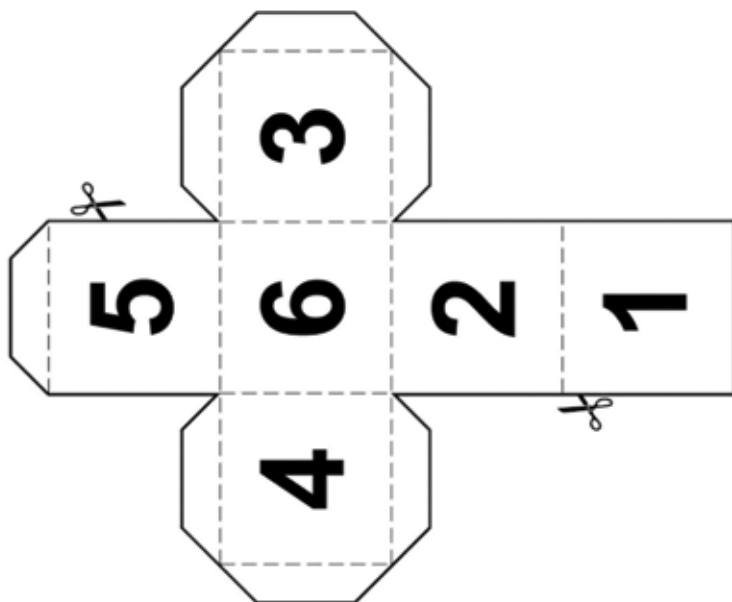
Compare o resultado dos grupos. O grupo vencedor será aquele que tiver formado o maior número de novas espécies de tentilhão.

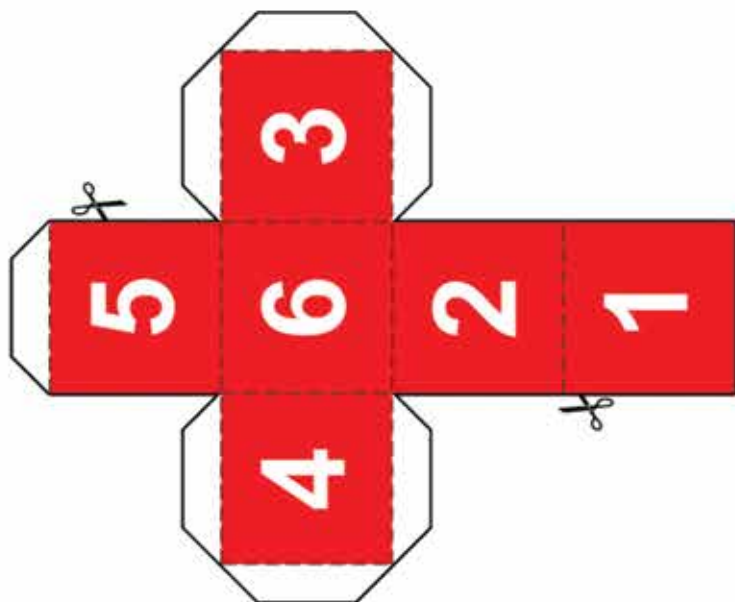
Boa sorte!

[illegible][illegible]











Roteiro de ação 7

Informações básicas:

Duração prevista:	60 minutos
Assuntos:	Biodiversidade
Descrição sucinta:	A proposta é uma atividade de campo, cujo objetivo é reconhecer a biodiversidade como resultado da variedade de ambientes e interações entre os seres vivos, além de proporcionar ao aluno a possibilidade de observação e coleta de dados.
Organização da classe:	Grupos de 7 a 10 alunos.

Medindo a biodiversidade você mesmo

Esta atividade consiste na realização de um trabalho de campo em uma região de Mata Atlântica, próxima à escola (Reserva, Parque ou qualquer fragmento de floresta), com o objetivo de analisar:

- as diferenças na composição e abundância de espécies em duas áreas distintas (com e sem interferência antrópica, por exemplo);
- fatores que influenciam a distribuição das espécies e as interações entre elas.

Para tal, aplicaremos uma técnica muito simples: de quadrats, também conhecida como método dos quadrados, comumente utilizada em estudos ecológicos. Esta técnica consiste na contagem do número de indivíduos encontrados em quadrados com área conhecida.

Antes de ir ao campo, sugerimos dividir a turma em quatro grupos. Dois grupos para cada tipo de área (com e sem interferência antrópica). Não se esqueça de utilizar roupas e calçados confortáveis. Leve também um boné ou chapéu, protetor solar e repelente, água e lanche.

Roteiro do trabalho de campo para cada grupo de alunos:

a) Definir as atribuições de cada membro do grupo: montagem do quadrat, triagem (identificação e contagem dos indivíduos) e registro

das informações.

b) Selecionar as áreas para formação dos quadrats. Montar quadrats de 2m x 2m, utilizando-se 8 metros de barbantes fixados no solo com a ajuda de pequenas estacas (áreas de 4m²). Discutir e definir com os grupos a quantidade de quadrats necessários para a coleta de dados.

c) Verificar a cobertura por dossel, isto é, a camada superior da vegetação de uma floresta (copa das árvores), na área do quadrat e a incidência de luz solar (a copa das árvores forma sombra nas áreas amostradas?).

d) Verificar a umidade do solo. Isso pode ser feito de forma qualitativa através de observação direta ou tocando o solo, sem necessidade de equipamentos.

e) Registrar na tabela 1 (disponibilizada mais a frente) as espécies vegetais (gramíneas, arbustos, árvores).

f) Registrar na tabela 1 a presença de animais e suas interações (com vegetais e outros animais).

g) Registrar na tabela 1 os vestígios de animais: pegadas, fezes, ovos, teias, ninhos, restos alimentares.

É importante orientar os alunos a realizar as amostragens em áreas distintas, onde seja fácil caracterizar as diferenças de solo, a temperatura, a umidade etc. Durante as amostragens, você pode incentivar que eles façam o registro fotográfico das ações desenvolvidas (Ex.: montagem dos quadrats, seres observados, etc.). Essas fotos poderão ser utilizadas na apresentação da metodologia e dos resultados.

Anote na Tabela 1 o número de indivíduos que encontrar entre os organismos listados. Se você encontrar algum outro organismo que não esteja listado, aproveite as linhas em branco para fazê-lo.

Tabela 1: Registro da biodiversidade

Vegetais	No. de indivíduos	Interações	Animais	No. de indivíduos	Interações
Musgos			Formigas		
Samambaias			Aranhas		
Gramíneas			Minhocas		
Arbustos			Baratas		
Árvores			Gongolos		
			Lagartas		
			Besouros		
			Borboletas		
			Pássaros		
Vestígios (pegadas, fezes, ovos, teias, ninhos, restos de alimentos)					

Observação: É provável que os alunos tenham dificuldades na observação e identificação dos grandes grupos de plantas e animais. Assim, sua ajuda e orientação serão fundamentais. Aproveite esse momento para estimular a observação e ajude-os com a identificação.

O que fazer com os dados coletados?

Depois de coletar os dados, o trabalho de campo acaba, mas a atividade não termina. É hora de organizá-los, analisar e tirar suas conclusões. Para organizar os dados, sugerimos o uso de gráficos que podem ser feitos no Excel. Caso a escola não possua laboratório de informática e/ou projetor de slides, os alunos poderão montar os gráficos mais simples, utilizando folhas de papel milimetrado e apresentá-los, utilizando cartazes. Se por algum motivo, isso também não for possível, vocês poderão simplesmente comparar os resultados registrados nas tabelas e criar hipóteses para explicar as diferenças entre os dois lugares visitados.

No caso do uso do computador, você deverá tabular os dados (organização dos dados em planilhas do Excel ou BrOffice). Abra o programa e monte uma tabela como a da Figura 1.

Espécies	Nr de Indivíduos
Musgos	8
Samambaias	6
Arbustos	5
Árvores	2
Formigas	282
Aranhas	6
Minhocas	16
Baratas	8
Gongolos	9
Lagartas	7
Besouros	5
Borboletas	6
Pássaros	2
Vestígios	5

Figura 1: Modelo de planilha (Excel) contendo a lista das espécies e a quantidade de indivíduos.

Depois de montar a tabela, faça um gráfico como o da Figura 2. O gráfico facilitará a visualização dos resultados obtidos.



Figura 2: Modelo de Gráfico para ser montado a partir das informações coletadas e dispostas na planilha eletrônica.

Se houver orientador tecnológico em sua escola, você pode convidá-lo a participar desta etapa da atividade. Seus conhecimentos serão importantes para auxiliar a turma na execução das tarefas no laboratório de informática.

Coletou, organizou e interpretou seus dados? Então agora é hora de apresentar os resultados!

Em sala de aula:

Apresentação dos dados obtidos por cada grupo (apresentação de slides ou cartazes). E depois a discussão final, com toda a turma, para verificação das diferenças entre os ambientes amostrados.

A partir da apresentação dos dados obtidos pelos grupos nas diferentes áreas, você pode mediar uma discussão a partir das seguintes questões norteadoras:

Quantas espécies foram encontradas em cada área amostrada?

Quanto indivíduos de cada espécie?

Como explicar as diferenças nos valores de riqueza (número de espécies) e abundância (número de indivíduos) registrados em cada ambiente?

Quais fatores influenciam a distribuição e diversidade de espécies nos ambientes analisados?



Comentários para o professor

Professor, como sabemos, o sucesso de um trabalho de campo exige um planejamento. Por isso, recomendamos que você faça uma visita prévia aos locais onde serão realizadas as amostragens, identifique possíveis dificuldades (acesso, viabilidade da atividade na área etc.). Converse com seus alunos sobre a importância da atividade, os objetivos e a metodologia utilizada. Oriente-os quanto ao comportamento e a maneira como deverão proceder em campo, a fim de evitar acidentes e outros imprevistos. Além disso, esta atividade pode ser um bom instrumento de avaliação da turma. Considere a participação dos alunos em cada etapa da atividade, a maneira como se organizam e dividem as tarefas. Ao final de tudo você pode optar por uma apresentação das análises, como sugerimos acima ou um relatório realizado pelo grupo.

Texto base 10

ORIGEM DA CÉLULA EUKARIONTE

Rituais complexos de acasalamento, diferentes formas de comunicação, estratégias de sobrevivência das mais inusitadas estão entre as maravilhas da vida eucariótica que nos faz suspirar nos programas televisivos sobre a natureza. iremos abordar um pouco a diversidade dos eucariontes unicelulares (Figura 1).

É importante que fique claro para você que uma parte dos termos usados nesta aula de protoctistas não são mais usados em literatura científica, mas apenas em livros didáticos. O termo protozoário, que iremos ver como um grupo dos protoctistas, é um exemplo. Nestes casos, os grupos são divididos em seus subgrupos e não são referidos como grupos. Entretanto, como o curso de diversidade dos seres vivos é um curso introdutório à diversidade resolvemos adotar essa terminologia usada nos livros didáticos, com intuito de facilitarmos sua compreensão sobre a diversidade desse complexo grupo. Ao longo desta aula você deve descobrir o porquê do desuso desses termos.

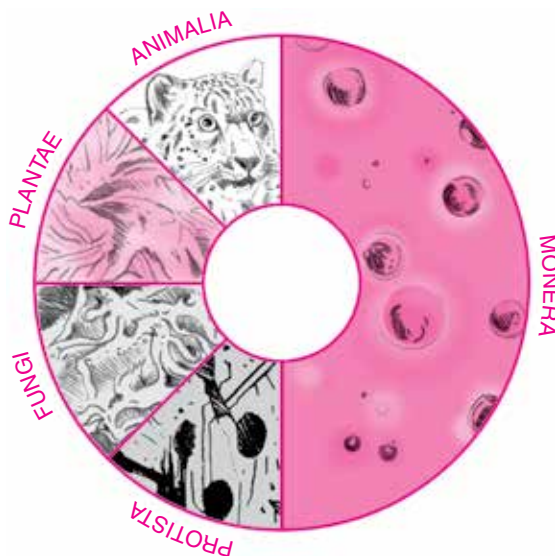


Figura 1: Classificação dos cinco reinos

Os procariontes são um sucesso evolutivo dentre os organismos vivos com suas diferentes formas de obtenção de energia, eles conseguem habitar os mais inóspitos ambientes no planeta. No entanto, o número de quatro mil espécies de procariontes descritas hoje em dia fica pequeno se compararmos com duas milhões de espécies de eucariontes já descritas pelos sistematistas.

Obviamente, esses números também refletem um viés na direção dos organismos mais visíveis a nossos olhos. Isso quer dizer que nós temos uma tendência de perceber melhor as diferenças nos organismos mais parecidos com nós mesmos. Ou seja, podemos ter uma idéia deturpada do número real de espécies dos dois grupos. De qualquer maneira, a diversidade de formas e organizações de corpo entre os eucariontes é impressionante. Dentre essas duas milhões de espécies existem grupos tão diversos como:

- Os protoctistas (100.000 espécies), organismos unicelulares, solitários ou coloniais, de vida livre ou parasitas, que se movimentam por meio de flagelos, cílios, pseudópodos etc.
- Os fungos (120.000 espécies), organismos multicelulares, em sua maioria.
- As plantas (280.000 espécies), organismos multicelulares, fotossintéticos, terrestres, marinhos ou de água doce.
- Os animais (2.000.000 espécies), organismos multicelulares, estruturalmente complexos e com uma diversidade impressionante. Esponjas, insetos, peixes e mamíferos fazem parte desse grupo extremamente diverso.

Os eucariontes provavelmente se originaram de um ancestral procarionte (que também deu origem às arqueas), por volta de 1,6 a 2,1 bilhões de anos. Os primeiros fósseis de eucariontes encontrados por paleontólogos são fósseis de protoctistas. Esses primeiros eucariontes com registro fóssil datam de pouco mais de um bilhão de anos. Hoje em dia, podemos distinguir cerca de 60 linhagens de eucariontes com base em sua organização celular. Uma dessas linhagens, os opistocontes, inclui espécies de animais e fungos. Outra linhagem, Viridiaeplantae, é formada pelas algas verdes e as plantas terrestres.

No entanto, a maior parte dessas linhagens de eucariontes é classificada tradicionalmente num grupo chamado de protoctistas, (Figura 2). Os três reinos de eucariontes multicelulares (plantas, animais e fungos) evoluíram de diferentes linhagens de protoctistas.

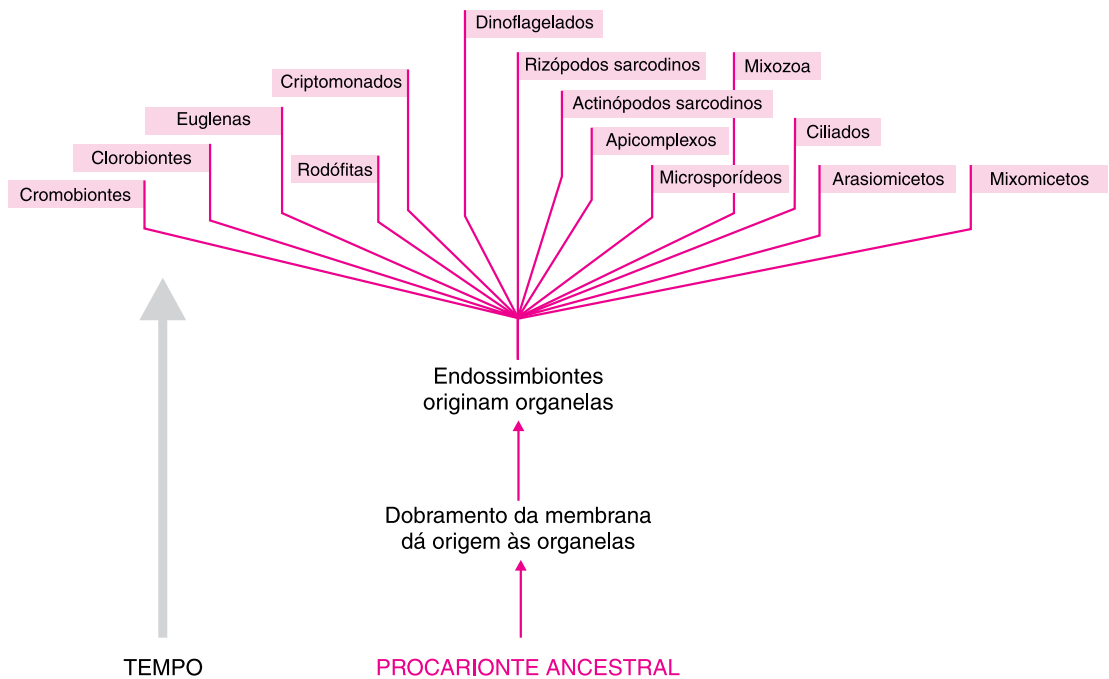


Figura 2: Filogenia das linhagens de protoctistas.

DIVERSIDADE DE PROTOCTISTAS

Este reino é o que chamamos, em sistemática, de “lata de lixo”. A razão é que este grupo é definido em grande parte por exclusões. A definição mais precisa de um protoctista é: todos os eucariontes que não são plantas, não são animais e não são fungos. O que sobra é um grande número de linhagens colocadas nesse reino. Isso acontece porque os reinos eucarióticos multicelulares se originaram a partir de ancestrais protoctistas. Assim, a dificuldade surge em onde traçar a linha divisória entre esses organismos unicelulares e os multicelulares. Podemos visualizar melhor esse problema quando tentamos determinar aspectos que poderiam caracterizar esse diverso grupo.

Por exemplo, **em termos de ambiente**. Os protoctistas podem ser aquáticos ou terrestres. A maior parte dos protoctistas é aquática, marinha ou de água doce. Algumas espécies habitam ainda fluidos no corpo de outros organismos, no solo ou no caule de algumas plantas em decomposição.

Em termos de metabolismo. Os protoctistas são altamente diversos em modos de metabolismo. Em termos de diversidade, eles só perdem

para as bactérias. Alguns são autotróficos, outros são heterotróficos de absorção e outros ainda heterotróficos de ingestão.

Em termos de modo de vida. Alguns protoctistas são de vida livre, ou seja, conseguem sobreviver no ambiente independentemente. Outras espécies têm necessidade de habitar corpos de outros organismos e são chamadas de parasitas.

Em termos de número de células. Os protoctistas são geralmente conhecidos como membros do único Reino eucariótico unicelular. Mas a maior parte dos livros especializados inclui os protoctistas coloniais, como os coanoflagelados, dentro do Reino Protoctista.

Em termos de mobilidade. Um único filo de protoctistas é formado por espécies sem qualquer mobilidade. Dentre os outros filos, algumas espécies se movem da forma amebóide, outras pelos cílios, e outras por flagelos.

Em termos de organelas. Alguns protoctistas apresentam mitocôndrias em seu citoplasma. Outros protoctistas possuem cloroplastos e têm capacidade de fazer fotossíntese. Os demais protoctistas não possuem qualquer organela em seu citoplasma.

Em termos de reprodução. Embora a maior parte dos protoctistas possa se reproduzir sexuada e assexuadamente, alguns grupos são exclusivamente assexuados. O modo de reprodução assexuada varia bastante dentro do Reino (fissão binária, brotamento – a célula-filha se forma na superfície da célula-mãe – e esporos). Alguns protoctistas fazem a alternância de gerações, com gerações sexuadas se alternando a assexuadas.

GRANDES GRUPOS DE PROTOCTISTAS

Devido à diversidade mencionada acima, alguns autores especializados em evolução de protoctistas sugerem que esse Reino deva ser dividido em vários reinos (alguns indicam que mais de 10 reinos devam ser descritos para os protoctistas!) Por exemplo, os protoctistas parecidos com plantas são denominados “algas”. As algas, como as plantas, possuem capacidade de fazer fotossíntese, uma das características que definem o Reino Plantae. Portanto, onde se iniciam as plantas e onde terminam os protoctistas?

Os protoctistas parecidos com animais são chamados de protozoários. Por exemplo, um dos protoctistas mais famosos é o causador da malária, *Plasmodium falciparum*, um protozoário. Alguns protozoários possuem similaridades marcantes com membros do Reino Animalia.



CICLO DE VIDA DE PLASMODIUM

A malária ainda é um problema grave no Norte do Brasil e em alguns países africanos. Na realidade, a malária é uma das doenças mais sérias em todo o mundo, em termos do número de pessoas doentes. Somente as fêmeas do mosquito *Anopheles* transmitem o protozoário *Plasmodium* para humanos (Figura 3). O protozoário *Plasmodium* entra no sistema circulatório humano quando um *Anopheles* infectado pica a pele em busca de sangue. As células do parasita seguem para o fígado e para o sistema linfático, mudam de forma, multiplicam-se e entram de novo na corrente sanguínea "atacando" as hemácias do indivíduo picado. Os atacantes se multiplicam nas hemácias e, em poucos dias, a célula se rompe, liberando na corrente sanguínea mais *Plasmodium* que irá infectar outras hemácias e assim por diante (Figura 4). Se um novo mosquito *Anopheles*, não infectado, picar esse indivíduo com malária, o na corrente sanguínea do indivíduo irá contaminar o mosquito, que passará a ser um transmissor.

Como veremos a seguir, as células dos protozoários coanoflagelados são bem parecidas com células flageladas de poríferos.



Figura 3: *Plasmodium falciparum*

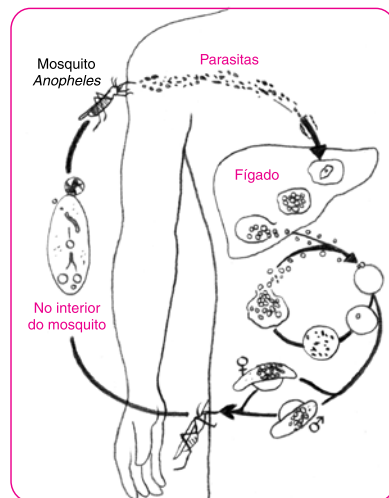


Figura 4: Ciclo de vida do *Plasmodium falciparum*.

ALGAS

As algas são organismos que possuem o pigmento verde clorofila (pigmentos carotenóides fotossintéticos vermelho e laranja também são encontrados nesses organismos). As algas podem ser divididas em grandes grupos, como as diatomáceas, os dinoflagelados e as euglenas.



BIOLUMINESCÊNCIA

No mar, de noite ou de tardinha, podemos perceber que quando agitamos a água ou no quebrar as ondas, o mar se ilumina de uma luz que parece fosforescente. Essa luz é emitida principalmente por protoctistas dinoflagelados que são bioluminescentes (Figura 6). A bioluminescência é uma luz emitida por alguns organismos com auxílio de uma enzima, a luciferase.

Essa enzima atua sobre uma substância chamada luciferina, que, quando é oxidada, por exemplo em resposta ao movimento das ondas, provoca luz. À noite, no campo, quando observamos vagalumes, percebemos a mesma reação química. Não confunda bioluminescência com uma reação de fluorescência. Nesta última, a energia de uma fonte de luz é absorvida e reemitida, enquanto na bioluminescência a luz é emitida através de uma reação química. (Saiba mais sobre bioluminescência em protoctistas e outros animais consultando a página <http://lifesci.ucsb.edu/~biolum/organism/dinohome.html>)

As diatomáceas (Filo Bacillariophyta) são organismos unicelulares, mas algumas espécies podem formar colônias. Suas células são formadas por duas placas que se encaixam com sobreposição, da mesma forma que uma placa de petri. Essas placas contêm sílica que forma os mais bonitos padrões do mundo unicelular (Figura 5).

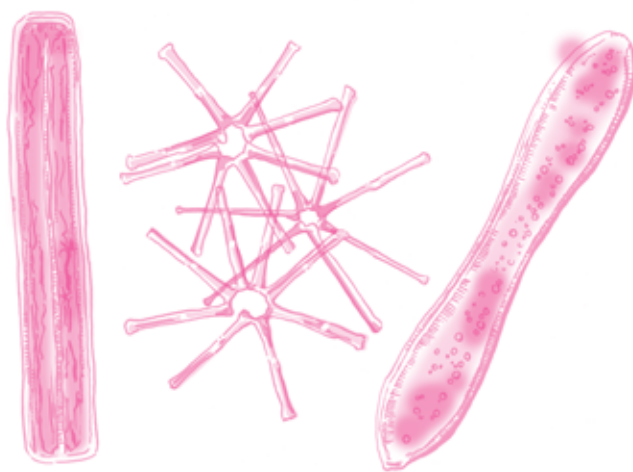


Figura 5: Diversidade de diatomáceas.

Os dinoflagelados (Filo Dinoflagellata) são protoctistas unicelulares com células cobertas por placas de celulose. Possuem usualmente dois flagelos que atuam como propulsores quando estão girando e promovem o movimento do protoctista. Muitos dinoflagelados residem no interior de outros animais, como corais, moluscos e anêmonas; esses dinoflagelados são chamados de zooxantelas.

Como são capazes de fazer fotossíntese, eles fornecem alimento para seus hospedeiros e contribuem em muito para a alta produtividade dos recifes de coral.

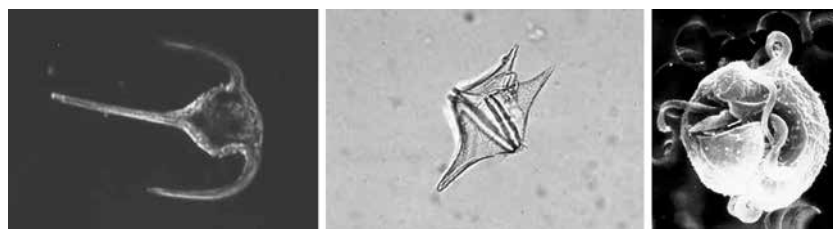


Figura 6: Os dinoflagelados *Ceratium*, *Peridinium* e *Pfiesteria*.

As euglenas (Filo Euglenophyta) são flagelados unicelulares de água doce, com células bastante complexas. Uma característica interessante desse grupo de algas é a presença de uma região fotossensível na superfície celular. Essa região é uma organela que permite que a euglena reaja à presença de luz. Apenas cerca de 1/3 das espécies de euglena é fotossintetizante. Uma outra característica interessante desses organismos é a constante mudança de forma. Isso se deve ao fato de que a película que envolve as euglenas é muito flexível. Esses organismos são encontrados em poças de água doce com muita matéria orgânica e são considerados bioindicadores de poluição nesse tipo de ambiente. O gênero mais importante desse grupo, *Euglena*, apresenta formas diversas de obtenção de energia. Alguns representantes possuem cloroplastos e fazem fotossíntese, enquanto outros representantes absorvem moléculas complexas para garantir sua sobrevivência.

Outros grupos são os crisófitos (diatomáceas) e os pirrófitos (dinoflagelados), que juntos fazem a produção primária aquática.

As algas verdes (Filo Chlorophyta) constituem um dos grupos com maior diversidade de formas e com métodos de reprodução mais diversos. A maior parte é encontrada em ambientes de água doce. Apenas 10% das espécies habitam ambientes marinhos. Neste caso, os ambientes são estuarinos, em sua maioria. Algas do tipo *Ulva*, que podemos encontrar em toda a costa do Rio de Janeiro, parecem e recebem o nome vulgar de alface no mar (Figura 7).

As algas vermelhas (Filo Rhodophyta) são, em sua maioria, multicelulares. As paredes celulares dessas algas contêm polissacarídeos de valor comercial.

O agar agar, por exemplo, é um desses polissacarídeos usado como meio de cultura de microorganismos, incluindo bactérias para uso em medicina clínica. As algas vermelhas habitam regiões tropicais dos oceanos, embora algumas espécies possam ser encontradas em águas mais frias, em água doce, e no solo.



Figura 7: Algas verdes, vermelhas e marrons.

As algas marrons (Filo Phaeophyta) incluem as algas gigantes do Reino Protocista, que podem chegar a 60 metros de comprimento. Alguns componentes extraídos de membros desse filo, como a algina, são usados para endurecer sorvetes, *marshmallows* e cosméticos. As algas marrons são importantes fontes de comida em países asiáticos e ocorrem em regiões mais frias dos oceanos.

PROTOZOÁRIOS

Os protozoários são protocistas que se assemelham de alguma forma a animais. A maior parte deles se alimenta por ingestão de partículas através da endocitose. A diversidade dos protozoários inclui alguns dos mais conhecidos protocistas e pode ser dividida em cinco grandes grupos: as amebas, os foraminíferos, os flagelados, os ciliados e os esporozoa. As amebas (Filo Rhizopoda) são organismos unicelulares que habitam oceanos, água doce e o solo. Assim como as euglenas, as amebas não possuem forma definida e se locomovem através de estruturas chamadas pseudópodos. Estas estruturas são projeções citoplasmáticas que recebem o fluxo do citoplasma até que todo o citoplasma do organismo esteja no pseudópodo e todo o organismo tenha movido de lugar. Os pseudópodos também são usados para envolver e capturar comida.

As amebas podem ser parasitas humanos. A mais famosa é *Entamoeba histolytica*, que causa uma disenteria séria em humanos.

COANOFLAGELADOS

Outro grupo muito importante de protozoários é formado por espécies que chamamos de coanoflagelados. Coanoflagelados são organismos sem cloroplastos, mas com mitocôndrias. Suas células são flageladas, e daí seu nome. Uma característica interessante desses protozoários é a capacidade de formação de colônias. Células de algumas espécies de coanoflagelados são unidas por pontes citoplasmáticas, provavelmente oriundas de divisões celulares incompletas.

As colônias de coanoflagelados se alimentam dos organismos (p.e., bactérias) que ficam presos aos flagelos. Devido à presença de flagelos, algumas colônias de coanoflagelados se assemelham muito com as cavidades flageladas de uma esponja, como você pode perceber na Figura 8. Além disso, semelhanças citológicas surpreendentes podem ser encontradas entre células de coanoflagelados e alguns tipos de células de metazoários. Os foraminíferos (Filo Foraminifera) são, em sua quase totalidade, organismos marinhos que produzem conchas. Os oceanos contêm quantidades imensas de foraminíferos que secretam essas conchas complexas com poros, através dos quais o citoplasma pode ser estendido. Dessa forma, o alimento pode ser capturado nessa extensão citoplasmática grudada. Assim que morrem, os foraminíferos afundam no chão do oceano e o acúmulo dessas conchas forma uma lama cinza que é gradualmente transformada em pó. Os flagelados (Filo Zoomastigina) são organismos unicelulares com células alongadas.

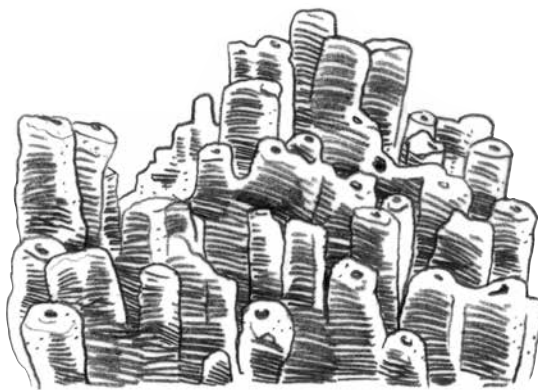


Figura 8: Cavidades flageladas de uma esponja.

Realmente, essas similaridades, entre outras, com os metazoários nos levam a crer que os coanoflagelados podem representar o grupo irmão dos animais. Apesar de algumas controvérsias, a maior parte dos autores acredita que os animais multicelulares formam um grupo monofilético. Nesse cenário, um organismo semelhante aos coanoflagelados teria dado origem aos animais. Outros autores acreditam que os coanoflagelados estão inseridos dentro do grupo animais.

Texto base 11

ORIGEM DA CÉLULA EUCARIONTE

A diversidade da vida pode ser aquela observada em diferentes níveis de organização biológica – moléculas (genes, proteínas), células, tecidos, órgãos, sistemas, indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas. Edward Wilson afirma, no seu livro *A criação – como salvar a vida na Terra*, que a tarefa da Biologia é descrever e organizar a diversidade e compreender sua origem. Veja que, se associarmos os verbos acima (descrever, organizar e compreender) com os níveis de organização destacados, teremos sintetizado o campo de atuação da Biologia. Assim, é possível perceber que o tema da diversidade é bastante amplo e agrega diversos conteúdos, sendo um desafio para o ensino na Educação Básica.

Para os ecólogos, por exemplo, a diversidade tem sentido mais restrito. Na Ecologia, o número de espécies de uma comunidade é o que se chama de riqueza, enquanto diversidade leva em conta o número de espécies (riqueza) e a abundância de cada uma delas em uma comunidade, ou seja, a quantidade de indivíduos de cada espécie. No entanto, o uso cotidiano da palavra diversidade tem se restringido à *riqueza*, ou seja, ao número de espécies de uma determinada comunidade.

Outra abordagem da biodiversidade que faz parte do meio acadêmico é a discussão de “quantas e quais mudanças genéticas são necessárias à formação de espécies a partir de um ancestral”. Esse é um tema muito debatido pelos especialistas, mas tal assunto, acreditamos, foge ao escopo do Ensino Médio.

Portanto, uma questão importante é associar diferentes níveis de diversidade: a diversidade no nível genético com a diversidade das espécies.

A diversidade de espécies, por si só, é um tema bastante debatido entre os biólogos. No contexto do ensino básico, acreditamos que seja muito importante discutir com os alunos as seguintes perguntas:

- Como essa biodiversidade se distribui entre os diferentes grupos de seres vivos?;
- Como essa biodiversidade se distribui no planeta?;
- Como essa biodiversidade evoluiu ao longo do tempo?; e
- Como a espécie humana se relaciona com essa biodiversidade?



Veja um possível caso de especiação vegetal que relaciona bem a diversidade genética com a formação de novas espécies no texto “A especiação em tempo real”, disponível em <http://cienciahoje.org.br/a-especiacao-em-tempo-real/>. Foi acessado em 14 ago. 2018.



Sugerimos a leitura do artigo que trata da especiação alopátrica, publicado na revista *Ciência Hoje*: “Quase uma nova espécie”, disponível em: <http://cienciahoje.org.br/ate-que-os-andes-os-separem/>. Foi acessado em 14 ago. 2018.



Sugerimos que assista ao filme A biodiversidade na floresta tropical, da série Aventura Visual Documentários. O vídeo tem 28 minutos e dá uma ideia da imensa diversidade biológica presente nas florestas tropicais de todo o mundo.

Disponível em: <http://www.youtube.com/h?v=zFYPlnmoAa0>. Acessado em 14 ago. 2018.

Então, vamos a elas...

Em 2010, na revista *Science*, Robert May, importante ecólogo australiano, criou a seguinte cena para reflexão do problema da estimativa da diversidade biológica em nosso planeta:

“Se alguma versão de Alienígena da nave estelar Enterprise visitasse a Terra, qual seria a primeira pergunta dos visitantes? Eu acho que seria: “Quantas formas distintas de vida – espécies – possui o seu planeta? De forma constrangedora, o nosso melhor palpite seria na faixa de 5 a 10 milhões de eucariotos (esqueçam os vírus e bactérias), mas nós poderíamos defender números superiores a 100 milhões, ou tão baixos quanto 3 milhões”.



Para saber mais sobre os resultados desse estudo com relação à estimativa do número de espécies, sugerimos a leitura da reportagem: “Cientistas calculam quantas espécies existem”, disponível em: <http://agencia.fapesp.br/cientistas-calculam-quantas-especies-existem/14383/>, acessada em 14 ago. 2018.

Uma estimativa atual do número de espécies em nosso planeta foi publicada no ano passado na revista *PlosBiology* e envolveu uma rede de pesquisadores de mais de 80 países. O total de espécies de eucariotos estimado chegaria a 8,7 milhões (margem de erro de 1,3 milhão); aproximadamente 2,2 milhões seriam espécies marinhas. Os resultados sugerem que 86% das espécies na Terra e 91% das espécies nos oceanos ainda aguardam descrição.

Segundo Camilo Mora, da Universidade do Havaí, um dos autores desse estudo, “a questão de quantas espécies existem tem intrigado cientistas há séculos, e a resposta, somada a pesquisas em distribuição e abundância de espécies, é particularmente importante neste momento, uma vez que diversas atividades e influências humanas estão acelerando as taxas de extinção”. No entanto, “muitas espécies podem desaparecer antes mesmo que saibamos de sua existência, de seu nicho particular ou de sua função em ecossistemas”.

Os números das diversas pesquisas, no entanto, oscilam entre 5 e 30 milhões, mas apenas cerca de 1,8 milhão delas já foram descritas. Segundo registros fósseis, calcula-se que o número de espécies extintas seja 100 vezes maior que o das espécies vivas.

A distribuição das espécies conhecidas e viventes pelos diferentes grupos taxonômicos de seres vivos pode ser observada na tabela a seguir.

Tabela 1: Número de espécies conhecidas e viventes por grupos de seres vivos.

Categoria	Número de espécies
Vertebrados	
Mamíferos	5.490
Aves	9.998
Répteis	9.084w
Anfíbios	6.433
Peixes	31.300
Total	62.305
Invertebrados	
Insetos	1.000.000
Aranhas e escorpiões	102.248
Moluscos	85.000
Crustáceos	47.000
Corais	2.175
Outros	68.827
Total	1.305.250
Plantas	
Angiospermas	281.821
Pinheiros (gimnospermas)	1.021
Samambaias (pteridófitas)	12.000
Musgos (briófitas)	16.236
Total	311.078
Outros	
Algas vermelhas e pardas	10.134
Líquens	17.000
Fungos	31.496
Algas pardas	3.067
Total	61.697
TOTAL DE ESPÉCIES	1.740.330

Fonte: União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN).



Para perceber como essa estimativa da diversidade microbiana está mudando, veja a reportagem da revista *Ciência Hoje*: “As bactérias de sua pele”, disponível em: <http://cienciahoje.org.br/as-bacterias-da-sua-pele/>, com acesso em 14 ago. 2018.

Trata-se de uma pesquisa que detectou, por meio de técnicas de sequenciamento do DNA, bactérias de 205 gêneros diferentes, pertencentes a 19 filos na pele humana. Os métodos tradicionais usados até então, baseados no cultivo de amostras microbianas em laboratório, tinham resultados bem mais modestos: a nossa pele seria dominada por bactérias do gênero *Staphylococcus*, com pouca variação adicional.



Sugerimos que assista ao vídeo *Mundo Invisível* para que esse tema seja debatido com as suas turmas. Nele podemos ter a dimensão da diversidade de bactérias e algumas aplicações práticas que vêm sendo desenvolvidas com elas. Como dura apenas 6 minutos e 20 segundos, você pode usar em sala para despertar os alunos para a diversidade dos microrganismos.

Disponível em:
<http://www.youtube.com/watch?v=I82Lr6Fx8hE&feature=related>. Acesso em 14 ago. 2018.

Até 2007, havia cerca de 5.300 espécies de procariontes descritos (bactérias e arqueobactérias). Estima-se, no entanto, que isso corresponda a 1% do número de espécies existentes. Logo, se essa estimativa estiver correta, existem 530.000 espécies de procariontes. Acreditamos que esse número pode crescer muito com o avanço de diferentes métodos que avaliam a diversidade de microrganismos.



Roteiro de ação 8

Informações básicas:

Duração prevista:	50 minutos
Assuntos:	Diversidade em ilhas
Objetivos:	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir as características dos seres vivos que favorecem a colonização de ilhas. • Compreender a influência que o tamanho de uma ilha e sua distância ao continente podem ter no número de espécie presentes em uma ilha. • Aplicar a teoria da biogeografia de ilhas aos problemas de conservação das espécies.
Pré-requisitos:	Conceito biológico de espécie
Material necessário:	Texto impresso do estudo dirigido
Organização da classe:	O estudo dirigido pode ser feito individualmente, ou em pequenos grupos. Sugerimos trabalhar em grupos de 2 alunos de forma a favorecer a troca de ideias entre eles.
Descritores associados:	<p>H4 – Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.</p> <p>H15 – Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.</p> <p>H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.</p> <p>H28 – Associar características adaptativas dos organismos com seu modo de vida ou com seus limites de distribuição em diferentes ambientes, em especial em ambientes brasileiros.</p>

**Comentários para o professor**

Professor, chamamos esse roteiro de estudo dirigido, pois ele é constituído de informações e questões que levam o aluno a raciocinar sobre determinado assunto, de forma que, a cada questão respondida, sua compreensão aumenta. Após cada questão, novas informações e perguntas propõem um novo raciocínio que leva a um aprofundamento do tema.

A vantagem que vemos nessa metodologia é que o aluno é levado a um maior envolvimento mental com o conteúdo da aula, porque sua participação na forma de leitura, discussão e escrita é continuamente requisitada. As questões são propostas de forma a compor desafios possíveis que o aluno possa transpor depois de refletir em conjunto, com seus colegas e professor, sobre as informações dadas anteriormente e a partir de seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

Como sabemos, é sempre muito importante comentar as respostas dadas pelos alunos. Isso pode ocorrer ao final da atividade (repassando todas as questões) ou de forma parcial (a cada página, ou a cada questão).

BRINCANDO DE ROBINSON CRUSOÉ

As ilhas são ótimos laboratórios naturais para buscarmos explicações sobre a diversidade, porque são ambientes isolados, tornando mais fácil a contagem de espécies. Além disso, cada ilha pode ter características diferentes, o que torna possível fazer comparações entre ilhas distintas, buscando entender porque cada ilha possui seu conjunto de espécies particular.

Em primeiro lugar, você poderia perguntar: como as ilhas formaram-se? Elas sempre foram ilhas?

Você já deve ter ouvido falar que a temperatura do planeta variou ao longo de alguns milhares ou milhões de anos. Quando o planeta esfria, a água do mar tende a congelar e o nível do mar desce. Esse recuo do mar pode expor terras que antes estavam submersas. Esse é o caso da maioria das ilhas do litoral do estado do Rio de Janeiro. Veja nas Figuras 1 e 2.



Figura 1: Planeta com temperatura mais alta e, conseqüentemente, nível do mar alto.

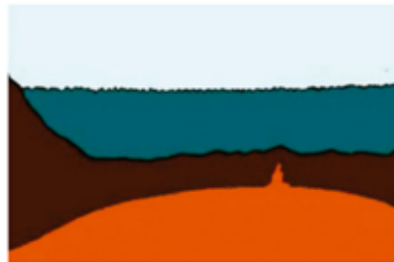


Figura 2: Planeta com temperatura mais baixa e nível do mar mais baixo

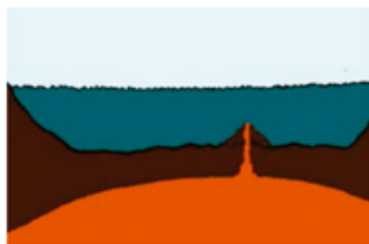
Uma ilha também pode surgir a partir de uma erupção de um vulcão submarino, como se vê nas ilustrações a seguir.



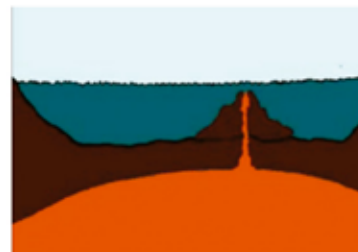
1- Magma.



2- Magma começa a romper uma região mais frágil da crosta terrestre.



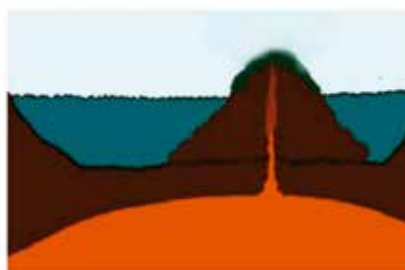
3- Magma rompe a crosta e se resfria em contato com a água.



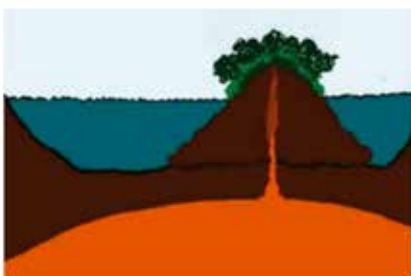
4- O magma continua vazando pela crista e formando uma montanha submarina formada por rocha



5- A montanha submarina emerge sobre as águas do oceano. Agora temos uma ilha vulcânica.



6- A atividade vulcânica para e a ilha começa a ser colonizada por plantas.



7- A colonização avança e temos sobre a ilha uma pequena floresta

1. Quantas espécies de animais e plantas estarão presentes nas ilhas, logo após a sua formação?



Comentários para o professor

Essa pergunta tem por objetivo organizar o raciocínio do aluno. Esperamos que ele responda que não haverá nenhuma espécie em ambos os casos de formação de ilhas. Os eventuais organismos marinhos que tenham colonizado o fundo dos oceanos, ou as rochas vulcânicas submersas, acabam morrendo, quando essa superfície fica exposta, para fora do mar.

Repare que esse não é o caso de ilhas que se formam quando o nível do mar sobe, isolando porções do antigo continente. Esse processo não está descrito aqui porque a biogeografia de ilha nesse caso é um pouco mais complexa. Se os alunos colocarem essa questão, você pode discutir o caso em sala de aula.

Robinson Crusoe é o personagem principal do livro de Daniel Defoe, escrito em 1719. Ele conta a história de um naufrago que inicialmente se encontra isolado em uma ilha. Durante os 28 anos seguintes, antes de ser resgatado, Robinson Crusoe é obrigado a se relacionar com cativos, canibais e revoltos. Aproveite para ler um pequeno trecho do livro.

“Quando tornei a mim, o sol escaldava. Estava tonto e fraco, mas gritei:- Deus piedoso! Como é possível estar eu aqui, vivo, em terra? Consolado pelo pensamento de que não devia lamuriar-me, porque vivo, reanimei-me. E os pensamentos voltaram-se para os meus camaradas. Onde estariam? Viveriam?

Percorri grande extensão da praia e não encontrei viva alma. E à medida que ia o tempo passando, fui-me compenetrando de que apenas eu sobrevivera à tormenta. Minha situação era terrível. Esfomeado, que comeria? Sem armas, como defender-me de animais ferozes, que, por certo, aquelas plagas abrigariam, tão selvagens se apresentavam? Apenas uma faca me viera presa à cinta. (...)

Praticamente sem nada, invadiu-me tal angústia, e tão desesperado me senti, que, como um louco, dei de correr, como barata tonta, dum lado para outro, sem saber o que fazer, até que, a solução perdida-mente, caí por terra e lá me deixei ficar, sob o peso da desgraça.

Para Robinson Crusoe e qualquer um de nós, parece terrível viver em uma ilha deserta. Mas, e para animais e plantas? Uma ilha inteiramente desabitada pode ser vantajosa, ou não?

2 - Imagine uma ilha que acabou de ser formada e que não apresenta, ainda, nenhum ser vivo como habitante e responda:

a - Que tipo de organismo deve ocupar preferencialmente uma ilha totalmente desabitada? Justifique sua resposta.

b - Como esses organismos conseguem chegar à ilha? De onde eles podem vir?

c - Qual a vantagem que alguns organismos podem ter na ocupação da ilha deserta?



Comentários para o professor

Professor, com essa questão, esperamos que os alunos percebam que os produtores devem chegar primeiro, porque os consumidores, como os animais, necessitam de fontes externas de alimento. Já os produtores, realizando a fotossíntese, são capazes de produzir seu próprio alimento. As plantas podem colonizar as ilhas pela dispersão de frutos e sementes pelo vento e pela água, como o coco. Entre os animais, os que têm asas chegam mais facilmente, voando do continente mais próximo. Outros animais e plantas dependem de troncos levados pela maré. A vantagem para os primeiros colonizadores é que nas ilhas há menos competidores, quando a colonização está em estágio inicial.

Imagine que você é um animal ou vegetal, vivendo no continente e que a competição por recursos está muito intensa. Deslocar-se para um ambiente despovoado, pode ser uma vantagem. Mas, você só poderá chegar à ilha por um evento casual, ou se você tiver asas como uma ave, inseto ou morcego. Observe a Figura 3 que representa ilhas próximas a um determinado continente.

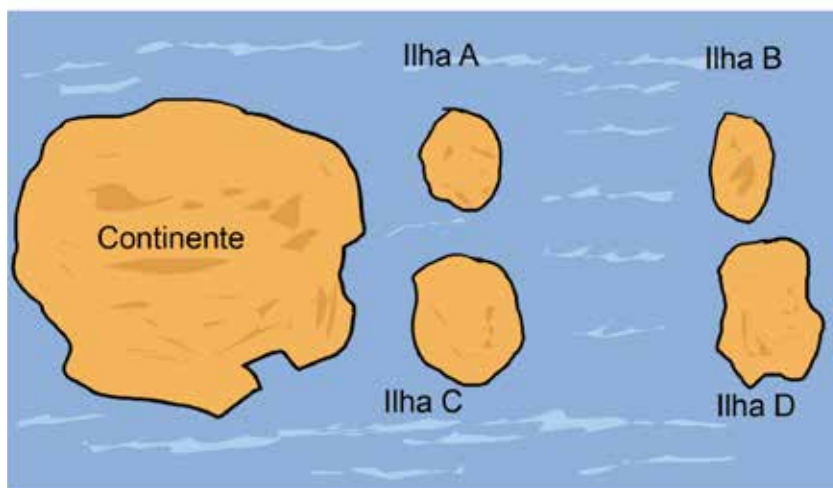


Figura 10: Observe o espaço geográfico de quatro ilhas, próximas a um continente.

3 - Em qual das ilhas você deverá chegar mais facilmente? Compare as ilhas A e B. Depois compare as ilhas A e C. Justifique sua resposta.



Comentários para o professor

Vai ser mais fácil chegar à ilha A, porque está mais perto do continente do que B. E vai ser mais fácil chegar à ilha C, porque ela é maior que A.

Logo, ilhas maiores e mais próximas do continente são mais fáceis de serem “achadas” e colonizadas. Esse é o caso da ilha C.

Sabemos também que os ambientes naturais estão sob constante mudança. Acontecem queimadas naturais, enchentes, ressacas e tornados que podem acarretar na extinção local de muitas espécies.

4 - Em que tipo de ilha do caso citado acima, essas catástrofes apresentam mais riscos de levar à extinção as espécies que lá habitam? Justifique sua resposta.



Comentários para o professor

Nas ilhas menores, os riscos de extinção são maiores, porque há menos chance de escapar.

Se você respondeu às questões até aqui, sua compreensão sobre a biogeografia de ilhas está avançando, ou seja, você está entendendo cada vez mais sobre a distribuição das espécies em ilhas. Portanto, você já pode formular uma hipótese sobre a diversidade de espécies para diferentes tipos de ilhas, baseada em duas variáveis: distância da ilha ao continente e o seu tamanho.

5 - Resuma sua hipótese em apenas uma frase, completando as lacunas que seguem. Uma ilha terá maior diversidade quanto _____ do continente e quanto _____ ela for.



Comentários para o professor

Essa pergunta tem por objetivo confirmar o raciocínio do aluno. Uma ilha terá maior diversidade quanto mais próxima do continente e quanto maior ela for. Se ele errar, é sinal de que a explicação não ficou clara e é preciso voltar ao ponto.

Pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro registraram o número de aves terrestres em diferentes ilhas do litoral do nosso estado, entre 1983 e 1984. As ilhas estudadas foram: ilha de Jaguanum, em frente à cidade de Itacuruçá; ilha Comprida, perto de Cabo Frio; ilha de Santana, em frente à Macaé; ilhas de Trinta-Réis da Barra, Pombas e Costa, próximas a Rio das Ostras; ilha da Convivência, no litoral de São Francisco de Itabapoana; ilha de Jorge Greco, em Angra do Reis e ilha

de Pompeba, na Restinga da Marambaia. Eles relacionaram no gráfico abaixo o número de espécies de cada ilha e sua respectiva área.

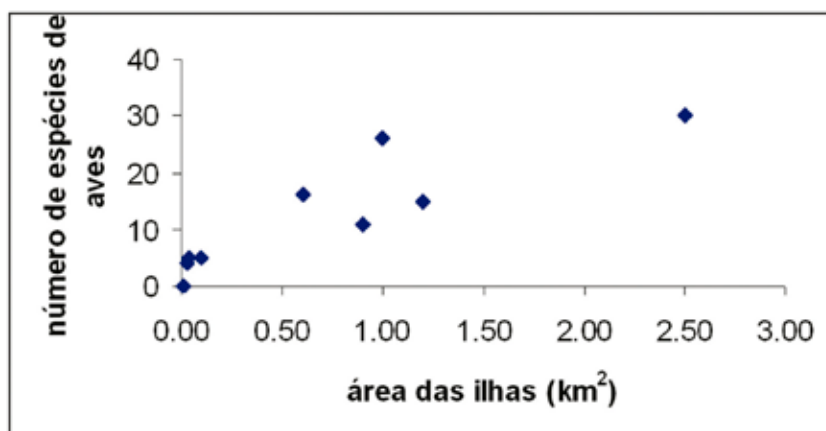


Figura 11: Gráfico que relaciona o número de espécies de aves com o tamanho das ilhas do litoral do Rio de Janeiro.

6 - Os dados dessas ilhas reais satisfazem sua hipótese? Justifique sua resposta.



Comentários para o professor

Os alunos devem perceber que quanto maior a ilha, maior o número de espécies. Em nossa experiência, os alunos prestam muita atenção às pequenas inconsistências dos dados e deixam de identificar a tendência geral. Ou seja, muitos alunos acham que, para confirmar a hipótese, os pontos do gráfico deveriam se alinhar perfeitamente.

É importante mostrar que os dados sugerem que a área é um importante fator para explicar a diversidade de aves em ilhas, mas não é o único. Deve haver outros fatores, como o tipo de vegetação e relevo, por exemplo, que interferem na biodiversidade, mas que não foram estudados.

Baseado no que vocês aprenderam, vamos pensar juntos: hoje em dia, a humanidade defronta-se com o dilema de manter o desenvolvimento econômico sem destruir a biodiversidade. A Mata Atlântica, o Cerrado, a Floresta Amazônica e até mesmo a Caatinga têm sido parcialmente destruídas para formar pastos, áreas agrícolas e aumentar das cidades. Os ambientalistas tentam proteger os remanescentes desses ecossistemas, criando unidades de conservação, que são as reservas, parques etc. Essas áreas de proteção ambiental, quando estudadas, muitas vezes são vistas como ilhas. Só que, ao invés de mar, elas são rodeadas e isoladas entre si por pastos ou plantações. Tendo isso em mente, responda à questão a seguir.

7 - O que seria mais indicado para preservar o maior número de espécies de um determinado ambiente: tentar criar poucas áreas de proteção grandes ou muitas áreas de proteção pequenas? Justifique sua resposta.

**Comentários para o professor**

Professor, com essa questão, esperamos que os alunos possam perceber que a preferência deve ser dada a poucas áreas grandes. Em áreas pequenas, muitos organismos que precisam de maior área de vida para manter populações viáveis são eliminados. Isso é verdade para grandes vertebrados, em especial os de topo de cadeia, bem como árvores de crescimento lento e populações baixas que se reproduzem por fecundação cruzada. Mesmo que haja muitas áreas pequenas, essas populações podem não se estabelecer.

Os alunos podem trazer para a discussão outros fatores que podem intervir nessa decisão. Isso muitas vezes acontece quando há diferenças marcantes de vegetação e/ou relevo entre as áreas que podem ser preservadas. Você pode usar, na forma de trabalhos de casa, os seguintes textos para explorar mais o assunto.

Na reportagem “Grandes carnívoros no interior”, pesquisadores da USP mostram que há populações elevadas de carnívoros em área agroflorestal do nordeste paulista. Mas animais poderão ter dificuldades de adaptação nas paisagens fragmentadas. Você encontra essa matéria em <<http://agencia.fapesp.br/grandes-carnivoros-no-interior/9304/>>.

A riqueza das espécies de morcego está diretamente relacionada com o tamanho do fragmento vegetal preservado. A conclusão é do estudo “A fragmentação dos ecossistemas dos morcegos”, disponível em <<http://agencia.fapesp.br/a-fragmentacao-dos-ecossistemas-dos-morcegos/541/>>. Além das dimensões da reserva vegetal, a pesquisa também evidencia a importância que a qualidade do fragmento precisa ter.

Texto base 12

BIODIVERSIDADE NO PLANETA

Vamos discutir como a biodiversidade distribui-se no planeta, como ela evoluiu ao longo do tempo e como a espécie humana relaciona-se com as outras espécies.

Uma teoria que explique a variação espacial da biodiversidade está longe de ser consensual, mas alguns fatores que favorecem mais espécies em um determinado ambiente podem ser identificados:

- Ambientes amenos: aqueles em que os parâmetros abióticos pouco variam e cujos valores são próximos das condições ideais para a maior parte dos seres vivos; por exemplo, florestas e mares tropicais.
- Ambientes geologicamente mais antigos: menos sujeitos a distúrbios, como áreas sem vulcanismo, geleiras ou queimadas.
- Ambientes estruturalmente mais complexos: aqueles cuja vegetação apresenta estrutura mais elaborada. Florestas são mais complexas que capinzais.

Ambientes hostis, como as regiões temperadas de inverno rigoroso, são opostos aos amenos e em geral são menos diversos, porque poucas espécies possuem as adaptações necessárias à sobrevivência em condições abióticas extremas de umidade, temperatura, salinidade etc.

Entre os ambientes mais amenos, os mais antigos tendem a ser mais diversos, pois haveria mais tempo para especiação. Dito de outra forma, aqueles ambientes que sofrem periodicamente mudanças muito bruscas, tais como vulcanismo, avanços de geleiras, queimadas, tendem a comportar menos espécies. Florestas, estruturalmente mais complexas que pastagens, possuem mais espécies, provavelmente porque possuem mais nichos potenciais.

Você já ouviu falar nos ecótonos? Esses são ambientes de transição entre ecossistemas. Por exemplo, o pantanal é uma zona de transição entre a floresta amazônica, o cerrado e a floresta atlântica. Na sua avaliação, como se comporta a diversidade em ecótonos comparada a dos ecossis-



Veja um resumo da história evolutiva da diversidade do planeta nos seguintes textos:

Texto 1 - "O sobe e desce da vida: fazendo um mapa das extinções em massa".

Disponível em: <<http://labs.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/evol/especies/masext.html>>. Acesso em 14 de agosto de 2018.

Texto 2 - "A caminho de uma extinção em massa?"

Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/a-caminho-de-uma-extincao-em-massa/>>. Acesso em 14 de agosto de 2018.

temas fora da região de transição?

Nas regiões de transição entre ecossistemas, a biodiversidade pode ser maior, porque ali podem residir espécies dos dois ambientes, além de espécies típicas, endêmicas, do próprio ecótono.

Por outro lado, a diversidade de seres vivos não é constante ao longo do tempo. Ao contrário, o registro fóssil sugere que a vida no planeta foi dominada por microrganismos unicelulares durante a maior parte da sua história. Há menos de 600 milhões de anos apareceram vestígios de vida pluricelular. Desde então, a diversidade cresceu bastante. Mas, a partir daí, em diversos momentos, o registro fóssil aponta para crises significativas da diversidade, em que o número de gêneros decai muito e se recupera em seguida. Desde a última crise no Cretáceo, a biodiversidade vem crescendo bastante.

Mas como a biodiversidade tem se comportado durante o tempo recente, entre o nascimento e a expansão da espécie humana?

Infelizmente, parece que as notícias não são boas. Os registros arqueológicos sugerem que, desde a saída da espécie humana da África, há uma coincidência entre a ocupação humana e a extinção de muitos animais de grande porte. Esses seriam os casos do bisão siberiano, do cavalo selvagem e do pássaro dodô das ilhas Maurício, este último extinto no século XVII. A estimativa da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN), de 2009, é de que em todo o mundo já foram consideradas oficialmente extintas 875 espécies desde o ano de 1500.

Esse número parece pequeno, mas levando em conta que 500 anos não significam praticamente nada se considerarmos o tempo geológico, tal estimativa é alarmante! Segundo o livro vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, publicado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), são sete espécies brasileiras consideradas extintas, e todas elas eram encontradas na Mata Atlântica – o bioma mais devastado do Brasil. São espécies como a perereca *Phrynomedusa fimbriata* ou a arara *Anodorhynchus glaucus*, além de quatro invertebrados terrestres, como a minhocabranca e uma espécie de minhocaçu. Você pode consultar o livro vermelho e saber mais no site www.icmbio.gov.br.

Com a intensa ocupação do planeta nos últimos 200 anos, a destruição de habitats, a introdução de novas espécies e a caça ostensiva têm sido as principais causas de extinção originadas pela ação humana. Esse



Um bom exemplo de como as ações humanas impactam a diversidade e acabam por interferir negativamente em nossa economia pode ser visto na reportagem “Contribuição dos agentes polinizadores para a biodiversidade”.

Disponível em:
<<http://agencia.fapesp.br/contribuicao-dos-agentes-polinizadores-para-a-biodiversidade/15924/>>.
Acesso em 14 de agosto de 2018.

evento é particularmente grave em ilhas.

Desde o século XX, as ameaças à diversidade vêm sendo cada vez mais bem documentadas e as preocupações com as extinções causadas pelo homem passaram a ser um tema mundial. Nesse contexto, Norman Myers criou em 1988 o conceito de *hotspots* (pontos quentes) aplicado à biodiversidade. Os *host spots* são ecossistemas que combinam alta riqueza de espécies e se encontram em elevado grau de ameaça de extinção.

Texto base 13

DIVERSIDADE DE ESPÉCIES

Nessa unidade vamos debater a questão relativa a como a diversidade de espécies varia ao longo do tempo. Todos os seres vivos descendem de um organismo que viveu há pelo menos 3,5 bilhões de anos, já que essa é a idade dos fósseis mais antigos encontrados até o momento. Entretanto, hoje existem cerca de dois milhões de espécies já descritas na literatura. O que aconteceu durante esses três bilhões de anos que transformou a Terra, um planeta sem vida naquela época, no planeta em que vivemos hoje em dia?

Em primeiro lugar, vamos falar da diversidade de espécies na Terra atualmente. Algumas estimativas indicam que a Terra abriga, na realidade, um número entre 5 e 50 milhões de espécies de organismos vivos. Você deve estranhar esse tipo de dúvida em relação à grandeza da diversidade em nosso planeta. Essa dúvida reflete a parcela da diversidade não conhecida pela ciência. Em outras palavras, qual é a parcela da diversidade ainda por ser descoberta e descrita? Essa é uma pergunta difícil, senão impossível de ser respondida. Como saber quantas espécies estão para ser descobertas no interior da Amazônia? No interior das florestas africanas? Quantas espécies de bactérias ainda estão por ser descobertas? Realmente, isso é uma tarefa impossível. Provavelmente o melhor que podemos fazer é ir eliminando os menores números à medida que formos descobrindo e descrevendo mais e mais espécies. Ou seja, quando atingirmos o número de 5 milhões de espécies descritas pelos sistematistas sabemos que o número de espécies da Terra tem que ser maior do que isso.

No entanto, na história do nosso planeta, a diversidade nem sempre foi tão grande quanto observamos hoje em dia. Essa diversidade variou imensamente dependendo das taxas de **ESPECIAÇÃO** e **EXTINÇÃO** das espécies. Isso significa que a diversidade aumentou em períodos em que a taxa de especiação superou largamente a taxa de extinção. Essas épocas são denominadas de Grandes Radiações. Um dos maiores exemplos de grandes radiações foi o que se denominou explosão do Cambriano, há

ESPECIAÇÃO

É um processo onde ocorre o isolamento reprodutivo de populações que originalmente se inter cruzavam.

EXTINÇÃO

É a eliminação de um táxon (isto é, uma espécie, um gênero, uma família etc.), por causas naturais ou antropogênicas.

cerca de 550 milhões de anos

Por outro lado, a diversidade diminuiu em períodos que a taxa de extinção superou largamente a taxa de especiação. Essas épocas são denominadas Grandes Extinções. Certamente, a mais conhecida das grandes extinções foi aquela que dizimou os dinossauros há 65 milhões de anos e que é conhecida como extinção do Cretáceo. Grandes extinções marcam o final de períodos geológicos, como podemos perceber na Figura 1.

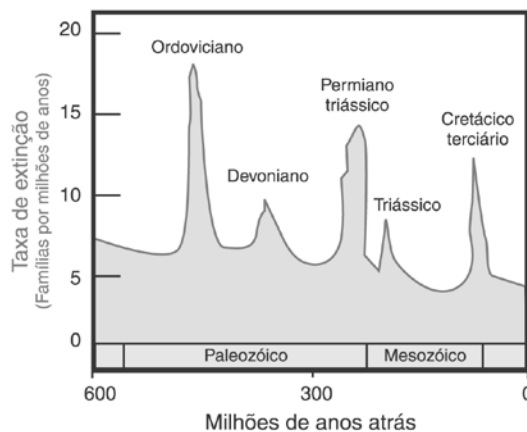


Figura 1: Variação da diversidade das espécies vivas em diferentes períodos da história da vida na Terra.

Uma questão interessante que marca esses períodos é a recuperação da diversidade logo após uma extinção. Na realidade, quanto maior o evento de extinção, maior e mais rápida é a recuperação da diversidade. Por que acontece isso? Isso acontece por dois motivos. O primeiro é a seletividade que marca os períodos de extinção. Ou seja, já tivemos inúmeros eventos de extinção, mas podemos contar nos dedos os grandes grupos de organismos que desapareceram. A razão é simples, as extinções eliminam organismos que competem por recursos e habitats com organismos mais bem adaptados do que eles. Em períodos de extinção, a seleção natural vai também atuar como aquela peneira que vimos no início da aula. Isto é, os organismos mais aparentados (por exemplo, pertencentes a um mesmo gênero) são eliminados e os grandes grupos (como por exemplo as ordens e as famílias) são preservados.

Um exemplo vai ajudá-lo a compreender melhor essa questão. A extinção dos dinossauros é a mais estudada, mas nem de longe foi a pior de todas as extinções. A pior foi a do final do Permiano. Essa extinção

dizimou cerca de 95% das espécies que habitavam a Terra naquela época. Se essa extinção tivesse eliminado mais 5% do que fez, não estaríamos aqui para contar essa história!

Entretanto, se pensarmos em termos de famílias, ou seja, de grupos mais abrangentes, a extinção eliminou apenas 50%. Isso significa que apesar de 95% das espécies estarem extintas depois do Permiano, apenas 50% das famílias também se foram. Como falamos anteriormente, a razão é simples, indivíduos da mesma família competem mais por recursos do que competem indivíduos de famílias diferentes. Assim, os grandes grupos de espécies (famílias, ordens, filos) são preservados na maior parte dessas extinções.

A EXTINÇÃO ATUAL

Podemos dizer que hoje estamos vivendo um período de extinções, pois inúmeras espécies se encontram ameaçadas ou mesmo já foram extintas pela ação do ser humano. A extinção de hoje é mais grave, pois não preserva essa diversidade dos grupos numa extinção natural. Por isso, grupos inteiros de organismos muito próximos a nós evolutivamente tendem a desaparecer. Baleias, felinos e outras tantas espécies podem se tornar desconhecidas das gerações futuras que só terão conhecimento delas através da vitrine de um museu de História Natural com seus fósseis.

As espécies mais ameaçadas por nós não são aquelas que perderam na competição por recursos ou por espaço. São aquelas que, mortas, fornecem algum benefício ao ser humano, como os elefantes com suas presas extraídas por causa do marfim. Outro exemplo é a onça que mata animais do rebanho para se alimentar e provoca a ira do fazendeiro. Alguns animais ainda estão ameaçados apenas por habitarem uma área determinada. Estimamos que hoje exista apenas 5% da Mata Atlântica que havia na costa brasileira quando os portugueses aqui chegaram. Os animais que habitavam essa área desmatada obviamente se extinguíram. Há muito nos esquecemos de compartilhar nossos recursos e nosso ambiente com os organismos que habitam este planeta (em alguns casos, há muito mais tempo do que nós).

É hora de nos darmos conta da importância de toda e qualquer forma de vida e tentar preservá-la, para que nossos filhos, netos e bisnetos desfrutem da mesma sensação que temos quando olhamos para uma floresta bem preservada, para um macaco fazendo cambalhotas nas ár-

vores, para um pássaro dando um rasante para pegar um peixe.

GRANDES FLUTUAÇÕES DA DIVERSIDADE

As espécies se mantêm como unidades discretas e coesas, através da reprodução entre indivíduos e da produção da próxima geração pelos indivíduos da geração anterior. Darwin já percebia a importância da visão genealógica na evolução das espécies. Isso o levou a perceber inúmeros padrões de continuidade e de relacionamentos. Entretanto, Darwin acreditava que as interações bióticas entre as espécies eram primordiais e explicativas de tudo. As espécies se extinguíam puramente por competição, ignorando as causas físicas, geológicas e climáticas. Ou seja, para ele os fatores preponderantes que delineavam a evolução das espécies eram bióticos e não-abióticos. Mas o que faz acontecer uma extinção ou uma radiação de espécies? Na realidade, a relação entre essas duas taxas depende de uma série de fatores, tais como:

- **Recursos e habitats disponíveis** – *Quanto maior a disponibilidade de recursos (ex.: água, comida) e de habitats (ex.: abrigos, etc.) maiores devem ser as taxas de especiação. Isso porque se uma espécie tem comida e ambiente mais do que suficientes para sobreviver, o número de indivíduos dela tende a aumentar. Por sua vez, com o aumento no número de indivíduos a espécie tende a se expandir geograficamente e com isso aumenta também a possibilidade de especiação.*
- **Interações entre as espécies** – *Quanto maior o número de espécies compartilhando o mesmo nicho ou nichos semelhantes, maior será a competição entre essas espécies por espaço e por alimento e maior a possibilidade de extinção. Por outro lado, outros tipos de interação entre as espécies, como mutualismo, podem estimular as espécies em questão e nesse tipo de interação ambas as espécies são beneficiadas por ela.*
- **Mudanças climáticas** – *O clima de um local tem grande influência sobre as espécies que habitam esse local. Por exemplo, se o clima for seco e árido, depois de um período longo de chuvas, as espécies tendem a se espalhar e a se multiplicar e novas espécies serão formadas.*
- **Adaptações** – *Algumas adaptações são tão importantes que permitem à espécie prosperar e se multiplicar. Por exemplo, os dinossauros dominaram o planeta porque, diferentemente dos anfíbios, eles não precisavam reproduzir-se na água. Os dinossauros, como todos os répteis, aves e mamíferos, formam o grupo Amniota. Todos os membros do grupo*

possuem um saco amniótico que permite ao animal reproduzir-se sem que o embrião sofra dessecação.

- **Catástrofes** – *As grandes catástrofes são períodos onde um determinado local sofreu uma forte influência geológica. Nesse caso, o ambiente que as espécies habitavam mudou drasticamente e com isso muitas espécies irão desaparecer. Um exemplo de uma catástrofe foi no Final do Permiano, há cerca de 250 milhões de anos. Essa extinção, considerada a maior de todas, aconteceu em decorrência do movimento tectônico que agrupou todos os continentes, diminuindo drasticamente a área de águas rasas onde a maior parte da diversidade da época habitava.*

Texto base 14

AMARRANDO AS IDEIAS: VARIABILIDADE GENÉTICA E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES À LUZ DA EVOLUÇÃO E DA ECOLOGIA

A complexidade da Biologia certamente se deve a vários fatores, mas aqui destacamos um. A Biologia é uma ciência que abrange muitos níveis de organização. Essa característica também implica um desafio a mais no ensino de Biologia. É preciso mostrar aos alunos as interações entre fenômenos que ocorrem nesses diferentes níveis, como o molecular, o celular e o de ecossistemas. Os PCN tratam dessa questão, quando afirmam:

"É objeto de estudo da Biologia o fenômeno vida em toda sua diversidade de manifestações. Esse fenômeno caracteriza-se por um conjunto de processos organizados e integrados, no nível de uma célula, de um indivíduo, ou ainda de organismos no seu meio. Um sistema vivo é sempre fruto da interação entre seus elementos constituintes e da interação entre esse mesmo sistema e demais componentes de seu meio. As diferentes formas de vida estão sujeitas a transformações, que ocorrem no tempo e no espaço, sendo, ao mesmo tempo, propiciadoras de transformações no ambiente."

Não é à toa que muitas coleções de livros didáticos, no passado e ainda hoje, seguem a lógica do aumento progressivo da complexidade para dividir o conteúdo do Ensino Médio. Atribuem ao 1º volume o estudo da citologia, abrangendo os níveis moleculares e celulares. O 2º volume aborda o estudo da Anatomia e Fisiologia comparada dos seres vivos, incluindo os níveis dos órgãos, sistemas e do organismo por inteiro. O 3º volume, por fim, discute os temas integradores da Biologia: a Genética, a Evolução e a Ecologia. Tais coleções acreditam que seguir o progressivo aumento de complexidade facilitaria o ensino por tornar mais fácil a percepção das interações entre esses níveis.

Sabemos, porém, que essa opção de ensino traz alguns problemas.

Por exemplo, inserir logo no início da 1ª série do Ensino Médio conceitos de Bioquímica para alunos que ainda não possuem uma boa base em Química. Deixar o ensino da reprodução humana, assunto de interesse dos alunos e de importância cabal nos dias de hoje, para a 2ª série. Além disso, essa divisão empurra temas como Evolução e Ecologia para a 3ª série, abrindo mão do seu papel de integração. Nos últimos anos, assistimos a vários rearranjos dos conteúdos por parte dos livros didáticos e de vários professores na tentativa de superar esse problema.

O currículo mínimo não deixa de ser uma experiência nesse sentido. Mas qualquer alternativa cria o desafio de integrar para o aluno os diferentes níveis de organização da Biologia. Para isso, precisamos mostrar aos alunos como fenômenos no nível molecular, como mutação e permutação, interação entre si e com o nível celular - segregação independente, diversidade de gametas - e estes com os níveis das populações e comunidades, ou seja, a diversidade intra e interespecífica.

Procure identificar com seus alunos o nível de organização biológica ao qual pertence o fenômeno em estudo. Por exemplo: a permutação pertence ao nível molecular já que ocorre entre moléculas de DNA. A variedade de gametas que podem aparecer devido à permutação pertence ao nível celular. E os diversos filhos de um casal, resultado do encontro de diferentes gametas, pertence ao nível das populações. Esse exercício ajudará os alunos a integrar corretamente eventos micro e macroscópicos.

Nossa opção foi a de, respeitando o currículo mínimo, valorizar a Evolução como eixo integrador da Biologia. Nosso desafio agora foi mostrar que a ligação entre os processos genéticos geradores de variabilidade e os diferentes níveis de diversidade só podem ser compreendidos à luz da Evolução e da Ecologia, como também aconselham os Parâmetros Curriculares Nacionais:

“As relações entre alterações ambientais e modificações dos seres vivos, estas últimas decorrentes do acúmulo de alterações genéticas, precisam ser compreendidas como eventos sincrônicos, que não guardam simples relação de causa e efeito; a variabilidade, como consequência de mutações e de combinações diversas de material genético, precisa

ser entendida como substrato sobre o qual age a seleção natural; a própria ação da natureza, selecionando combinações genéticas que se expressam em características adaptativas, também precisa considerar a reprodução, que possibilita a permanência de determinado material genético na população. A interpretação do processo de formação de novas espécies demanda a aplicação desses conceitos, o que pode ser feito, por exemplo, pelos alunos, se solicitados a construir explicações sobre o que poderia determinar a formação de novas espécies, numa população, em certas condições de isolamento geográfico e reprodutivo.”

O mapa conceitual a seguir aborda os processos genéticos relacionados com a diversidade das espécies à luz da Evolução e da Ecologia.

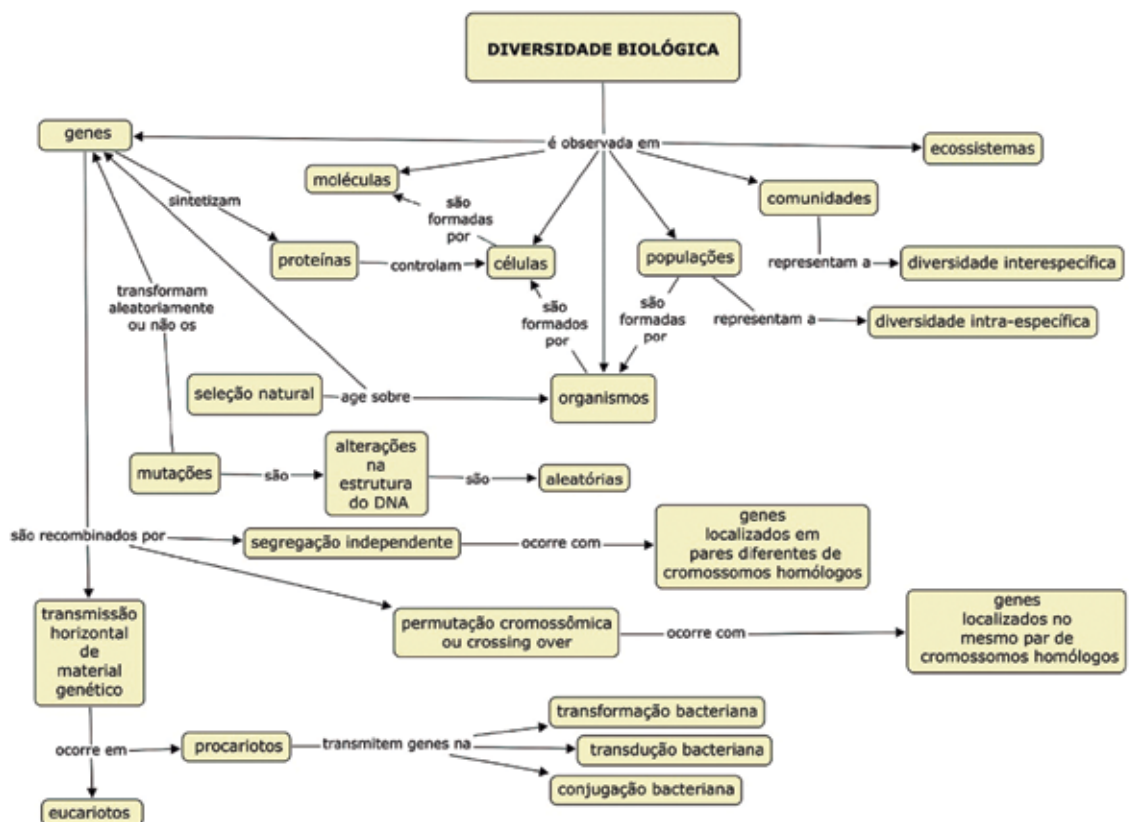


Figura 1: Mapa conceitual - diversidade biológica.

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

Vamos refletir sobre a importância de avaliar nossos alunos de forma variada. Isso permite valorizar os seus diferentes talentos: alguns escrevem melhor, outros têm maior facilidade de comunicação oral etc. Além disso, quando diversificamos a avaliação, podemos estimular o desenvolvimento de outras habilidades, além da resposta escrita, que predomina em questões de prova.

Os estudos dirigidos e as apresentações produzidas a partir de atividades práticas e excursões de campo também são ótimas oportunidades para avaliar o aprendizado de nossos alunos.

Uma sugestão é a utilização de vídeos disponíveis na Internet, textos de jornais e periódicos de divulgação científica que podem ser boas fontes de discussão de temas atuais. Debates e trabalhos escritos podem ser feitos a partir deles.

Sugerimos que a avaliação seja contínua, fazendo parte de todo processo como uma forma de diagnóstico do ensino-aprendizagem. Dessa maneira, podemos evitar descobrir apenas no final da unidade, na famosa “prova”, que os alunos não compreenderam os conceitos sobre o tema.

Além da prova individual e sem consulta, que também tem o seu valor, podemos realizar provas em dupla e com consulta. Uma prova com consulta bem elaborada ajuda a diminuir o tradicional aspecto “decoreba” do ensino de Biologia. Sendo feita em dupla, a avaliação favorece a discussão para resolução de problemas, envolvendo raciocínio e interpretação de dados.

Além de uma avaliação diversificada, é importante oferecer ao aprendiz questões com diferentes níveis de dificuldade e oportunidades de usar diversos tipos de habilidades: memorização, classificação, comparação, aplicação dos conceitos aprendidos em situações novas.

Um resultado majoritariamente negativo da avaliação não deve ser visto apenas como fracasso dos alunos. Deve servir para repensarmos criticamente nossos objetivos, estratégias pedagógicas e até mesmo a qualidade da avaliação proposta.