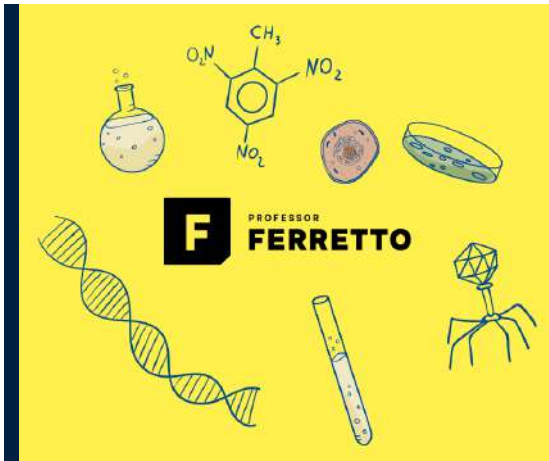


# Biologia

PROFESSOR FLÁVIO LANDIM



## ASSUNTOS DA AULA.

Clique no assunto desejado e seja direcionado para o tema.

- [Fatores evolutivos: variabilidade, seleção natural e adaptação](#)
- [Variabilidade genética](#)
- [Mutações](#)
- [Recombinação gênica](#)
- [Seleção e adaptação](#)
- [Alguns mecanismos de adaptação](#)
- [Exemplos de seleção natural](#)
- [Tipos de seleção natural](#)

## FATORES EVOLUTIVOS: VARIABILIDADE, SELEÇÃO NATURAL E ADAPTAÇÃO

Anteriormente, foi apresentada a ideia de seleção natural, postulada por Darwin. Foi dito também que havia uma lacuna na teoria darwinista: a origem da variação hereditária não tinha sido explicada satisfatoriamente, devido ao total desconhecimento, naquela época, das leis genéticas. Os avanços da genética no início do século XX vieram complementar a teoria da seleção natural. De maneira muito simplificada, de acordo com a **Teoria Sintética da Evolução** ou **Neodarwinismo**, pode se dizer que a evolução depende basicamente do binômio variação/seleção. Uma boa compreensão dos mecanismos evolutivos implica então conhecermos as causas da variação, e também o papel da seleção natural.

## VARIABILIDADE GENÉTICA

A variabilidade genética é a base para a evolução, ocorrendo basicamente devido a dois fenômenos biológicos: **mutações e recombinação gênica**.

## MUTAÇÕES

O conceito de **mutação** foi apresentado pela primeira vez pelo naturalista Hugo De Vries, um dos redescobridores dos trabalhos de Mendel. De Vries estudava a hereditariedade de uma planta, a *prímula*. De vez em quando, apareciam na planta características novas que não haviam ocorrido em nenhum dos ancestrais já estudados. Foi proposta a hipótese de que essas modificações eram causadas por alguma mudança brusca em um dos genes (mutação), que daí por diante era transmitido na forma modificada (mutada) aos descendentes. **Os diferentes alelos de um gene surgiriam por mutação, o que explicaria a origem da variação genética nos organismos.**

Então, a mutação é uma modificação brusca do genótipo, passível de ser transmitida à descendência. Há dois tipos bási-

cos de mutações: as **mutações gênicas**, que consistem na modificação de apenas um gene, e as **mutações cromossômicas**, que envolvem uma alteração na estrutura ou número de cromossomos.

A mutação gênica muitas vezes decorre da mudança de uma ou mais bases nitrogenadas ao longo da molécula de DNA; erros ocasionais durante a duplicação podem levar a esse resultado. A modificação de sequência no DNA ocasiona mudança no RNAm e, conseqüentemente, a proteína produzida terá um ou mais aminoácidos diferentes. Conhece-se a importância das proteínas para o metabolismo celular; não é de estranhar, portanto, que uma proteína modificada cause alteração no fenótipo.

## RECOMBINAÇÃO GÊNICA

Outro fator importantíssimo que origina variabilidade é a **recombinação genética ou gênica**, característica da reprodução sexuada. É necessário entender que a seleção natural não age sobre genes isolados, mas sim sobre o conjunto de genes que o indivíduo apresenta (genótipo). A recombinação genética promove o aparecimento não de genes novos, mas sim de genótipos novos.

A recombinação gênica se processa por três mecanismos básicos: **segregação dos cromossomos na meiose**, **crossing over** e **fecundação**. (Na verdade, qualquer mecanismo de reprodução sexuada é considerado recombinação gênica. Em bactérias, por exemplo, conjugação, transdução e transformação são consideradas mecanismos de recombinação.)

## SELEÇÃO E ADAPTAÇÃO

Vimos que há dois principais fatores de evolução: o primeiro é a variabilidade genética, sobre a qual age o segundo fator: a seleção natural. O capítulo anterior foi dedicado à discussão das diferentes causas da variabilidade: a mutação gênica, as mutações cromossômicas e finalmente a recombinação gênica. A variabilidade é o substrato sobre o qual a seleção age, "escolhendo" os genótipos mais adaptados a um certo ambiente. Se o ambiente for estável, a cada geração ocorre uma fixação cada vez maior dos fenótipos adaptados. Veja que o significado da palavra adaptação, aqui, é totalmente diferente da adaptação individual, que não é transmitida.

## ALGUNS MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO

### CAMUFLAGEM

**Camuflagem** é uma situação em que o indivíduo simula a cor (**homocromia**) e ou o formato de alguma estrutura (**homotipia**) do meio, viva ou não, de modo a se tornar imperceptível para predadores ou presas.

O bicho-pau é um inseto semelhante a gravetos, o que acaba confundindo pássaros. Tigres, por exemplo, apresentam listras verticais para se esconderem no capim alto das savanas indianas. Orcas e pinguins possuem costas negras para que os animais que esteja, acima deles os confundam com o fundo escuro dos oceanos, e barrigas brancas para que os animais que estejam abaixo deles os confundam com a claridade

do sol fora d'água. Polvos e camaleões chegam a mudar de cor para simular a cor do meio. A mudança de cor em polvos e camaleões é devido a estruturas denominadas **cromatóforos**.

### MIMETISMO

**Mimetismo** é uma situação em que o indivíduo tenta se passar por outra espécie, de modo a inibir a ação de eventuais predadores. Dois importantes exemplos de mimetismo são mimetismo batesiano e o mimetismo mülleriano.

No **mimetismo batesiano ou mímecria**, um indivíduo inofensivo (o imitador) adquire as formas e as cores de outro mais agressivo ou venenoso, para intimidar seus predadores. A borboleta vice-rei, não venenosa, imita a borboleta monarca, venenosa, assim como a cobra coral falsa, não peçonhenta, imita a cobra coral verdadeira peçonhenta. Em ambos os casos, agressores evitam a borboleta vice-rei e a cobra coral-falsa com receio de se confundirem com as espécies mais perigosas. Alguns autores reservam o nome mímecria só para esse caso.



Casos de mimetismo batesiano. Em cima, borboleta monarca, impalatável (tóxica) e borboleta vice-rei, palatável. Em baixo, cobra coral-verdadeira peçonhenta, e cobra coral-falsa, não peçonhenta.

No **mimetismo mülleriano**, um mesmo padrão identifica um grupo de espécies com um padrão semelhante de comportamento. Por exemplo, as listras pretas e amarelas das abelhas

e das vespas as identifica como todo um grupo de insetos dotados de ferrão. Um predador, ao ter experiências desagradáveis com alguns desses indivíduos, acaba por associá-las ao grupo todo. O mimetismo também pode ser utilizado para atrair presas e para se confundir com o meio ambiente.

## COLORAÇÃO DE ADVERTÊNCIA OU APOSEMATISMO

**Coloração de advertência** é uma situação em que o indivíduo apresenta uma cor chamativa para alertar predadores para o fato de serem venenosos. As cores usadas na coloração de advertência, como vermelho, verde, amarelo ou laranja, são chamadas de **cores aposemáticas**. A borboleta monarca é laranja e preta, assim como a cobra coral verdadeira é vermelha e preta: ambos são animais venenosos.

## EXEMPLOS DE SELEÇÃO NATURAL

### MELANISMO INDUSTRIAL

As populações inglesas de uma determinada espécie de mariposas, *Biston betularia*, sofreram nos últimos 130 anos uma evolução muito grande com relação à cor. Essas mariposas existem sob duas formas: uma, clara, com leves manchas escuras, que, quando pousa sobre troncos cobertos de líquens, é praticamente invisível, por confundir-se com o substrato. O surgimento da outra variedade foi registrado por volta de 1850: nessas mariposas a cor era uniformemente escura, porém era muito mais difícil ser encontrada do que a variedade clara.

Com a industrialização crescente

de várias regiões inglesas, a fuligem produzida pelas fábricas enegreceu lentamente muros e troncos de árvores. Progressivamente, nas regiões industriais, a variedade escura ficava cada vez mais numerosa, substituindo a variedade clara, sendo que na atualidade esse fenômeno generalizou-se, e é chamado *melanismo industrial*.

No início, pensou-se que a coloração era devida à fuligem ingerida pelas mariposas; mas notou-se mais tarde que a cor é hereditária e depende de um par de genes, sendo a variedade escura condicionada por um gene dominante.

Uma hipótese, confirmada depois por experimentos, propunha que teria havido uma seleção efetuada pelos pássaros: sobre os troncos escuros, as formas claras ficavam muito mais visíveis, e eram predadas com maior facilidade. Ao contrário, as formas escuras confundiam-se perfeitamente com o ambiente.

Em conclusão, as mariposas claras, enquanto viviam num ambiente sem fuligem, tinham maiores probabilidades de sobrevivência e produziam mais filhos iguais a elas do que as escuras, constantemente atacadas pelos pássaros. Fixaram-se assim os genótipos causadores do caráter claro. Um pequeno número de mariposas escuras sempre aparecia, devido ao fenômeno da *mutação*. Modificando-se drasticamente o ambiente com a fuligem, o gene para cor escura torna-se agora *altamente adaptativo*; a situação se inverte, as mariposas melânicas sobrevivem melhor e têm maior oportunidade de transmitir seu genótipo, agora favorável, aos seus descendentes.

Quando falamos então em "caráter adaptativo", no caso da Evolução, isso somente adquire significado se for es-

pecificado o ambiente.

### Tome nota:

## SICLEMIA (ANEMIA FALCIFORME) NA ÁFRICA

Outro caso bem estudado de seleção em populações naturais relaciona-se com uma doença hereditária, chamada anemia falciforme, na qual há produção de moléculas de hemoglobina com um aminoácido trocado: nessa doença, os glóbulos vermelhos apresentam-se deformados e são pouco eficientes em termos de transporte de oxigênio. Os homocigotos para a siclemia (SS) raramente atingem a idade adulta, morrendo normalmente até os 5 anos de idade. O heterocigoto (Ss) fabrica tanto hemoglobina normal quanto hemoglobina siclêmica; suas hemácias, em baixa tensão de  $O_2$ , ficam arqueadas. Apesar disso, esses indivíduos sobrevivem normalmente.

De modo geral, o gene para a anemia falciforme é mantido em taxas baixas nas populações; pelo fato de os homocigotos não atingirem a idade de reprodução, seus genes não são transmitidos às gerações seguintes. O gene se mantém apenas em heterocigose.

Porém, em determinadas populações da África Oriental, Grécia e Índia, a frequência de heterocigotos revelou-se surpreendentemente alta, atingindo às vezes 40%. Essa alta taxa somente se explicaria caso os heterocigotos levassem alguma vantagem adaptativa em relação aos homocigotos normais. O problema foi investigado; verificou-se que as regiões de alta incidência do gene S, coincidentemente, eram áreas onde havia malária em grande escala. Uma das hipóteses levantadas foi de que os heterocigotos eram imunes à malária. Essa ideia foi confirmada experimentalmente através da injeção de *Plasmodium* da malária em heterocigotos para a siclemia; apesar disso, não contraíram malária.

A resistência dos siclêmicos à malária parece ser produzida pelo seguinte mecanismo: o protozoário, ao penetrar no glóbulo vermelho, consome  $O_2$ . A hemácia siclêmica, em tensão baixa de  $O_2$ , modifica sua forma, ficando com a forma de uma foice. Células desse tipo são mais rapidamente atacadas por leucócitos, que as destroem junto com os parasitas que elas contêm. Assim, o protozoário não se dissemina no organismo pela circulação.

Possuir o gene para a siclemia em heterocigotos representa então, nas regiões com malária, uma vantagem adaptativa sobre não possuí-lo. Naquele ambiente, a seleção natural favorece então o gene S quando em heterocigose, apesar de continuar a eliminá-lo quando aparece em homocigose.

## RESISTÊNCIA AOS ANTIBIÓTICOS

Antibióticos são drogas usadas no controle de infecções bacterianas. Muitos antibióticos, inicialmente usados com sucesso contra bactérias patogênicas, parecem atualmente ter perdido toda sua eficiência. Sabe-se também que o uso continuado de um mesmo antibiótico para tratar de repetidas infecções de garganta, por exemplo, acaba sendo totalmente ineficaz.

Da mesma forma, em laboratório, determinadas bactérias que não conseguiam sobreviver em meio de cultura com antibióticos, de repente se mostram resistentes à droga, tolerando-a e continuando a desenvolver-se em sua presença.

O aparecimento dessa resistência poderia ser interpretado de duas maneiras:

- As bactérias "se adaptam" individualmente ao antibiótico; em outras palavras, o antibiótico induziu as bactérias a modificarem seu metabolismo, no sentido de se tornarem resistentes.
- O antibiótico não induziu diretamente à resistência, porém selecionou na população indivíduos que já eram resistentes por mutações espontâneas.

A primeira ideia implica a aceitação da transmissão de caracteres adquiridos para a descendência, o que não é correto. A segunda hipótese é a verdadeira. De fato, foi constatado experimentalmente que já existem nas populações de bactérias indivíduos com os genes para a resistência aos antibióticos, surgidos espontaneamente, por mutações. O uso de antibióticos elimina da população os exemplares não resistentes. Os resistentes se reproduzem e transmitem a seus descendentes os genes para a resistência, adaptando assim a população. O antibiótico não induziu a adaptação, apenas selecionou os indivíduos resistentes, que se reproduzem, tornando assim toda a população imune ao antibiótico.

Assim, o surgimento de bactérias resistentes a um antibiótico se dá por **mutações** que criam **genes** que codificam **enzimas** que **destroem o antibiótico**, como, por exemplo, a **enzima penicilinase** (também conhecida como beta-lactamase) para **destruir o antibiótico penicilina** (que se apresenta em várias formas, como a amoxicilina e a benzilpenicilina). As mutações que geram resistência são **espontâneas** (não sendo induzidas pelos antibióticos), raras e de efeito aleatório (normalmente deletério).

Dessa forma, pode-se argumentar que, de certa forma, uma bactéria ficar resistente a um antibiótico é como ganhar na loteria,

sendo a probabilidade muito baixa. No entanto, assim como é muito difícil alguém ganhar na loteria, mas, como muitas pessoas apostam, alguém acaba ganhando, é muito difícil uma bactéria ficar resistente a um antibiótico, mas, como há muitas bactérias num meio, alguma acaba por se tornar resistente. Ao usar o antibiótico, a maioria das bactérias, que são susceptíveis, acabam sendo eliminadas, mas as resistentes sobrevivem e são selecionadas.

#### **Alguns comportamentos facilitam a seleção de bactérias resistentes:**

- **Má indicação do antibiótico.** Antibióticos agem contra bactérias, mas não contra vírus ou fungos, de modo que o uso de antibióticos contra doenças virais ou fúngicas, além de não combater a doença, ajuda a selecionar bactérias resistentes eventualmente presentes no corpo do doente. Até 2010, era possível a compra de antibióticos nas farmácias brasileiras sem receita médica, o que levava a uma grande incidência de **automedicação** por antibióticos. Com a restrição a venda de antibióticos no Brasil a partir desse ano, a venda dos mesmos só pode ser feita com receita médica, o que diminui a automedicação e os riscos de seleção de bactérias resistentes.

- **Subdosagem.** O abandono do tratamento com antibióticos antes do momento apropriado leva o indivíduo a ingerir uma dose menor do que a adequada do antibiótico, facilitando a seleção de bactérias resistentes.

Um exemplo: para crises de garganta como na amigdalite, médicos podem prescrever amoxicilina (um tipo de penicilina) por dez dias. Normalmente, os sintomas da doença desaparecem com poucos dias de uso. Isso não significa que o indivíduo está curado, mas que a maioria das bactérias foram eliminadas, restando tão poucas que não deixam sintoma algum. Essas poucas bactérias, no entanto, são justamente as mais resistentes. Os demais dias de uso são para tentar eliminar essas bactérias resistentes, aproveitando que elas são poucas e produzem pouca enzima penicilinase, de modo que não conseguem destruir a penicilina. Se, no entanto, o paciente abandona o tratamento logo que os sintomas desaparecem e não completa o mesmo, as poucas bactérias resistentes se multiplicam, e agora passam a produzir grandes quantidades de enzima penicilinase, destruindo o antibiótico, que não mais funciona. A solução nesse caso é trocar o tipo de antibiótico, uma vez que, para aquela infecção, a penicilina não mais adianta.

Tratamentos mais curtos são preferidos porque implicam numa menor possibilidade de abandono do tratamento. Por outro lado, tratamentos mais longos são mais arriscados porque implicam numa maior possibilidade de abandono do tratamento. No caso da tuberculose, por exemplo, o tratamento é muito longo, durando meses, facilitando o abandono do tratamento e levando à seleção de bactérias resistentes. Tanto é que, devido à alta prevalência de bactérias resistentes, atualmente, tuberculose é muito difícil de ser tratada, exigindo um coquetel de antibióticos para seu tratamento.

Qual o sentido de usar um **coquetel de antibióticos**, ou seja, uma combinação de alguns antibióticos diferentes, para tratar uma mesma doença? Como a resistência a antibióticos surge por mutações espontâneas e de baixa frequência, já é difícil que uma bactéria seja resistente a um antibiótico, sendo, pois, muito difícil que uma mesma bactéria seja resistente a mais de um antibiótico diferente. Assim, o **uso simultâneo de alguns antibióticos diferentes diminui o risco de seleção de bactérias resistentes**. Num meio, pode haver algumas bactérias resistentes a um antibiótico X e algumas bactérias resistentes a um antibiótico Y, de modo que só o uso de X ou o uso de Y não eliminaria todas as bactérias. Já o uso simultâneo de X e Y eliminaria todas as bactérias.

O risco do uso do coquetel é haver uma bactéria que tenha sofrido mutações para ser resistente simultaneamente a X e Y, o que é pouco provável, mas não impossível. Isso quer dizer que, ao usar a combinação X + Y, seria selecionada uma bactéria simultaneamente resistente a X e Y, gerando uma linhagem de **superbactérias**. Superbactérias são bactérias multirresistentes a antibióticos, ou seja, resistentes a vários antibióticos diferentes simultaneamente. Elas são selecionadas principalmente quando o uso de coquetéis de antibióticos é interrompido de forma inadequada, o que quer dizer que o abandono do tratamento com coquetéis de antibióticos é particularmente perigoso na seleção de bactérias resistentes.

A ideia do coquetel não surgiu para bactérias, mas para o tratamento do HIV, com o **coquetel anti-HIV**. A AIDS surge em 1980, e em 1984, já chega no mercado o primeiro medicamento contra o HIV, denominado AZT. No mesmo ano, já havia vírus resistentes ao AZT. Daí, novas drogas foram desenvolvidas, como 3TC, DDC etc. Num primeiro momento, usava-se uma droga de cada vez, havendo gradativamente a seleção de vírus resistentes a cada uma das drogas. Em 1993, médicos resolveram usar uma abordagem diferente: um coquetel de drogas anti-HIV usadas simultaneamente para diminuir a seleção de vírus resistentes, o que se mostrou muito eficiente. Tanto é que a alta taxa de letalidade da AIDS nos anos 1980 foi substituída por uma baixa taxa de letalidade para a mesma a partir do final dos anos 1990, de modo que a AIDS praticamente não mata mais nos dias atuais.

## RESISTÊNCIA A INSETICIDAS

A **resistência aos inseticidas** é um fenômeno semelhante aos discutidos no fenômeno de resistência aos antibióticos. O DDT e seus derivados, quando apareceram, tiveram absoluto sucesso na luta contra os insetos. Porém, gradativamente deixaram de ter efeito sobre populações inteiras, que aparentavam ter adquirido resistência a seus efeitos. O mosquito transmissor da malária, o *Anopheles*, por exemplo, é resistente a esses inseticidas em um bom número de países.

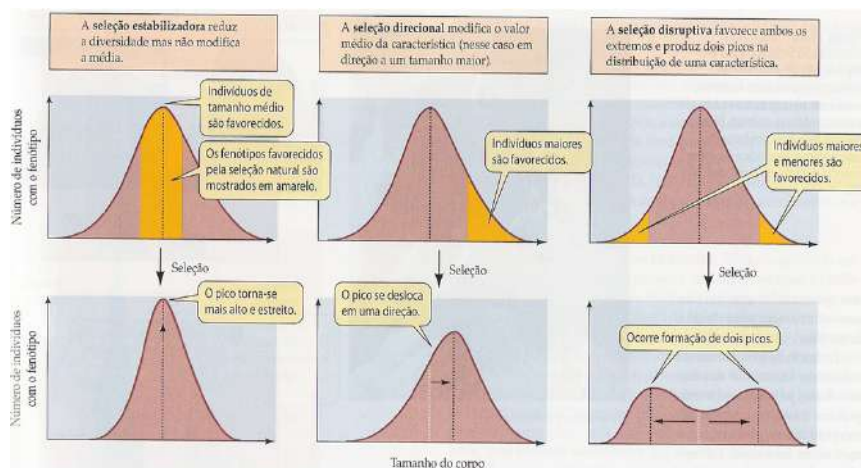
## TIPOS DE SELEÇÃO NATURAL

A seleção natural pode ser classificada, de acordo com o conjunto de fenótipos favorecidos na população, em função das características ambientais, em **seleção natural direcional**, **seleção natural estabilizadora** e **seleção natural disruptiva**.

- **Seleção natural direcional** é aquela que favorece um dos fenótipos extremos (máximo ou mínimo). É a mais comum forma de seleção natural.

- **Seleção natural estabilizadora** é aquela que ocorre em ambientes estáveis e constantes, eliminando fenótipos desviantes e favorecendo fenótipos médios.

- **Seleção natural disruptiva** é aquela que ocorre favorecendo os indivíduos de fenótipos extremos, eliminando os indivíduos de fenótipos médios. Foi verificado um exemplo de seleção disruptiva em populações de plantas que crescem em regiões próximas a minas de chumbo ou zinco. Certas áreas do solo, onde os rejeitos são jogados, têm alto índice de contaminação, mantendo fronteiras bem definidas com áreas não contaminadas. Plantas que se desenvolvem bem em solo não contaminados morreriam em solos contaminados. Por outro lado, plantas capazes de sobreviver em solos contaminados levam grandes desvantagens nas áreas sem contaminação, pois perdem na competição com as plantas lá estabelecidas. Consequentemente a seleção disruptiva nessas regiões levou ao desenvolvimento de dois tipos de planta, marcadamente distintos em vários aspectos, um adaptado a áreas não contaminadas e outros a áreas contaminadas. Os fenótipos medianos são desfavorecidos em ambos os ambientes.



## SELEÇÃO SEXUAL

Na **seleção sexual**, um parceiro sexual seleciona uma característica no outro parceiro que indica a qualidade dos genes do mesmo. Normalmente, como o custo energético na produção de gametas pelo macho é pequeno, o mesmo pode aumentar sua chance de propagar seus genes aos descendentes utilizando a estratégia de cruzar com o máximo de fêmeas possível. Mas, como o custo energético na produção de gametas pela fêmea é alto na maioria das espécies animais, havendo muitas vezes um número limitado de óvulos que a mesma produz ao longo de sua vida reprodutiva, é interessante que a fêmea escolha um parceiro de genes saudáveis que, combinados aos dela, gere descendentes com maior chance de sobrevivência, aumentando a chance de propagação de seus genes. A maneira que a fêmea tem de avaliar a qualidade dos genes do parceiro é analisando algumas características no mesmo.

Em pavões, os machos apresentam cauda longa e colorida como um fator de atração para as fêmeas, que favorecem machos portadores dessa característica. O fato de a cauda ser utilizada como fator de seleção se justifica por argumentos de seleção natural: como a cauda longa e colorida dificulta a fuga de predadores, devido ao seu peso e sua cor, somente machos com genes que os torna muito rápidos e fortes conseguem atingir a idade adulta com a cauda intacta, que indica então a qualidade dos genes do macho.

Nos peixes, a coloração que os machos adquirem na época da reprodução é um importante fator de atração das fêmeas. Apesar de a "cor" ou o "brilho" do macho representarem para seu portador maior probabilidade de ser atacado por seus inimigos, ao mesmo tempo favorece a fixação de seu genótipo, já que ele se acasala e se multiplica com maior facilidade. A cor dos peixes age de modo semelhante à cauda do pavão, indicando a qualidade de genes do parceiro.

Na maioria das aves, o canto é utilizado pelos machos para a demarcação de seus territórios, no fenômeno ecológico de territorialidade. Indiretamente, entretanto, o canto acaba por atrair as fêmeas, que buscam então os machos de melhor território, ou seja, portadores de genes que trazem vantagens sobre seus competidores. Novamente, os melhores territórios ocupados por certos machos indicam a qualidade de seus genes.

Quando antes do acasalamento ocorre luta entre os machos, é óbvio que os mais fortes e agressivos têm maiores oportunidades de reprodução, portanto de transmitir seus genes à futura descendência, sendo que esses devem ser os que possuem genes de maior qualidade.

Todo raciocínio de seleção sexual tem uma conotação de seleção natural envolvida, uma vez que a característica selecionada pelo parceiro tem a ver com indicar a qualidade dos genes do mesmo.

## COEVOLUÇÃO

Outro importante fator de seleção de características adaptativas em populações são as associações ecológicas por elas mantidas. Um dos episódios mais interessantes no processo de estabelecimento da Teoria da Evolução de Darwin foi sua previsão de que haveria alguma orquídea, espécie de flor, com nectário com cerca de 30 centímetros de comprimento na África, ao receber uma amostra de borboletas africanas com probóscide (tromba) com esse comprimento. Apesar de não descoberta à época de Darwin, tal espécie

de flor foi identificada por naturalistas na África alguns anos depois de sua morte.

O fator que justifica a existência de uma borboleta com uma probóscide tão grande e uma flor com um nectário tão profundo é a existência de uma associação mutualística entre as duas espécies. Pode-se afirmar que o inseto selecionou o comprimento do nectário da flor bem como a flor selecionou o comprimento da probóscide do inseto, num mecanismo de **coevolução**.

E não são só as relações negativas. Vários estudos mostram que a resistência ao veneno determinadas por serpentes por suas presas é acompanhada por um aumento no efeito tóxico do veneno. Assim, a presa se adapta ao veneno, desenvolvendo resistência a ele, e o veneno se adapta à presa se tornando mais forte, numa verdadeira corrida armamentista no processo evolutivo. Esse também pode ser considerado um exemplo de coevolução.

### Hipótese da Rainha Vermelha

A **Hipótese da Rainha Vermelha** descreve a relação entre espécies ecologicamente associadas, o que se dá por coevolução. O termo se baseia num trecho do livro *Alice Através do Espelho*, do escritor inglês Lewis Carroll. Nessa passagem do livro, a personagem da Rainha Vermelha afirma a Alice que "é preciso correr o máximo possível para que se possa permanecer no mesmo lugar".

A afirmação pode ser vista como uma metáfora entre os associados ecológicos, que devem evoluir continuamente para se manterem adaptados à relação e a manterem em equilíbrio.

Assim, numa relação entre predador e presa, cada um dos associados deve mudar continuamente para que se adapte às mudanças sofridas pelo outro associado na relação. Por exemplo, numa relação entre leões e zebras, cada ganho de velocidade do predador deve ser acompanhado de um ganho de velocidade da presa e vice-versa, numa verdadeira corrida armamentista evolutiva, uma vez que, se só um dos associados for beneficiado com o aumento de velocidade, o equilíbrio da relação é rompido, o que pode resultar na extinção de ambas as espécies associadas.

**Em resumo:** Se na **seleção natural** uma característica é favorecida por permitir uma melhor adaptação ao meio, e na **seleção sexual** uma característica é favorecida por permitir uma maior atração de parceiros para a reprodução, na **coevolução** uma característica é favorecida por permitir uma melhor adaptação ao parceiro numa relação evolutiva.

## SELEÇÃO ARTIFICIAL

De certa forma, o homem sempre realizou uma seleção dirigida com relação às espécies vegetais e animais domésticas. Foi por meio da seleção de reprodutores que os criadores conseguiram obter raças de cães domésticos, de gado leiteiro ou produtor de carne. A quantidade e a qualidade de ovos postos pelas aves, o rendimento dos cereais, o aperfeiçoamento de certas características econômicas das plantas também foram obtidos por uma seleção, a partir evidentemente de um critério humano.

Na **seleção artificial ou melhoramento genético**, as características selecionadas pelos criadores humanos são fixadas na população através de **cruzamentos controlados** entre variedades específicas dentro da espécie.

## OSCILAÇÃO OU DERIVA GÊNICA

A oscilação ou deriva genética é um fator evolutivo determinado por eventos casuais que podem modificar evolutivamente uma população, alterando suas frequências gênicas. Assim, nem todas as características de uma população foram mantidas pela seleção natural. Muitas vezes, um determinado caractere ou mesmo um determinado grupo de seres vivos é selecionado simplesmente por eventos aleatórios na natureza.

Por exemplo, quando os dinossauros desapareceram há 65 milhões de anos, dando lugar aos mamíferos como grupo "dominante" da natureza, não foi a seleção natural o agente da mudança. Durante milhões de anos, dinossauros foram um grupo diversificado e ocupavam uma vasta diversidade de nichos ecológicos. Mamíferos, nesse tempo, eram animais pequenos e de hábitos noturnos, possuindo somente algumas poucas espécies. O que acontecia, é que naquelas condições, não havia como os mamíferos competirem com os mais bem adaptados dinossauros. Num lance de sorte (azar para os dinossauros), esse quadro mudou. A queda de um meteoro levou a bruscas mudanças ambientais no planeta. O impacto teria sido tão intenso, que a nuvem de poeira

teria demorado centenas de anos para se dissipar. Devido à pouca luminosidade, árvores de grande porte teriam morrido, deixando dinossauros herbívoros sem alimento, e consequentemente desorganizando todas as teias alimentares às quais esses animais pertenciam. As plantas que teriam conseguido se manter nessas condições devem ter sido as plantas umbrófilas (de sombra), adaptadas à baixa luminosidade. Como plantas umbrófilas são de pequeno porte, não teriam conseguido alimentar os enormes dinossauros. Sorte dos mamíferos, pequenos e endotérmicos, capazes de melhor lidar com situações como o frio (afinal, o Sol estava coberto por nuvens) e escassez de alimento (plantas pequenas tendo sobrevivido poderiam manter animais de pequeno porte).

Se a história geológica da Terra for analisada, pode-se notar que grandes extinções foram frequentes. Pelo menos em cinco ocasiões, sendo a extinção dos dinossauros a mais recente delas, eventos levaram à eliminação de mais da metade das espécies vivas em espaços tempo de poucos anos. Em cada evento desses, os sobreviventes foram aqueles que conseguira se adaptar as novas condições pós-catástrofe. Como no caso dos mamíferos após a extinção dos dinossauros, muitas vezes essa adaptação foi fruto de sorte: organismos mal adaptados a uma condição repentinamente se tornam adaptados pela alteração ambiental. Acaso é um importante fator evolutivo.

A **deriva genética** é um fenômeno que age principalmente em populações pequenas. Dois importantes exemplos de deriva genética são o **efeito gargalo de garrafa** e o **princípio do fundador**.

### Efeito Gargalo de Garrafa

O **efeito gargalo de garrafa** é a alteração brusca na **frequência genética de uma população por grandes catástrofes ambientais**. Em episódios como erupções vulcânicas ou a queda do asteroide que dizimou os dinossauros, os indivíduos sobreviventes não são necessariamente os mais adaptados ao meio, mas, basicamente, os mais sortudos. Assim, entre os sobreviventes desses episódios, a frequência dos genes pode ser muito diferente da que ocorria na população original, e não necessariamente os genes mais comuns na nova população são aqueles relacionados a uma maior adaptação ao meio. Ao contrário, os genes mais comuns na nova população podem ser aleatoriamente selecionados.

Em uma população em que metade dos indivíduos apresenta um certo caractere, é de se esperar que, dentro de uma amostra qualquer, haja 50% de indivíduos com o caractere em questão. No entanto, um evento que ao acaso elimine



grande parte da população pode deixar nos sobreviventes uma proporção diferente da original. Num exemplo simplista, uma população de 1000 habitantes onde 40% deles possuem olhos azuis, um terremoto que só deixe 100 sobreviventes pode deixar somente 10 deles de olhos azuis, apesar da estatística afirmar que deveriam ser 40 os sobreviventes de olhos azuis. Essa mudança nas frequências gênicas em uma população devido a uma situação que casualmente extermine grande parte dela recebe o nome de efeito gargalo de garrafa. No efeito gargalo de garrafa, as frequências dos genes na pequena população de sobreviventes podem ser bem diferente daquela encontrada na população original maior.

O nome do efeito veio da comparação dessa situação com um sorteio, em que dentro de uma garrafa haja 50% de bolas pretas e 50% de bolas brancas. Pelo gargalo da garrafa, só passa uma bola de cada vez. Pode acontecer que, ao tirar da garrafa quatro bolas consecutivamente, alguém tire logo quatro bolas brancas, não obedecendo à estatística que diz que 50% das bolas tiradas da garrafa sejam pretas. Da mesma maneira que no exemplo utilizado, em que depois do terremoto, dos 100 sobreviventes, somente 10 tivessem olhos azuis, ao invés dos esperados 40. Como o terremoto não escolhe suas vítimas, o acaso o faz.

### Princípio do Fundador

O princípio do fundador **é o surgimento de uma nova população com constituição genética diferente de uma população inicial, mas refletindo a constituição genética de um pequeno grupo fundador**. Essa nova população será portadora de apenas uma pequena fração da variação genética da população de origem e seus descendentes apresentarão apenas essa variabilidade, até que genes novos ocorram por mutação. O princípio do fundador determina, assim, uniformidade genética e fenotípica. Muitas vezes, a população originada a partir desse efeito guarda grandes diferenças em relação à população original, devido aos fundadores levarem consigo uma constituição genética que pode não obedecer ao padrão mais “comum” nessa população original.

Um exemplo do princípio do fundador no Brasil ocorreu na Ilha dos Lençóis, no Maranhão, onde a proporção de albinos é de 1,5%, 150 vezes maior que no resto do estado. Alguém que tente interpretar essa estatística à luz da evolução pode chegar à errada conclusão de que os albinos são de algum modo beneficiados pela seleção natural nesse local, o que não faz o menor sentido se você lembrar da localização do Maranhão na região equatorial e da intensa exposição ao Sol

que seus habitantes sofrem. Definitivamente, não é o melhor lugar do mundo para um portador de albinismo. A explicação correta para esse fenômeno está na história da povoação da ilha, em que por coincidência, dos poucos fundadores da ilha, alguns eram albinos. Até hoje, a alta proporção de albinos na região reflete essa alta proporção de albinos no grupo fundador. Como era um grupo pequeno, o grupo fundador não obedecia à proporção estatística esperada para indivíduos albinos e normais numa população humana.

### Tome nota: