

meSalva!

ENEM



# EVOLUÇÃO I: PENSAMENTO EVOLUTIVO, EVIDÊNCIAS E ESPECIAÇÃO



MESOPOTÂMIA  
ASPECTOS CULTURAIS

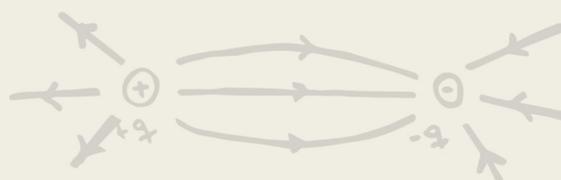
AFIXOS

CONTROLADO

QUAL DE  
REGIÃO

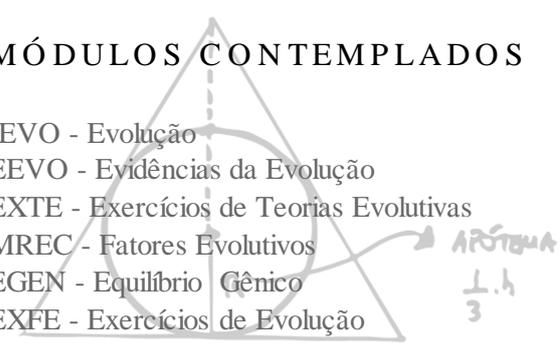


MENTE  
SUFIXO  
CAFETERIA



MÓDULOS CONTEMPLADOS

- ✓ IEVO - Evolução
- ✓ EEVO - Evidências da Evolução
- ✓ EXTE - Exercícios de Teorias Evolutivas
- ✓ MREC - Fatores Evolutivos
- ✓ EGEN - Equilíbrio Gênico
- ✓ EXFE - Exercícios de Evolução



meSalva!

CURSO

EXTENSIVO 2017

DISCIPLINA

BIOLOGIA

CAPÍTULO

EVOLUÇÃO I: PENSAMENTO EVOLUTIVO, EVIDÊNCIAS E ESPECIAÇÃO

PROFESSORES

RONALDO PAESI



# EVOLUÇÃO I: PENSAMENTO EVOLUTIVO, EVIDÊNCIAS E ESPECIAÇÃO

## EVOLUÇÃO BIOLÓGICA



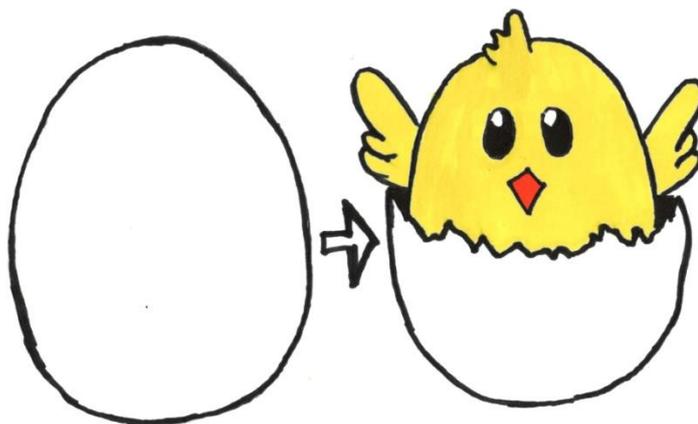
Em nosso planeta existem cerca de dois milhões de espécies de organismos descritas, além de uma infinidade de outras que ainda não conhecemos. Como explicar tamanha diversidade de espécies? Isso é ainda mais intrigante se você pensar na variedade de características que esses organismos apresentam. São muitas formas, tamanhos, cores, etc. Muitas dessas características parecem ajustadas ao ambiente no qual os indivíduos vivem. Um exemplo são os pica-paus, que apresentam um bico forte que os ajuda a abrir buracos nas árvores. A língua longa com capacidade de “verificar” o interior da árvore e extrair possíveis presas também está bem ajustada a sua função. A Biologia Evolutiva moderna é capaz de explicar tanto a diversidade de espécies como o desenvolvimento desses “ajustes”, que são chamados de **adaptações**. Ao longo desta apostila você vai descobrir mais sobre isso. Vamos definir melhor o que queremos dizer com “evolução”, ter uma ideia de como ocorreu o desenvolvimento do pensamento evolutivo ao longo do tempo, ver as principais evidências da evolução e os mecanismos relacionados à formação de espécies.



FIGURA 01: O PICA-PAU, COMO TODOS OS SERES VIVOS, APRESENTA DIVERSAS ADAPTAÇÕES. O BICO É FORTE, A LÍNGUA É LONGA E COM UMA MUSCULATURA FORTE; OS PÉS PODEM SE AGARRAR AO SUBSTRATO, AS PENAS DA CAUDA SÃO RÍGIDAS E AUXILIAM NA SUSTENTAÇÃO, SÓ PARA COMENTAR ALGUMAS.

## O QUE É EVOLUÇÃO?

A palavra **evolução** apresenta diversos significados. Você pode utilizar para dizer algo do tipo: “eu tive uma boa evolução em meus estudos esse ano”. Entretanto, para a Biologia, a evolução significa algo mais específico. De forma simples, podemos dizer que evolução é mudança nas características dos organismos ao longo das gerações. Isso inclui características anatômicas, fisiológicas, genéticas, comportamentais, etc. Mas perceba, então, que nem toda mudança é evolutiva. As mudanças que ocorrem ao longo da vida de um único organismo estão relacionadas ao seu **desenvolvimento**. Nesse sentido, seria mais adequado dizer que um Pokémon não evolui, ele se desenvolve. Agora, se estamos falando, por exemplo, que o tamanho médio dos indivíduos de uma população está diminuindo ao longo das gerações, podemos falar em mudança evolutiva.



**FIGURA 02: AS MUDANÇAS QUE OCORREM AO LONGO DA VIDA DE UM ORGANISMO FAZEM PARTE DE SEU DESENVOLVIMENTO E NÃO SE QUALIFICAM COMO EVOLUÇÃO BIOLÓGICA. OUTRAS MUDANÇAS BIOLÓGICAS TAMBÉM NÃO SÃO NECESSARIAMENTE EVOLUTIVAS. POR EXEMPLO: ALTERAÇÕES NA COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE UM ECOSISTEMA NÃO SÃO MUDANÇAS EVOLUTIVAS.**

A definição talvez mais aceita atualmente envolve mudança nas frequências dos genes ao longo das gerações. Digamos que exista um alelo dominante (A) em uma população com uma frequência de 60%. Se na próxima geração esse alelo teve sua proporção aumentada ou diminuída, ocorreu evolução. Obviamente, como qualquer definição, ela apresenta problemas. Mas a ideia é a mesma, mudança em alguma característica da população ao longo das gerações. Antes de o termo evolução ser amplamente empregado, Darwin usava “**descendência com modificação**”. Perceba que esse termo resume bem a ideia de mudança ao longo das gerações. Ou seja, os organismos apresentam descendentes que possuem modificações em relação ao

anteriormente encontrado. Essas modificações podem levar ao surgimento de adaptações e de novas espécies.

<p>Representa os processos que ocorrem em um organismo ao longo de seu desenvolvimento embrionário ou vida.</p>	<p><b>Desenvolvimento</b></p>
<p>Representa mudanças que ocorrem nas características dos organismos de uma população ao longo das gerações.</p>	<p><b>Evolução</b></p>

#### QUADRO 01 - RESUMO DA DIFERENÇA ENTRE DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO.

### BREVE HISTÓRICO SOBRE O PENSAMENTO EVOLUTIVO

A noção de que as espécies mudam ao longo do tempo não surgiu com Charles Darwin. Mesmo durante a antiguidade (como nos textos de alguns filósofos gregos) podem ser feitos paralelos com o pensamento evolutivo atual. Entretanto, por muito tempo prevaleceu a ideia de que as espécies não mudam ao longo do tempo, sendo imutáveis, “fixas” – daí vem o nome **fixismo**. Isso começa a mudar com diversos naturalistas e pensadores, que especularam sobre a possibilidade da transformação das espécies. Entre eles Maupertuis, Diderot, Buffon e o próprio avô de Darwin, Erasmus.

### AS IDEIAS DE LAMARCK

Lamarck foi um naturalista francês responsável por grandes contribuições para a Biologia, entre elas a criação do termo “biologia”. Estudava plantas e invertebrados. Era um anatomista competente e a partir de seus estudos chegou à conclusão de que os seres vivos se transformam ao longo do tempo. Concebeu uma teoria sobre a forma como ocorria essa “**transmutação**” das espécies e a publicou no livro Philosophie Zoologique (1809). As ideias de Lamarck eram diferentes das incorporadas pela biologia evolutiva moderna e, por isso, muitas vezes, o pensamento de Lamarck é chamado de **transformismo**, para diferenciá-lo do **evolucionismo**. Apesar disso, foi talvez o primeiro pensador que formulou uma teoria evolutiva e, além disso, teve influência sobre o pensamento evolutivo de Darwin.

Segundo Lamarck, os seres vivos possuíam uma tendência ao **melhoramento/aperfeiçoamento** constante. Para ele, a partir de eventos de **geração espontânea**, os seres vivos

simples e menos desenvolvidos se transformavam em seres mais desenvolvidos. Essa tendência teria relação com uma espécie de força externa (algo como a força da gravidade) que causa uma mudança progressiva ao longo do tempo. Além disso, Lamarck não aceitava a **extinção** das espécies. Para ele, além da “força externa”, outros dois princípios também alteravam os organismos ao longo do tempo. Esses princípios são a **lei do uso e desuso** e a **lei de transmissão de caracteres adquiridos**.

Segundo a lei do uso e desuso, utilizar (uso) uma determinada estrutura faz com que ela se desenvolva mais, ao passo que não utilizar (desuso) causa o atrofiamento. O uso ou desuso estariam relacionados com mudanças no ambiente, que fariam os organismos tentarem se adaptar pela necessidade. Por exemplo: se organismos com olhos passassem a viver em uma caverna, essa estrutura poderia ir se atrofiando. Essa característica nova (olho atrofiado), adquirida durante a vida do organismo (de seu desenvolvimento), poderia ser passada para os filhos, conforme a lei de transmissão dos caracteres adquiridos. Um exemplo que pode ser mais fácil de entender seria com um casal de halterofilistas; se um casal de pessoas com musculatura extremamente desenvolvida tivesse um filho, ele nasceria (herança de caracteres adquiridos) também com músculos muito desenvolvidos.

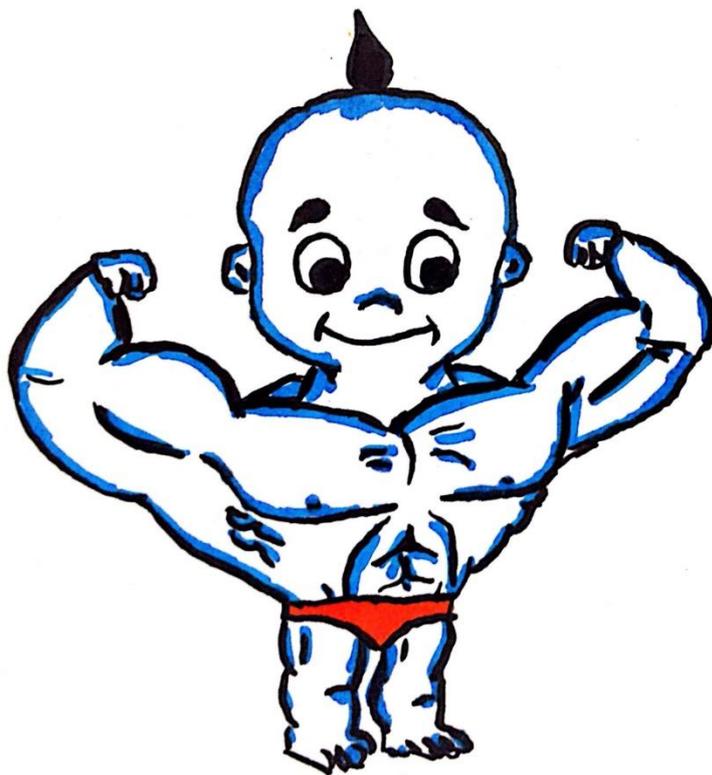


FIGURA 03: BRINCADEIRA MOSTRANDO COMO SERIA O FILHO DE UM CASAL DE HALTEROFILISTAS SE O CORRESSE HERANÇA DE CARACTERES ADQUIRIDOS RELACIONADA COM A MUSCULATURA DESENVOLVIDA. SABEMOS QUE ISSO NÃO OCORRE DESSA FORMA.



Veja a ilustração abaixo que mostra um exemplo desses com uma espécie hipotética de cacto.

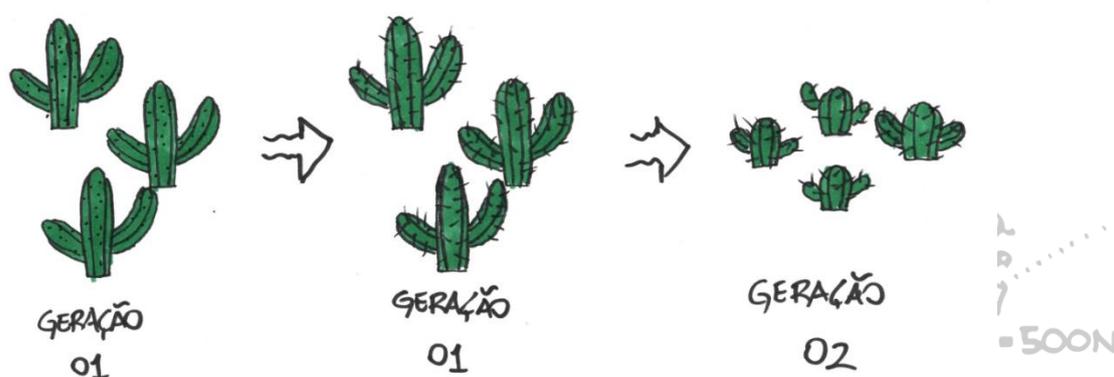


FIGURA 04: NA ILUSTRAÇÃO, A GERAÇÃO 01 ESTÁ SENDO REPRESENTADA EM DOIS MOMENTOS DIFERENTES. EM UM MOMENTO INICIAL OS INDIVÍDUOS NÃO POSSUEM ESPINHOS DESENVOLVIDOS. OCORRE ALGUMA MUDANÇA NO AMBIENTE (UM PREDADOR SURGE POR EXEMPLO) QUE CAUSA O DESENVOLVIMENTO DE ESPINHO (PERCEBA QUE ESTÁ SENDO ILUSTRADA A IDEIA LAMARCKISTA). NOTE QUE A GERAÇÃO 02 (FILHOS DA GERAÇÃO 01) HERDOU AS CARACTERÍSTICAS ADQUIRIDAS PELOS ORGANISMOS DA GERAÇÃO 01 (OS ESPINHOS DESENVOLVIDOS). ESSE É UM DESENHO ESQUEMÁTICO. OS ESPINHOS DOS CACTOS SÃO FOLHAS MODIFICADAS E ESTÃO RELACIONADOS A DIVERSOS OUTROS FATORES ALÉM DA PROTEÇÃO, COMO ADAPTAÇÕES PARA OS AMBIENTES SECOS NOS QUAIS ELES VIVEM.

Vale ressaltar que tanto o uso e desuso como a transmissão dos caracteres adquiridos não são o aspecto central da teoria lamarckista (que é a tendência progressiva ao aumento de complexidade a partir da geração espontânea de organismos simples). Sendo mais exato, tanto o uso e desuso quanto a transmissão de caracteres adquiridos eram princípios aceitos mesmo antes de Lamarck e foram utilizados também por Darwin em vários momentos. Entretanto, as ideias de lamarckistas diferem em vários elementos em relação às de Darwin, como veremos adiante. A teoria de Lamarck não teve grande aceitação em sua época. Isso também é verdade para a teoria de Darwin, que demorou para ser aceita de forma geral pelos cientistas. Entretanto, atualmente a base da teoria evolutiva é a teoria darwiniana. Mas que teoria é essa? Por que Darwin é o naturalista mais importante da história da Biologia?

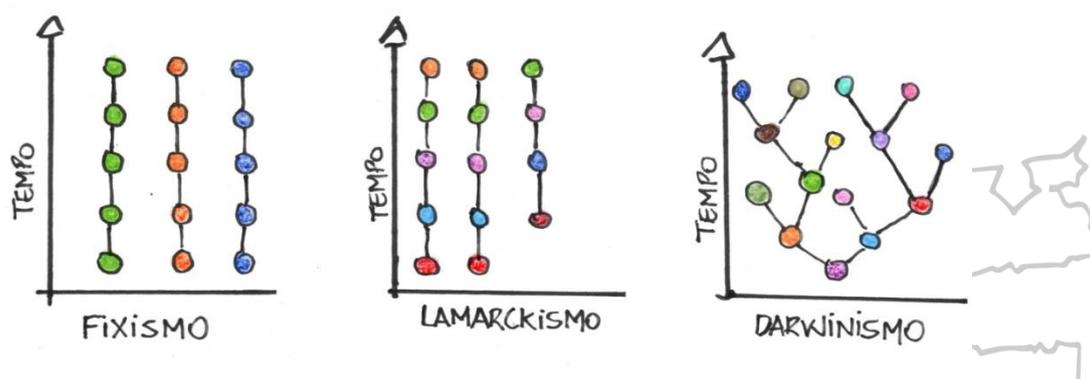
## AS IDEIAS DE DARWIN

A vida de Charles Darwin e os acontecimentos que resultaram na publicação da **Origem das Espécies** (em 1859) são muito interessantes. Nesta apostila vamos falar mais de aspectos da teoria darwiniana sem entrar tanto na biografia de Darwin. Caso você queira saber mais, acesse o texto sobre a vida e obra dele [aqui](#).



Ao longo de seus estudos, Darwin também chegou à conclusão de que as espécies se transformavam ao longo do tempo. Diferentemente de Lamarck, ele não acreditava que existisse uma tendência ao aperfeiçoamento. Ele chamava sua de teoria de “descendência com modificação”. Fez observações e experimentos durante muitos anos antes de resolver publicar suas ideias. Em parte essa publicação ocorreu porque Darwin recebeu uma carta de outro importante naturalista chamado Alfred Russel Wallace. Na carta estava anexado um resumo dos trabalhos de Wallace. Darwin percebeu que Wallace havia chegado a uma teoria muito parecida com a sua, inclusive sobre um dos mecanismos mais importantes, a seleção natural. Apesar de Darwin ser muito mais reconhecido do que Wallace, a teoria da evolução por seleção natural é de autoria tanto de Darwin como de Wallace. Entretanto, quando pensamos nas ideias de Darwin, não é apenas em seleção natural que falamos. Assim, pode ser mais interessante separar as ideias de Darwin em algumas teorias que, na verdade, são independentes (apesar de todas poderem ser vistas como uma unidade, inclusive por Darwin). Vamos falar sobre cinco delas.

1. **Evolução:** essa seria a teoria de que as espécies (linhagens) mudam ao longo do tempo. Como vimos, muitas pessoas, desde tempos antigos, já defendiam isso. Mas talvez nenhuma delas tenha reunido um número tão grande de evidências quanto Darwin para suportar essa teoria;
2. **Ancestralidade comum:** segundo essa teoria, todos os organismos possuem um ancestral comum. Desde plantas, animais, fungos, protistas e bactérias, todos foram originados a partir de um único organismo (inclusive os humanos, que são animais);
3. **Multiplicação das espécies:** segundo essa teoria, as espécies se multiplicam ao longo do tempo, ou seja, novas espécies surgem a partir do ancestral comum. Perceba a diferença em relação às ideias de Lamarck, que acreditava em gerações espontâneas e mudanças (rumo à perfeição) dentro da própria linhagem. Note também que a ideia de ancestralidade comum, junto à de multiplicação das espécies a partir desse ancestral, está na base da noção de árvore da vida.



**FIGURA 05: ESTE ESQUEMA COMPARA AS IDEIAS FIXISTAS, LAMARCKISTAS E DARWINISTAS. PARA O FIXISMO, AS ESPÉCIES SÃO CRIADAS DE FORMA INDEPENDENTE E NÃO MUDAM AO LONGO DO TEMPO. PARA O LAMARCKISMO, AS ESPÉCIES SURGEM POR GERAÇÃO ESPONTÂNEA E FICAM MAIS APERFEIÇOADAS AO LONGO DO TEMPO. PERCEBA QUE NO LAMARCKISMO NÃO OCORRE EXTINÇÃO DE ESPÉCIES. JÁ PARA O DARWINISMO, AS DEMAIS ESPÉCIES SE ORIGINARAM A PARTIR DE UM ANCESTRAL COMUM. MUITOS GRUPOS SÃO EXTINTOS AO LONGO DO TEMPO (NÃO CHEGAM ATÉ O TEMPO ATUAL).**



FIGURA 06: A METÁFORA DE UMA “ÁRVORE” DA VIDA EMERGE DA IDEIA DE QUE TODOS OS ORGANISMOS POSSUEM UM ANCESTRAL COMUM. AO FINAL DO RAMOS EXISTEM AS ESPÉCIES ATUAIS (COMO A OU N). MUITAS ESPÉCIES FORAM EXTINTAS (COMO B OU R). O TOTAL DE ESPÉCIES EXISTENTES NO PLANETA É DE MAIS DE 2 MILHÕES (SEM CONTAR AS DESCONHECIDAS). O TOTAL DE ESPÉCIES QUE JÁ FORAM EXTINTAS É MUITO MAIOR DO QUE ISSO.

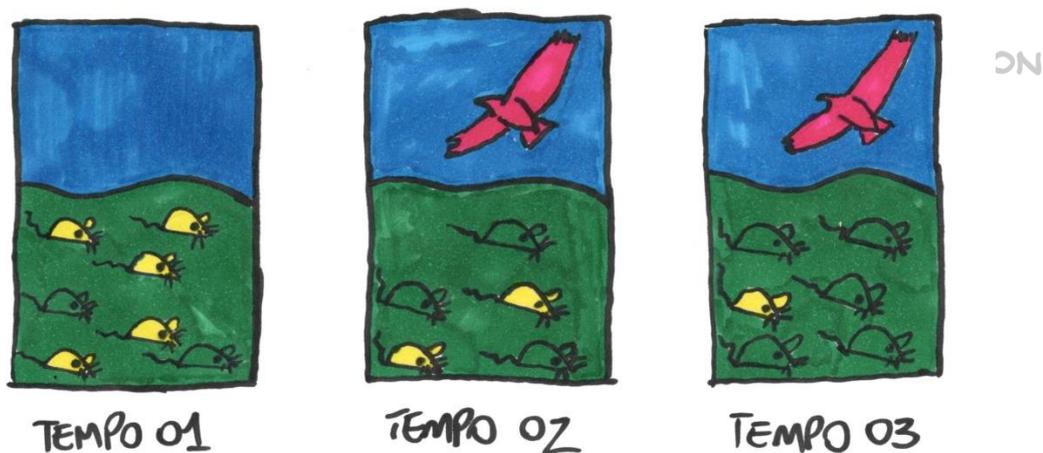
4. **Gradualismo**: conforme essa teoria, a transformação das linhagens se dá pela mudança gradual (pequenos passos). Muitos pensadores da época de Darwin, inclusive ele, defendiam que a idade da Terra era maior do que se imaginava. Atualmente sabemos que nosso planeta possui 4,6 bilhões de anos. Muito tempo para pequenas mudanças graduais levarem ao surgimento de organismos bem diferentes. Uma alternativa para o gradualismo seria o saltacionismo, que defende que as mudanças ocorrem de forma rápida. Entretanto uma ideia não necessariamente exclui a outra (mas mudanças saltacionistas seriam eventos raros).
5. **Seleção natural**: Essa é possivelmente a teoria (ou elemento) mais importante das ideias de Darwin (e Wallace). Vamos detalhar melhor a seleção natural abaixo.

## SELEÇÃO NATURAL

Vamos listar algumas observações para entender o mecanismo de seleção natural e, a partir delas, o que podemos esperar. Uma das características dos seres vivos é a capacidade de reprodução. Entretanto, mesmo com grande capacidade de **reprodução**, as populações das diferentes espécies não são tão grandes. Ocorre mortalidade e **nem todos os indivíduos sobrevivem**. Outra característica das populações é a presença de **variação**. Nenhum indivíduo é exatamente igual a outro e, apesar de existir uma tendência dos seres vivos se parecerem com seus pais (**hereditariedade**), eles também são diferentes. Agora perceba esse cenário. Existe

variação na população, existem características hereditárias e existe uma **luta pela existência**, porque o ambiente não suporta todos os seres vivos (ocorre competição por recursos, como alimentos, por exemplo).

A partir disso podemos imaginar que vai ocorrer **sobrevivência diferencial**, ou seja, organismos com características que favoreçam sua sobrevivência vão deixar mais descendentes que podem ter essas características vantajosas, se elas forem hereditárias. Essas características vantajosas são chamadas de **adaptativas**. Podemos perceber que esse processo explica, ao longo do tempo, o surgimento de adaptações (características que parecem ajustadas ao ambiente, como no exemplo do pica-pau). Veja o esquema abaixo que ilustra o processo de seleção natural.

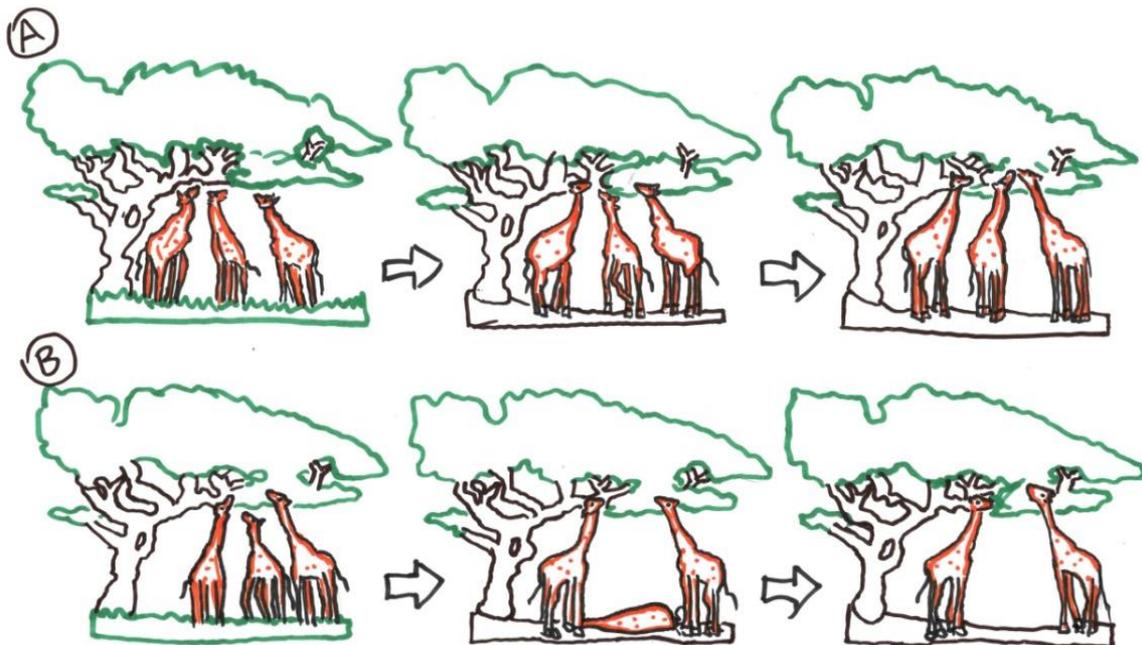


**FIGURA 07: VEJA NA IMAGEM QUE EXISTE UMA POPULAÇÃO INICIAL DE ROEDORES NO TEMPO 01. EXISTE VARIAÇÃO NESTA POPULAÇÃO (UNS SÃO AMARELOS E OUTROS VERDES). ENTRETANTO, NO TEMPO 02 APARECE UM PREDADOR NO AMBIENTE. ESSE PREDADOR CONSEGUE VER MELHOR OS ROEDORES AMARELOS E SE ALIMENTA MAIS DELES. ISSO FAZ COM QUE OS ROEDORES VERDES CONSIGAM DEIXAR MAIS DESCENDENTES. ESSA CARACTERÍSTICA É HEREDITÁRIA (NO EXEMPLO) E, POR ISSO, OS FILHOS DOS ROEDORES VERDES SÃO VERDES TAMBÉM. COM O TEMPO, OS INDIVÍDUOS VERDES AUMENTAM DE FREQUÊNCIA NA POPULAÇÃO. ESSA CARACTERÍSTICA DE SER VERDE E MENOS FACILMENTE VISÍVEL PARA O PREDADOR PODE SER CONSIDERADA UMA ADAPTAÇÃO.**

Darwin chamou esse processo de sobrevivência diferencial de seleção natural, em comparação à **seleção artificial**. Nesse último processo, criadores de animais ou plantas selecionam características desejáveis. Na seleção natural não existe nenhuma entidade selecionando variedades. O que ocorre é que, devido a características do ambiente, alguns indivíduos com determinadas características conseguem deixar mais descendentes do que outros. Essas mudanças vão se acumulando ao longo do tempo.

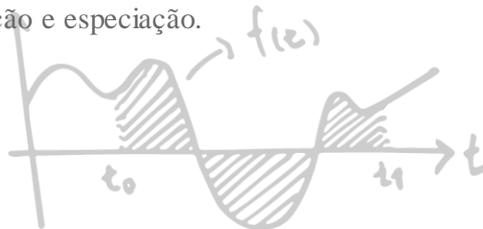
Perceba como o papel do ambiente para Lamarck e para Darwin é diferente. Para Lamarck, o ambiente de certa forma induz a transformação das linhagens que, por necessidade, mudavam. Para Darwin, o ambiente “seleciona” variedades que já ocorrem na população e que,

ao longo do tempo, podem aumentar sua frequência. Veja na ilustração abaixo, que utiliza o famoso exemplo do pescoço da girafa para comparar as ideias de Darwin e Lamarck. Esse exemplo serve mais para ilustrar do que para comparar explicações que Darwin e Lamarck realmente formularam para a evolução dessa característica das girafas.



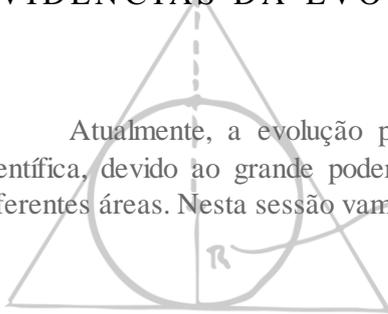
**FIGURA 08: NA PARTE A DA FIGURA ESTÁ REPRESENTADA A IDEIA DE EVOLUÇÃO TRADICIONALMENTE ATRIBUÍDA A LAMARCK. EXISTEM GIRAFAS COM PESCOÇO RELATIVAMENTE CURTO VIVENDO EM UM AMBIENTE NO QUAL EXISTE GRAMA. ACONTECE ALGO E A GRAMA DESAPARECE. AS GIRAFAS DESENVOLVEM UM PESCOÇO MAIOR QUE ALCANÇA A COPA DAS ÁRVORES PELA NECESSIDADE DE SE ADAPTAR ÀS NOVAS CONDIÇÕES. JÁ NA PARTE B ESTÁ REPRESENTADA A VISÃO DARWINISTA. A POPULAÇÃO DE GIRAFAS APRESENTA VARIAÇÃO COM ALGUNS ORGANISMOS COM PESCOÇO CURTO E OUTROS LONGOS. A GRAMA DESAPARECE E OS INDIVÍDUOS COM PESCOÇO MAIS LONGO E QUE CONSEGUEM ALCANÇAR A COPA DAS ÁRVORES DEIXAM MAIS DESCENDENTES.**

Desde a publicação da *Origem das Espécies*, em 1859, muita coisa mudou na Biologia Evolutiva. Em uma apostila posterior vamos detalhar melhor o Neodarwinismo, a Genética de Populações e a Síntese Moderna. Mas ainda nesta apostila vamos falar mais sobre evidências da evolução e especiação.



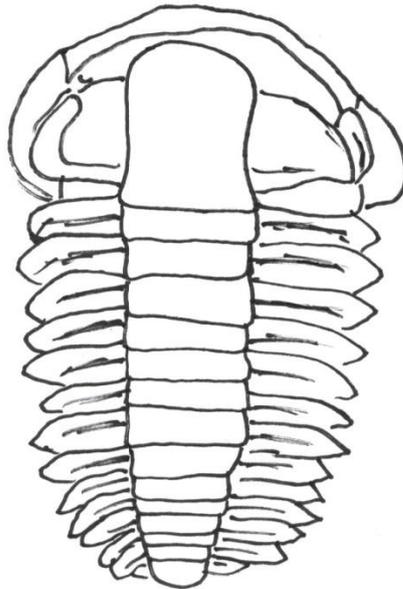
## EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

Atualmente, a evolução por seleção natural é amplamente aceita pela comunidade científica, devido ao grande poder explicativo dessa teoria e ao fato de ter corroboração de diferentes áreas. Nesta sessão vamos falar sobre algumas das evidências para a teoria evolutiva.



## EVIDÊNCIAS PALEONTOLÓGICAS

Os **fósseis** são restos de seres vivos ou indícios de suas atividades que ficam preservados em diversos materiais. São evidência de que os seres vivos que existiam no passado são diferentes dos atuais e também de que muitas espécies são extintas. Além disso, a análise do registro fóssil permite entender de que forma as mudanças ocorreram ao longo da evolução de muitos grupos.



**FIGURA 09: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM FÓSSIL DE TRILOBITA, UM GRUPO DE ARTRÓPODES JÁ EXTINTO.**

É relativamente raro encontrar um fóssil, pois normalmente as estruturas são decompostas ao longo do tempo e o registro acaba sendo **episódico**. Só ocorre fossilização quando condições favoráveis permitem. Em alguns casos, por exemplo, quando um ser vivo morre, ele pode ser soterrado por sedimentos. Os sedimentos podem se solidificar sobre o organismo ou por dentro dele, preservando-o como fóssil. Outro fator que deve ser considerado

é que estruturas duras são mais facilmente preservadas. Assim, é mais comum encontrar dentes, ossos e conchas no registro fóssil do que estruturas relacionadas a tecidos moles, como músculos e gordura.

O registro fóssil também permite testar evidências de outras áreas. Por exemplo: a partir de estudos sobre anatomia comparada foi sugerido que os anfíbios atuais são descendentes de vertebrados que colonizaram o ambiente terrestre. Caso isso esteja correto, você não espera encontrar fósseis de anfíbios mais antigos do que fósseis de vertebrados. E realmente não ocorre. Os fósseis de anfíbios mais antigos são mais recentes do que os fósseis de vertebrados mais antigos. Podemos exagerar um pouco para você perceber isso como uma evidência da evolução também. Por exemplo: humanos são organismos multicelulares que possuem ancestrais unicelulares. Uma evidência contrária à evolução seria encontrar um fóssil de ser humano mais antigo do que os primeiros indícios de vida unicelular – o que seria esperado (pelo menos fósseis de mesma idade) caso eles tivessem sido criados de forma independente.

## EVIDÊNCIAS BIOGEOGRÁFICAS

De forma geral, pensando nos padrões de distribuição dos organismos, existe mais semelhança entre espécies que são encontradas mais próximas. Esse padrão faz todo sentido se você pensar que espécies de uma ilha são mais parecidas com as do continente próximo porque possuem um ancestral comum que vivia no continente e também colonizou as ilhas. Se as espécies tivessem sido criadas de forma independente, esse padrão não seria assim.

Veja esse exemplo relacionado com Wallace (coautor da seleção natural,) que fez importantes contribuições para a biogeografia e possivelmente foi um dos primeiros naturalistas a discutir a relação da distribuição geográfica dos diferentes grupos de organismos com a evolução. Wallace estudou a fauna do arquipélago Malaio. Entre suas observações, percebeu que os animais que vivem nas ilhas da região norte do arquipélago são mais parecidos com os animais do sul do continente asiático. Além disso, que os animais que vivem nas ilhas da região sul são mais parecidos com os animais australianos. Wallace relacionou esse padrão com a evolução da seguinte forma: organismos ancestrais da Austrália colonizaram as ilhas do sul, enquanto organismos ancestrais do sul de Ásia colonizaram as ilhas do norte. Ao longo do tempo, novas espécies foram surgindo, mas com muitas semelhanças com os ancestrais próximos. A fronteira que separa essas duas regiões zoogeográficas é atualmente chamada de **Linha de Wallace**.

Uma questão interessante sobre a Biogeografia e Paleontologia é que muitos organismos fósseis parecidos são encontrados na América do Sul e na África (ou outros continentes/loais distantes). Entretanto, esses fósseis são datados de uma época na qual essas regiões estavam unidas. A deriva dos continentes também explica porque alguns grupos de locais distantes são muito relacionados. Isso porque os ancestrais viviam quando os locais estavam unidos, e as populações que foram divididas acabaram originando esses grupos.



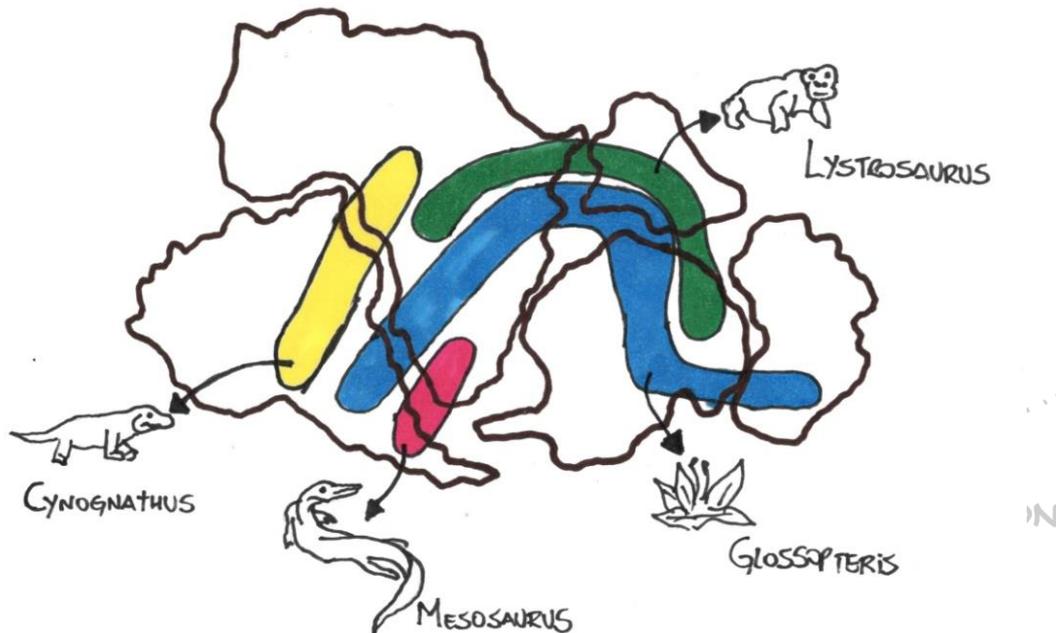


FIGURA 10: EXEMPLOS DE FÓSSIS DE ALGUNS ORGANISMOS QUE SÃO ENCONTRADOS EM DIFERENTES CONTINENTES. SÃO UMA DAS EVIDÊNCIAS DA DERIVA CONTINENTAL, POIS INDICAM QUE OS CONTINENTES ESTAVAM UNIDOS QUANDO ESSES ORGANISMOS VIVERAM.

### EVIDÊNCIAS ANATÔMICAS

Muitas espécies possuem estruturas que são anatomicamente parecidas. De acordo com a hipótese da ancestralidade comum, é possível que muitas dessas estruturas sejam parecidas, porque são modificações dessa estrutura que já estava presente no ancestral. Podemos utilizar o exemplo clássico dos membros anteriores. Veja na imagem abaixo:



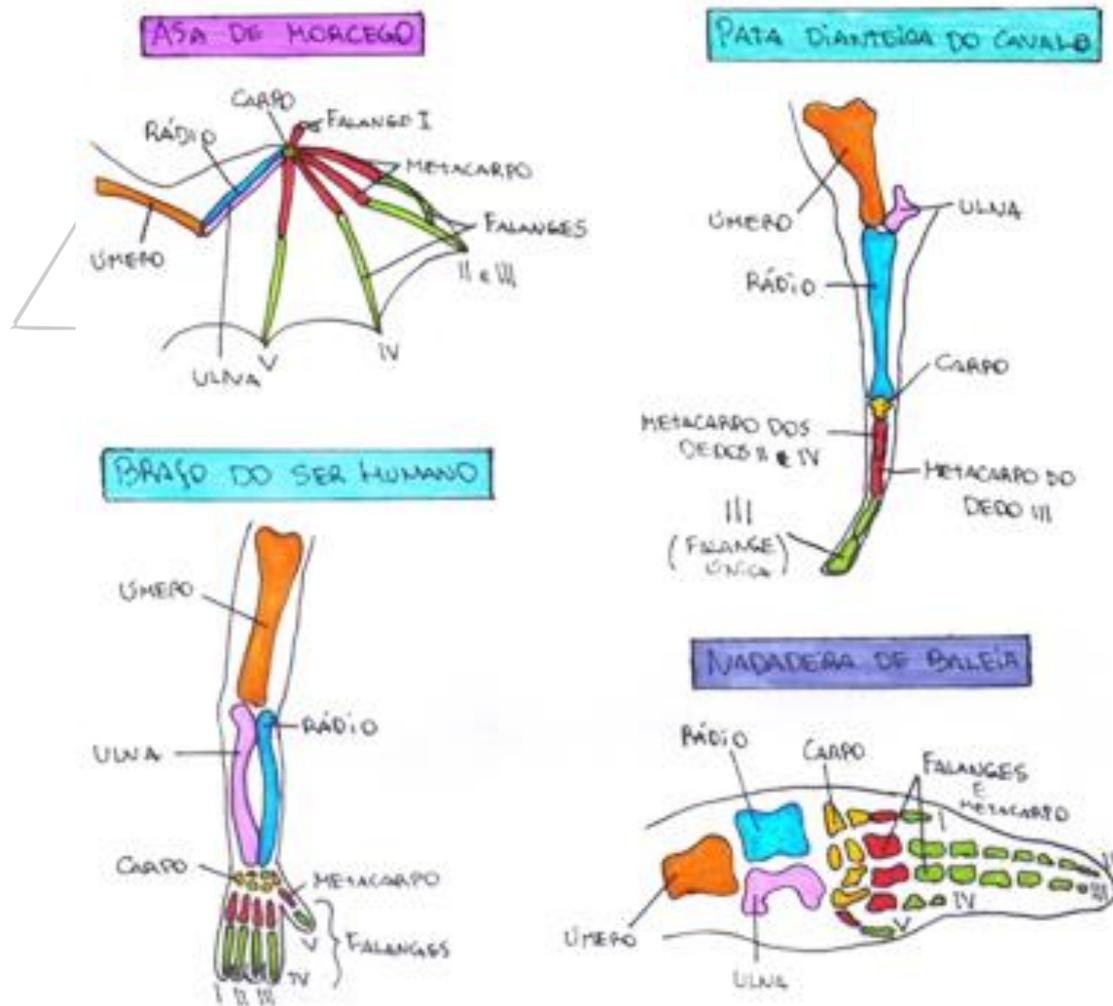


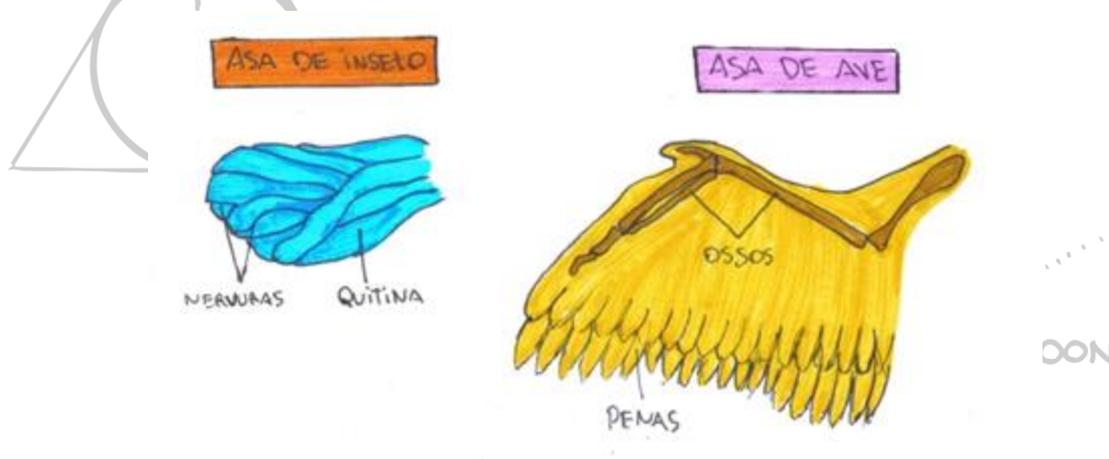
FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS MEMBROS ANTERIORES DE DIFERENTES GRUPOS DE MAMÍFEROS. PERCEBA A SEMELHANÇA ANATÔMICA.

A explicação evolucionista para essa semelhança é que esses grupos de mamíferos possuem um **ancestral comum** que tinha membros anteriores com esses mesmos ossos. Modificações ocorreram ao longo da evolução de cada grupo, mas ainda podemos perceber as semelhanças.

A partir da noção de que existem estruturas/órgãos em diferentes organismos que possuem uma mesma origem evolutiva, podemos diferenciar entre **órgãos homólogos e órgãos análogos**. Órgãos ou estruturas homólogas possuem uma mesma origem evolutiva/embrionária. O exemplo sobre os membros anteriores se encaixa nessa categoria, ou seja, a asa de um morcego, o braço humano, a nadadeira da baleia e a pata do cavalo são estruturas homólogas. As diferenças entre essas estruturas se desenvolveram ao longo da evolução desses grupos, como adaptações específicas relacionadas a diferentes modos de vida. Dizemos que ocorreu **divergência evolutiva** a partir do ancestral.



Perceba então, que estruturas homólogas podem apresentar diferentes funções (ou a mesma função), mas sempre possuem origem evolutiva comum. Já estruturas ou órgãos análogos possuem a mesma função, mas origens evolutivas independentes, como no caso da asa de insetos e de uma ave, em que essas estruturas são análogas.



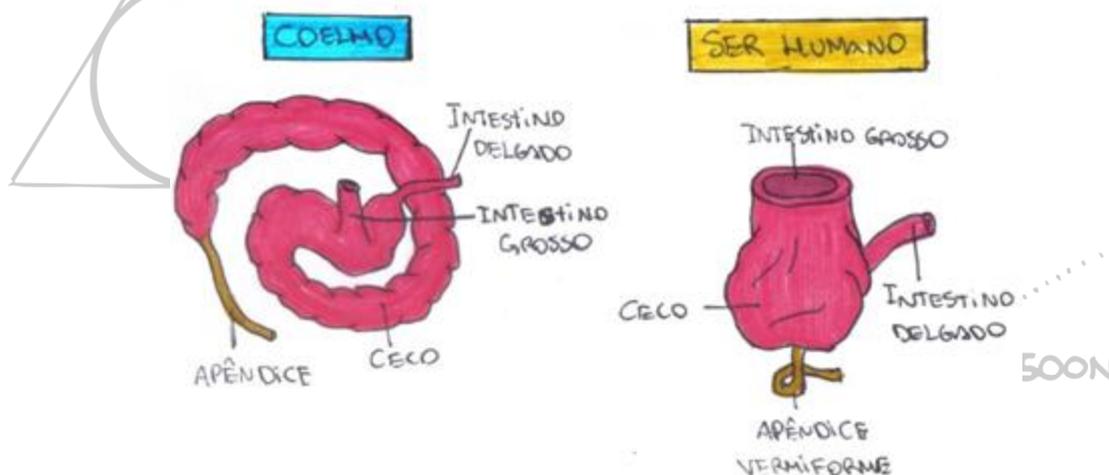
**FIGURA 12: ESTRUTURAS ANÁLOGAS, MESMA FUNÇÃO, MAS ORIGENS INDEPENDENTES.**

As estruturas análogas podem ser resultado de **convergência evolutiva**. Isso ocorre quando diferentes espécies, sem possuírem necessariamente parentesco próximo (porque parentes todas são), apresentam adaptações semelhantes relacionadas a ambientes parecidos. O exemplo mais clássico está relacionado à forma do corpo em golfinhos, tubarões e ictiossauros (extintos). Em todos esses grupos, o corpo apresenta um formato que facilita o deslocamento de forma rápida na água. Podemos imaginar que esse formato evoluiu de forma convergente nesses três grupos como uma adaptação ao seu hábito de vida aquático e predador – os três grupos são formados por predadores aquáticos). Dessa forma, o formato do corpo semelhante não tem relação com origem comum (não é homólogo), mas sim com adaptação convergente devido ao ambiente e comportamento semelhante (é análogo).

## ESTRUTURAS VESTIGIAIS

Outro exemplo de evidência anatômica está relacionado às estruturas ou órgãos chamados de **vestigiais**. Essas estruturas são pouco desenvolvidas e em muitos casos não se conhece nenhuma função específica delas. Um exemplo interessante é o do apêndice vermiforme em humanos (que pode inflamar e causar apendicite). O apêndice possui abrigo micro-organismos fundamentais para a digestão da celulose em certos herbívoros. É possível que essa estrutura estivesse presente no ancestral de humanos e outros mamíferos herbívoros. Ao longo do tempo, com uma dieta menos herbívora, o apêndice virou uma estrutura vestigial. Sendo mais exato, atualmente sabemos que o apêndice possui algumas funções nos seres humanos relacionadas ao sistema imunológico. Outros exemplos de estruturas vestigiais podem

ser observados para o que seriam os membros posteriores de serpentes ou baleias. O cóccix seria outro exemplo de estrutura vestigial em seres humanos, um vestígio da cauda presente nos ancestrais.



**FIGURA 13: O APÊNDICE É DESENVOLVIDO EM MUITO HERBÍVOROS, MAS APARECE COMO UMA ESTRUTURA VESTIGIAL EM SERES HUMANOS (APÊNDICE VERMIFORME).**

## EMBRIOLOGIA COMPARADA

Quando estudamos os embriões (nas fases iniciais) de diferentes espécies de animais, percebemos semelhanças anatômicas que normalmente não são percebidas quando comparamos os adultos. Um exemplo é que todos os embriões, todos os cordados (entre eles os vertebrados), possuem um cauda localizada após o ânus. Outras semelhanças percebidas nos embriões de todos os cordados é a presença de fendas faríngeas e da notocorda. Todas essas semelhanças servem de evidência para a teoria da ancestralidade comum.

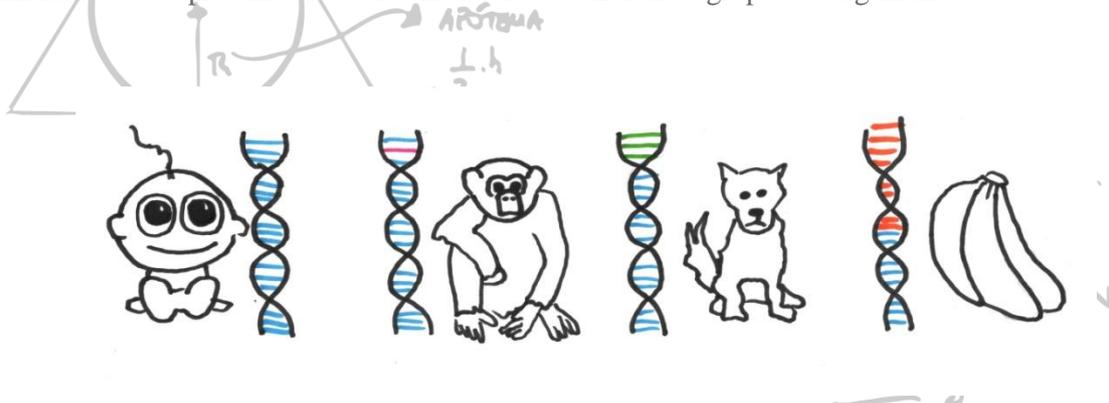
## EVIDÊNCIAS MOLECULARES

É razoavelmente fácil comparar organismos presentes em diferentes grupos animais para tentar compreender suas semelhanças. Mas e humanos, bactérias ou fungos? Independente do organismo que seja analisado, pelo menos até o momento, sabemos que todos utilizam **DNA** e **RNA**, além de um **código genético** praticamente universal. Essa é uma grande evidência de que todos os organismos conhecidos apresentam um ancestral comum.

Dessa forma, a explicação mais simples é que essas características já faziam parte da biologia do ancestral que deu origem a todos os seres vivos. Podemos pensar que a presença de DNA é uma característica homóloga de todos os seres vivos. A análise de dados moleculares



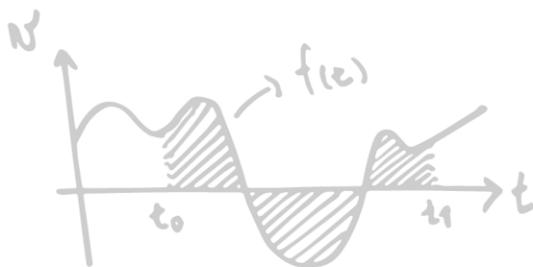
(assim como os morfológicos) também nos ajuda compreender melhor as relações de parentesco. Por exemplo: humanos e chimpanzés possuem similaridade genética maior do que a que possuem com roedores. Isso indica que humanos e chimpanzés possuem um ancestral comum mais recente do que aquele que compartilham com roedores. As análises não precisam ficar limitadas ao material genético e muitas vezes são realizadas comparações entre as similaridades das proteínas ou outras moléculas de diferentes grupos de organismos.



**FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DAS SIMILARIDADES GENÉTICAS ENTRE HUMANOS E OUTROS ORGANISMOS. NOTE QUE EXISTEM MENOS DIFERENÇAS ENTRE O DNA DE HUMANOS E CHIMPANZÉS DO QUE ENTRE HUMANOS E CACHORROS. ENTRE HUMANOS E BANANAS A DIFERENÇA É AINDA MAIOR. DE QUALQUER FORMA, TODOS POSSUEM DNA.**

## EVIDÊNCIAS E SELEÇÃO ARTIFICIAL

O estudo da seleção artificial foi muito importante para o desenvolvimento das ideias de Darwin. Ele próprio era criador de pombos. Destinou uma parte considerável da Origem das Espécies para discutir a seleção artificial. Apesar de não ser “seleção natural”, ou seja, estar relacionada à seleção planejada de características desejáveis, a seleção artificial mostra como grandes mudanças podem ocorrer em pouquíssimo tempo. Por exemplo: alguns milhares de anos foram suficientes para a diversificação das centenas de raças de cachorros que existem atualmente, todas descendentes de um ancestral muito parecido com os atuais lobos cinzentos, e que até podemos considerar um lobo cinzento. Se em tão pouco tempo podemos produzir tamanha diversidade utilizando uma única espécie, imagine o que pode acontecer ao longo dos bilhões de anos desde que a vida se originou em nosso planeta!



## EVIDÊNCIA E SELEÇÃO NATURAL

Atualmente existem muitos estudos, muitos deles relacionados à evolução de organismos patogênicos, que mostram a seleção natural ocorrendo e as adaptações resultantes. Exemplos são a evolução de **bactérias ou vírus resistentes a medicamentos**. Também existem diversos trabalhos com outros grupos, em que observações e experimentos são muito bem explicados pela seleção natural. Por exemplo: para uma determinada espécie de peixes, os pesquisadores observaram que os machos mais brilhantes atraem mais fêmeas, mas que também são mais facilmente percebidos por predadores. Dessa forma, observando populações de peixes nas quais não estavam presentes muitos predadores, perceberam que os machos são mais brilhantes do que em locais nos quais existem mais predadores. A presença do predador está atuando em favorecimento de variedades menos brilhantes e que sobrevivem mais. Experimentos em laboratório corroboraram a hipótese. A evolução natural em ação!

Adaptações como essa (ser menos brilhante), para evitar predadores visualmente orientados são ótimos exemplos de como a seleção natural funciona. Pense em **camuflagem**, por exemplo, na qual um indivíduo se assemelha à coloração de fundo do ambiente. Muitas vezes observamos animais com camuflagens incríveis e parece difícil explicar como isso evoluiu. Entretanto, se um ancestral levemente parecido com o ambiente deixasse mais descendentes do que um mais chamativo, ao longo do tempo a semelhança poderia se acumular. Veja esse vídeo para ter uma ideia melhor: <https://www.youtube.com/watch?v=M3bROOvWMcM>. Um organismo pode ser camuflado para predação melhor também, como um tigre com suas listras.

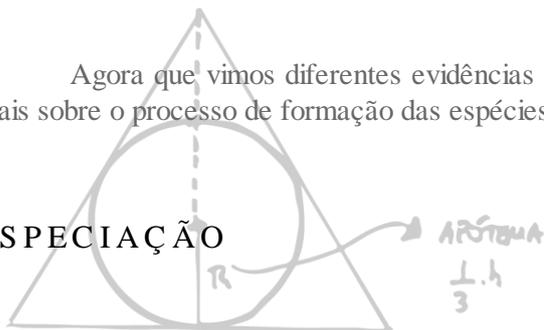
Outro tipo de adaptação interessante é chamado de **mimetismo**. Pode ser mimetismo **batesiano**, quando uma espécie não perigosa “imita” outra que é percebida como perigosa pelos predadores. Assim, uma serpente com peçonha pouco tóxica (falsa-coral) é semelhante à outra com peçonha poderosa (coral) e não é predada porque os predadores preferem não arriscar. Outro tipo de mimetismo é chamado de **mülleriano**, no qual duas espécies “perigosas” são parecidas e acabam “amplificando” o sinal de perigo, que é mais facilmente memorizado pelo predador.



**FIGURA 15: EXEMPLO DE MIMETISMO BATESIANO. A SERPENTE NÃO PEÇONHENTA NÃO É IDÊNTICA À PEÇONHENTA, MAS É SIMILAR O SUFICIENTE PARA “ENGANAR” OS PREDADORES. ESSE É UM DESENHO ESQUEMÁTICO. NÃO SE CONSIDERE UM ESPECIALISTA EM DIFERENCIAR SERPENTES PEÇONHENTAS E NÃO PEÇONHENTAS POR CAUSA DELE. SÉRIO!!**

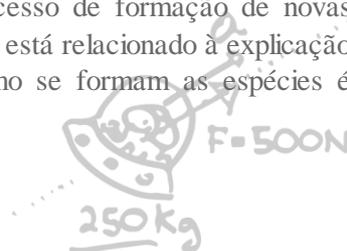
Agora que vimos diferentes evidências relacionadas à teoria evolutiva, vamos descobrir mais sobre o processo de formação das espécies (especiação).

## ESPECIAÇÃO



O termo **especiação** é utilizado para descrever o processo de formação de novas espécies. Certamente é um fenômeno que desperta interesse, pois está relacionado à explicação da origem da biodiversidade. Entretanto, para compreender como se formam as espécies é necessário discutir um pouco mais sobre o que é uma espécie.

## O QUE É UMA ESPÉCIE?



Bom, pessoal, esse é um dos conceitos mais debatidos da Biologia (talvez mais que o próprio conceito de vida, que também é complexo). Existem vários conceitos que tentam definir o que é uma **espécie** (sério, são dezenas de conceitos). O mais famoso é o conceito biológico de espécie. Segundo esse conceito, uma espécie *engloba populações que podem se inter cruzar real ou potencialmente e que estão reprodutivamente isoladas de indivíduos de outros grupos*. O “inter cruzam” significa reproduzir. Dessa forma, dois organismos são de uma determinada espécie se conseguem acasalar e deixar descendentes férteis (que também possam deixar descendentes). Perceba que, conforme o conceito biológico de espécie, a compatibilidade reprodutiva é muito importante para agrupar organismos em uma espécie. Pensando no caso dos humanos, são todos da mesma espécie (*Homo sapiens*) porque apresentam o potencial de reproduzir e deixar descendentes.

Outra parte importante do conceito está no “reprodutivamente isoladas de indivíduos de outros grupos”. Para o conceito biológico, dois grupos de indivíduos pertencem a espécies diferentes se existir isolamento reprodutivo entre eles. Outra forma de dizer isso é que não pode ocorrer **fluxo gênico** entre eles (troca de material genético). De forma geral, existirão fatores que impedem que membros de duas espécies diferentes consigam reproduzir e deixar descendentes férteis, como vamos estudar mais adiante.

O **conceito biológico** de espécie, como já comentado, não é o único e apresenta limitações. Uma delas é que ele não pode ser aplicado para todos os grupos. Por exemplo: como utilizar esse conceito para definir espécies de fósseis? Também não podemos aplicar o conceito biológico para organismos que se reproduzem apenas ou preferencialmente de forma assexuada, como no caso das bactérias. Além disso, muitas vezes existem grupos de organismos que são diferentes em diversos aspectos (anatômicos, ecológicos, comportamentais, etc.), mas que eventualmente apresentam fluxo gênico. Apesar disso, o conceito biológico é o mais utilizado e

o usaremos para falar sobre especiação. Mas antes vamos discutir alguns outros conceitos de espécie.

O **conceito morfológico** de espécie ainda é muito utilizado (os cientistas normalmente não fazem cruzamentos controlados de todas as populações de espécies conhecidas para ver se deixam descendentes férteis) e foi o que Lineu utilizou. Esse conceito vai definir as espécies conforme similaridade em sua aparência (forma do corpo ou outras características). O conceito pode ser aplicado em organismos de reprodução assexuada ou fósseis. Apesar disso, é muito subjetivo. Muitas vezes o que é parecido para um cientista não é para outro. Você pode encontrar uma definição de espécie parecida com outro nome: conceito fenotípico de espécie.

Já o **conceito ecológico** utiliza o nicho ecológico de diferentes organismos para agrupá-los ou não em espécies. Mesmo indivíduos muito parecidos (que seriam colocados na mesma espécie segundo o critério morfológico) poderiam ser colocados em diferentes espécies se tiverem horários de atividades diferentes, caso comam preferencialmente coisas diferentes, etc.

Temos também o **conceito filogenético** de espécie. Vamos entendê-lo: para esse conceito, uma espécie será o menor conjunto de indivíduos que compartilham um ancestral comum (que forma, basicamente, um dos ramos da árvore da vida). Cada um desses ramos tem um ancestral que não é ancestral das espécies nos outros ramos.

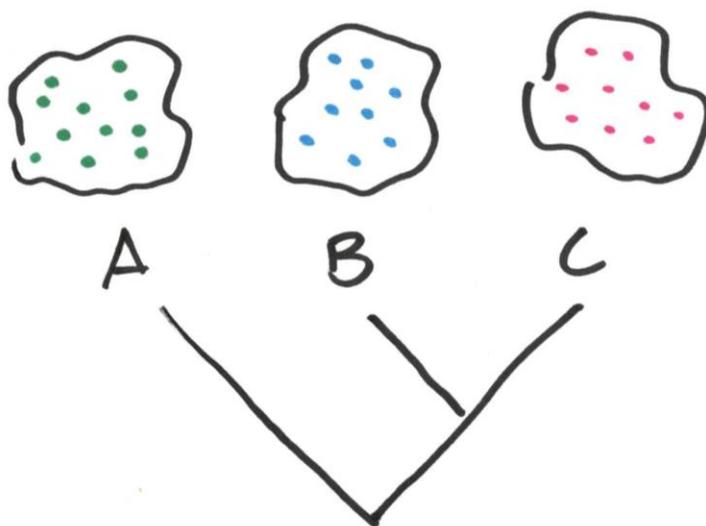


FIGURA 16: O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS REPRESENTADOS EM VERDE FORMA A ESPÉCIE A. O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS REPRESENTADOS EM AZUL FORMA A ESPÉCIE B. O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS EM ROSA FORMA A ESPÉCIE C.

Bem, como falamos, tem MUITO conceito de espécie, mas o conceito biológico será particularmente didático para discutir especiação. Então vamos lá!



## ANAGÊNESE E CLADOGÊNESE

Imagine a população de alguma espécie. Ao longo do tempo essa população vai mudando, ficando diferente. A geração número 50 provavelmente será diferente, em muitos aspectos, da geração 01. Se tempo suficiente passasse, é possível que os organismos ancestrais fossem classificados em uma espécie diferente dos atuais. Essa mudança gradual dentro de uma população é um processo chamado de **anagênese**. Certamente esse processo está relacionado a mudanças evolutivas, inclusive com transformações resultantes do processo de seleção natural. Entretanto, o processo de anagênese sozinho não serve para explicar a diversidade da vida. Se a partir do primeiro ser vivo só ocorresse o processo de anagênese, o número total de espécies no planeta poderia ser um. Para explicar a diversidade de espécies precisamos compreender outro processo, chamado de **cladogênese**, que causam especiação. Nesse processo, duas ou mais espécies são originadas a partir de uma espécie ancestral. Ou seja, uma linhagem se diversifica e origina mais de uma. Ao longo do tempo esse processo pode originar uma quantidade enorme de diferentes espécies.

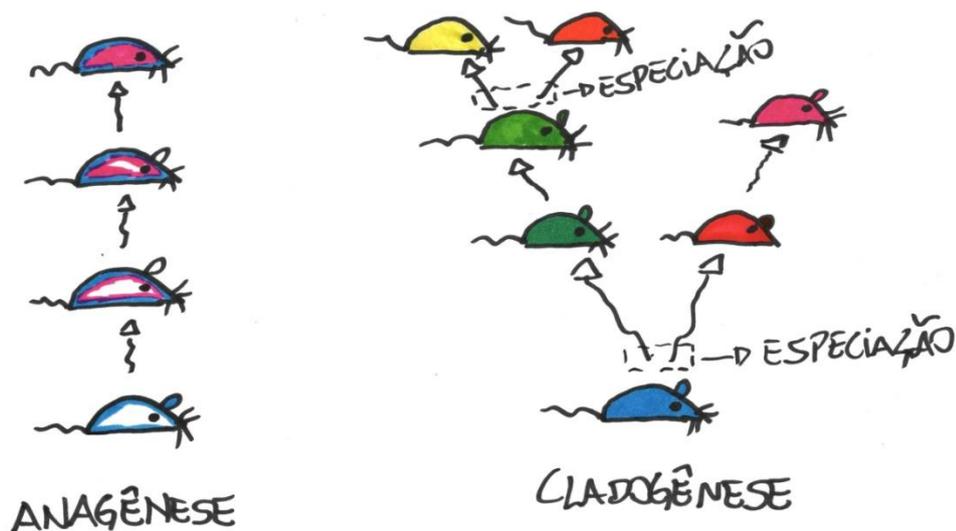
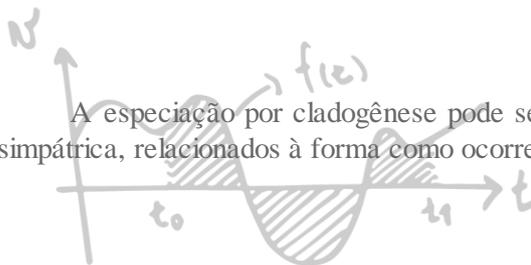


FIGURA 17: UMA POPULAÇÃO MUDA AO LONGO DO TEMPO NA ANAGÊNESE; NA CLADOGÊNESE OCORRE DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES. PERCEBA QUE A ANAGÊNESE (MUDANÇA SEM DIVERSIFICAÇÃO) PODE OCORRER ENTRE EVENTOS DE CLADOGÊNESE. POR EXEMPLO, NA IMAGEM DA DIREITA A MUDANÇA AO LONGO DO TEMPO DA ESPÉCIE VERMELHA PARA A ROSA REPRESENTA ANAGÊNESE. O MESMO OCORRE DA ESPÉCIE VERDE ESCURA PARA A VERDE CLARA.

A especiação por cladogênese pode ser classificada em dois tipos principais, alopátrica e simpátrica, relacionados à forma como ocorrerá o isolamento reprodutivo.

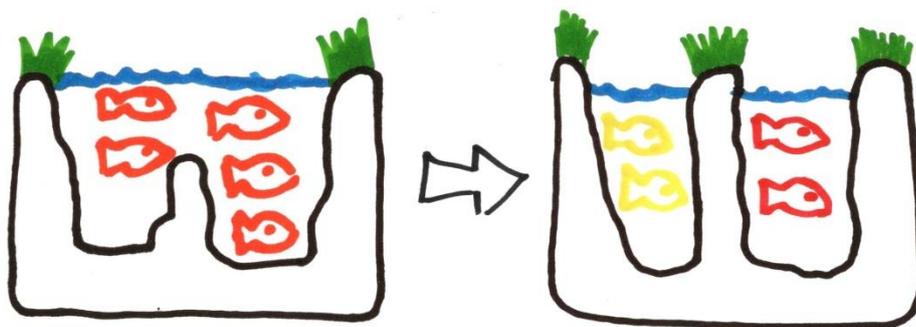


## ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA

Na **especiação alopátrica** as espécies vão se originar após a formação de alguma **barreira física**, que causa o **isolamento geográfico** de duas ou mais populações de uma espécie. O termo “alopátrica” vem do grego *allos*, que significa outro, e *patra*, que significa pátria. Significa basicamente que as duas populações ficarão em locais diferentes.

Então, imagine que inicialmente temos uma população de alguma espécie e ocorre o surgimento de uma barreira que separa essa população em duas. No caso de uma população de uma espécie de peixes, por exemplo, pode ser que uma seca transforme uma lagoa em duas lagoas menores; ou pode ser que um rio mude seu curso e isole duas populações de uma espécie de serpente; ou dois continentes se separam e isolam populações de muitas espécies diferentes. Enfim, a ideia é que na especiação alopátrica ocorrerá uma separação geográfica – haverá **isolamento geográfico**.

O que ocorre após a separação? Bem, cada população vai viver sua vida. Ao longo do tempo, mutações que surgem em uma população não surgem na outra. O ambiente das duas populações também é diferente. A seleção natural não ocorrerá da mesma forma. Outros fatores evolutivos também são diferentes em cada uma das populações. Ao longo do tempo, as diferenças vão se acumulando. Podem se acumular tantas diferenças que, mesmo que essas duas populações voltem a se encontrar, não sejam mais compatíveis em termos de reprodução. Olha só! Ocorreu então o isolamento reprodutivo, que, como vimos, está na base do conceito biológico de espécies. Assim, se essas duas populações de uma espécie ancestral não podem mais reproduzir e deixar descendentes, existem agora duas espécies diferentes, e não duas populações da mesma espécie.



**FIGURA 18: NA ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA DUAS ESPÉCIES SE FORMAM DEPOIS QUE UMA BARREIRA FÍSICA SE FORMA.**

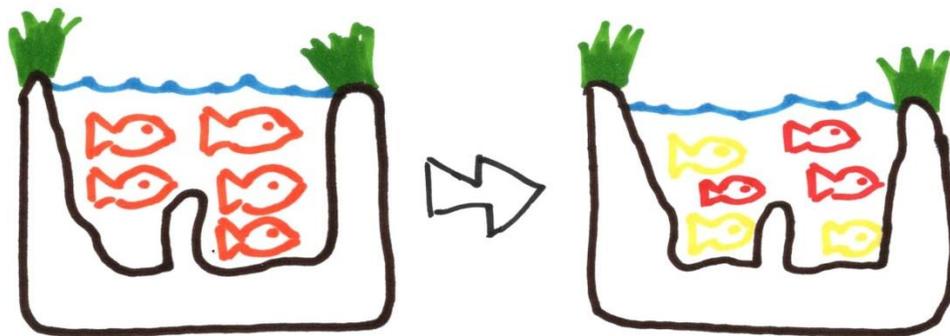
Normalmente o que é destacado é o acúmulo de diferenças genéticas entre as duas populações. Mutações inserem novos alelos, a seleção natural diminui ou aumenta a frequência de outros alelos. Como as populações estão isoladas, dizemos que o fluxo gênico entre elas foi interrompido. Ou seja, caso ocorra uma mutação em uma das populações, ela não poderá

“migrar” para a outra porque não existe fluxo gênico entre as populações. Podemos dizer que o **pool gênico** de cada população foi isolado.

Resumindo, na especiação alopátrica inicialmente uma barreira geográfica impede o fluxo gênico, o que causa o acúmulo de diferenças entre populações até elas serem tão diferentes que, mesmo que se encontrem, não podem mais reproduzir – o isolamento geográfico leva ao isolamento reprodutivo. O mais aceito atualmente é que a especiação alopátrica seja o principal processo relacionado com a formação de novas espécies.

## ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA

Na especiação simpátrica as espécies se originam **sem a formação de uma barreira física**, ou seja, em uma mesma área geográfica. O termo “simpátrica” vem do grego *syn*, que significa junto. Mas como pode ocorrer especiação em uma separação física? Provavelmente, como o contato não é totalmente interrompido, a especiação simpátrica não seja tão comum quanto a alopátrica. Alguns fatores podem estar relacionados; entre eles está o isolamento ecológico. Um exemplo seria um inseto que se alimenta de determinada planta. Pode ocorrer alguma variação na população que faz com que um grupo de indivíduos se alimente preferencialmente de uma planta um pouco diferente. Os filhos podem herdar essa diferença. Caso essas diferenças influenciem o fluxo gênico, podem se formar novas espécies mesmo sem o isolamento geográfico. Em plantas, principalmente, esse tipo de especiação está relacionado a grande mutações cromossômicas que geram indivíduos poliploides (com um conjunto extra de cromossomos). Os indivíduos poliploides podem resultar em novas espécies. Em alguns casos de poliploidia, em uma única geração pode ocorrer a formação de uma nova espécie, isolada reprodutivamente, por especiação simpátrica.



**FIGURA 19: NA ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA NOVAS ESPÉCIES PODEM SE FORMAR SEM A NECESSIDADE DE UMA BARREIRA FÍSICA ENTRE ELAS. NO ESQUEMA ESTÃO REPRESENTADAS DUAS ESPÉCIES DIFERENTES A PARTIR DA ANCESTRAL. ENTRETANTO, PELO MENOS NO COMEÇO DO PROCESSO, VOCÊ PODE IMAGINAR A NOVA ESPÉCIE SE FORMANDO A PARTIR DE UM PEQUENO GRUPO DA POPULAÇÃO ORIGINAL.**

Tanto na especiação alopátrica como na especiação simpátrica ocorre isolamento reprodutivo de diferentes grupos de organismos. A incompatibilidade reprodutiva ocorre através de vários mecanismos diferentes (relacionados ao acúmulo de diferenças que surge nos grupos de indivíduos). Mas que mecanismos são esses? Podemos classificá-los em dois grupos: barreiras pré-zigóticas e barreiras pós-zigóticas.



### BARREIRAS PRÉ-ZIGÓTICAS

Lembre-se que estamos falando de barreiras que impedem o fluxo gênico entre espécies. Ou seja, que impedem a troca de genes entre populações de uma espécie. Podem ser espécies que se originaram de um ancestral recentemente. Então, caso elas voltem a se encontrar, por quais mecanismos não conseguiriam mais reproduzir e deixar descendentes férteis?

As **barreiras pré-zigóticas** são mecanismos que **impedem o acasalamento ou a fertilização** caso o cruzamento ocorra. Dessa forma, elas impedem a formação do **zigoto** (por isso o nome pré-zigóticas). Existem várias barreiras pré-zigóticas, entre elas:

- 1 Isolamento de hábitat:** Os organismos das duas espécies podem até viver em uma mesma área, mas selecionam diferentes habitats. Um dos resultados é que eles podem nunca se encontrar. Imagine duas espécies de sapos que vivem na mesma floresta, mas uma vive dentro de bromélias e a outra no solo úmido. Nesse caso, seria rara a possibilidade de ocorrer fluxo gênico entre elas;



FIGURA 20: ESSAS DUAS ESPÉCIES DE MOSCAS VIVEM EM HÁBITATS DIFERENTES DENTRO DE UMA MESMA ÁREA E DIFICILMENTE SE ENCONTRAM.

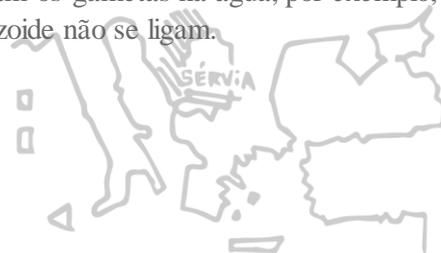
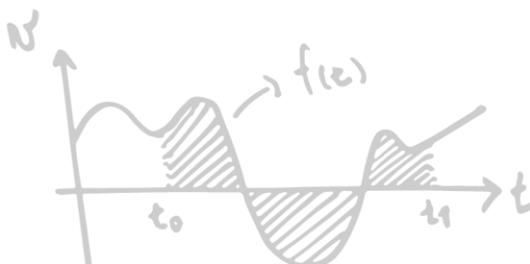
**2. Isolamento temporal:** as duas espécies podem viver muito próximas, mas o período reprodutivo de cada uma ocorre em épocas diferentes. Podem ser períodos diferentes durante o dia ou mesmo em diferentes épocas do ano. Digamos que em um gênero de gambás existam duas espécies que até possuem uma sobreposição em sua distribuição e os indivíduos se encontram eventualmente, mas uma das espécies se reproduz de janeiro até abril e a outra de junho até setembro. Digamos que, quando um quer, o outro nem sabe o que é isso. Enfim, sem fluxo gênico também. Você pode encontrar esse isolamento com outro nome também: sazonal;

**3. Isolamento comportamental:** os indivíduos das duas espécies podem possuir rituais de acasalamento ou outros comportamentos característicos que não funcionam com outras espécies. Assim, os indivíduos das duas espécies não se identificam como parceiros reprodutivos. Imagine uma espécie de ave que o macho precisa fazer uma “dancinha” bem específica para atrair a fêmea; esse comportamento não funciona com fêmeas de outras espécies;

Esses três tipos de isolamento impedem que o acasalamento ocorra, mas, em alguns casos, ocorre tentativa ou acasalamento e mesmo assim o zigoto não é formado. Vamos falar de duas barreiras desse tipo.

**1. Isolamento mecânico:** os indivíduos de duas espécies até tentam acasalar, mas diferenças na sua morfologia impedem a reprodução. Pode ser uma diferença de tamanho, de forma, etc. Alguns insetos possuem órgãos copulatórios com estrutura característica que não permite que o acasalamento tenha sucesso com indivíduos de outras espécies;

**2. Isolamento gamético:** o acasalamento ocorre, entretanto os espermatozoides de uma espécie podem morrer devido a condições do sistema reprodutivo da fêmea de outra espécie, ou talvez não apresentem compatibilidade química com os óvulos da outra espécie. Em alguns animais aquáticos que liberam os gametas na água, por exemplo, as proteínas da superfície do óvulo e do espermatozoide não se ligam.



## BARREIRAS PÓS-ZIGÓTICAS

As barreiras pós-zigóticas operam após a formação do zigoto (a fecundação ocorre). Mas depois que o zigoto híbrido está formado, o que pode impedir que o fluxo gênico ocorra de forma frequente entre as duas espécies? Híbrido é um organismo formado a partir de duas espécies diferentes. Vamos estudar dois casos:

1. **Baixa viabilidade do híbrido:** o desenvolvimento do zigoto pode ser comprometido. O zigoto pode morrer ou nascer e apresentar muitos problemas que dificultam sua sobrevivência.
2. **Baixa fertilidade do híbrido:** os híbridos podem se tornar adultos (inclusive mais robustos que os adultos das duas espécies que o originaram), mas são inférteis. Como esses indivíduos não conseguem reproduzir e deixar descendentes, o fluxo gênico não continua. Um exemplo clássico é a descendência resultante de cavalos e jumentos; as mulas (ou burros) geradas são usualmente inférteis.

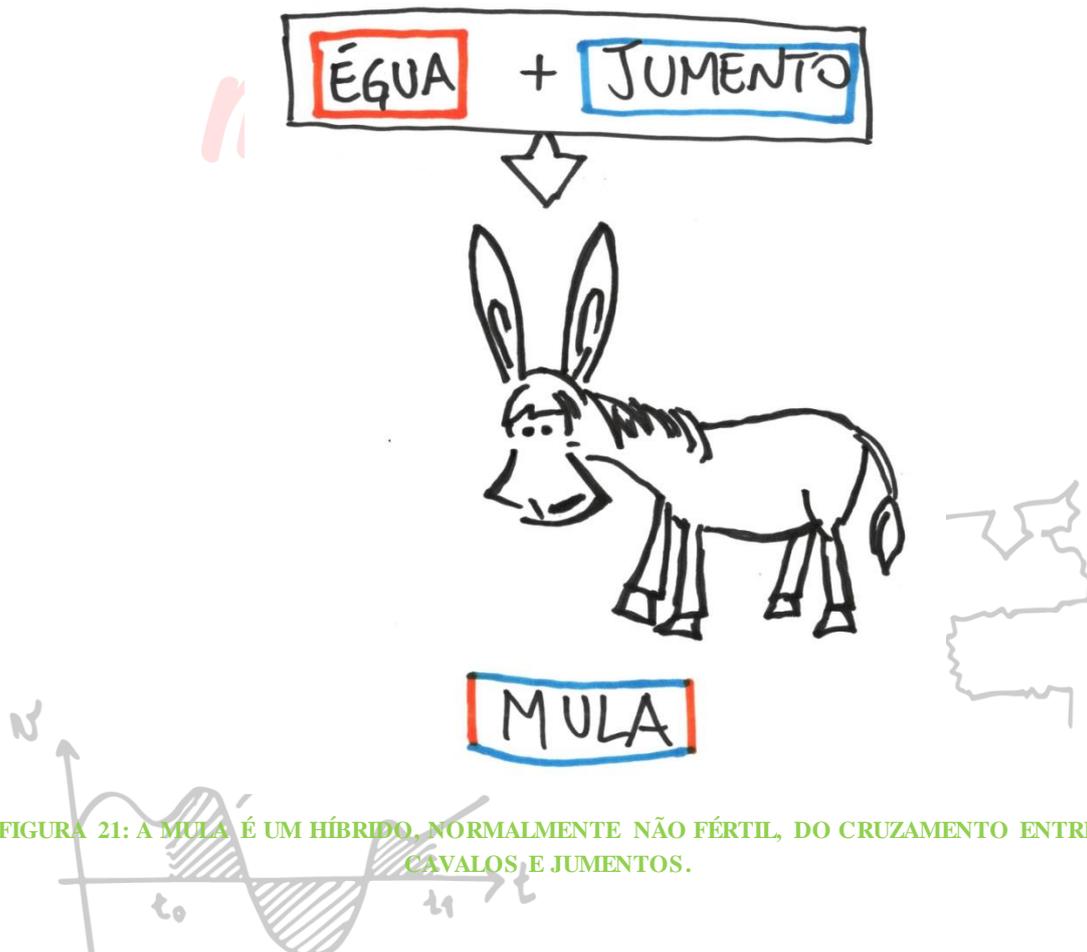


FIGURA 21: A MULA É UM HÍBRIDO, NORMALMENTE NÃO FÉRTIL, DO CRUZAMENTO ENTRE CAVALOS E JUMENTOS.

A seleção natural pode estar relacionada ao desenvolvimento de barreiras pré-zigóticas. A ideia é simples. Se indivíduos de uma espécie que cruzam com indivíduos de outras espécies deixam menos prole fértil (por causa dos mecanismos pós-zigóticos), os indivíduos que por algum motivo não cruzam com outras espécies aumentam de frequência na população. Mecanismos pré-zigóticos podem ser, de certa forma, “acentuados” através desse processo, chamado de **reforço**.



## ZONAS HÍBRIDAS

Caso duas populações descendentes de uma espécie ancestral voltem a se encontrar antes do isolamento reprodutivo ter se desenvolvido, pode ocorrer cruzamento entre os indivíduos. Podem ocorrer diferentes resultados a partir do contato e cruzamento:

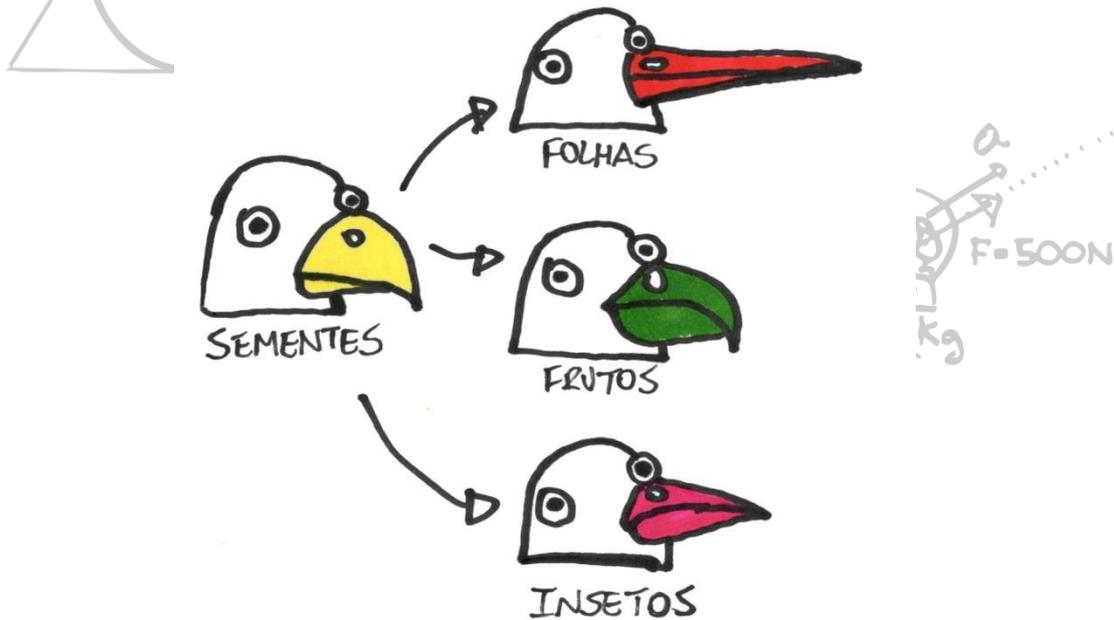
1. Se os híbridos não tiverem desvantagem em relação aos indivíduos das duas “espécies”, eles podem se espalhar pelas duas populações e o fluxo gênico se estabelecer novamente. Nesse caso, o processo não resultará na formação de duas espécies;
2. Se os híbridos tiverem desvantagem (como nos casos de isolamento pós-zigótico), pode ocorrer o isolamento definitivo das duas populações com a formação de duas espécies. Nesse caso, mecanismos de reforço podem estar envolvidos, “acentuando” as barreiras pré-zigóticas;
3. Algumas vezes, mesmo com híbridos menos adaptados, pode ficar estabelecida uma região onde os membros das duas espécies se encontrem e cruzem. Essa região é chamada de **zona híbrida**.

## RADIAÇÃO ADAPTATIVA

Um último conceito para estudarmos ainda nesta apostila é o de **radiação adaptativa** (ou irradiação adaptativa). Esse termo é utilizado para se referir a processos de especiação em que um único ancestral origina diversas espécies em um período relativamente curto de tempo. Esse conceito é um tanto quando amplo e gera debates. Para dar uma ideia melhor, vamos ver o exemplo mais clássico de irradiação adaptativa, relacionado com a evolução dos mamíferos.

Após a extinção dos grandes dinossauros, com muitos ambientes “disponíveis”, os mamíferos se diversificaram (principalmente os com placenta), tornando-se ecologicamente diferentes e com adaptações diversas. Esse exemplo também ilustra outra característica das radiações adaptativas. Elas têm boas chances de ocorrer em regiões com muitos **recursos não utilizados** (subutilizados). No caso dos mamíferos, muitas vezes é dito que eles ocuparam “nichos ecológicos vagos” deixados pelos grandes dinossauros. Apesar de a ideia de “nicho vago” poder ser discutida, ela pode aparecer em suas provas. A questão dos recursos disponíveis ajuda a entender porque radiações adaptativas ocorrem depois de **extinções em massa**. Ilhas também podem ser locais onde se percebem radiações rápidas (principalmente as formadas

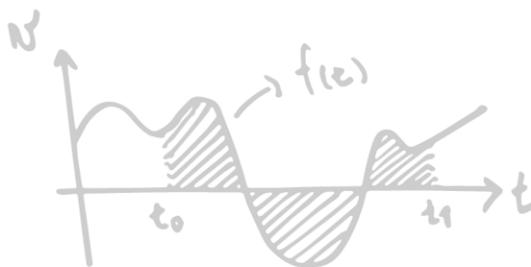
recentemente, exatamente porque ainda possuem poucos organismos utilizando os recursos). A radiação adaptativa também não precisa ser de um número absurdo de espécies. A própria origem de mais 14 espécies de tentilhões nas ilhas Galápagos a partir de um ancestral do continente configura um bom exemplo de irradiação adaptativa, na qual diferentes espécies surgiram com adaptações específicas relacionadas aos ambientes em que vivem.



**FIGURA 22: ESQUEMA PARA REPRESENTAR A RADIAÇÃO ADAPTATIVA. UMA ESPÉCIE DE AVE ANCESTRAL QUE VIVIA EM UM AMBIENTE E SE ALIMENTAVA DE SEMENTES COLONIZOU OUTROS LOCAIS E ORIGINOU TRÊS ESPÉCIES ADAPTADAS AOS NOVOS LOCAIS, COM MUDANÇAS NOS FORMATOS DO BICO RELACIONADAS À DIETA.**

Bom, galera, bastante coisa né? É um assunto muito interessante! Bons estudos! :)

Olhem o “para saber mais” aqui embaixo, tá bem legal!



## PARA SABER MAIS!

## Livros:

- ✓ Biologia, Ciência Única. Ernst Mayr. 2005.

Este livro trata de todos assuntos discutidos na apostila (e outros), aprofundando várias das questões.

## Sites:

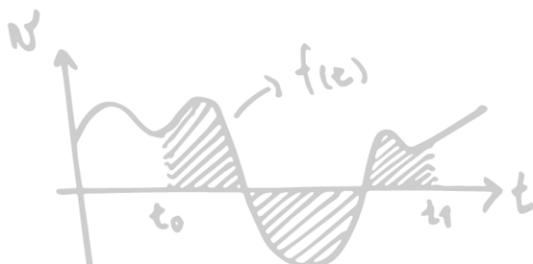
- ✓ <http://www.ib.usp.br/evosite/evo101/index.shtml>

No site vocês podem “passear” pelas várias categorias de assuntos relacionados à evolução biológica. Podem seguir a ordem apresentada ou ir direto ao assunto que despertou interesse.

## Filmes e documentários:

- ✓ Criação, um filme de 2009 dirigido por Jon Amiel
- ✓ Evolução dos tentilhões de Galápagos, documentário que pode ser acessado aqui: <https://www.youtube.com/watch?v=LumJSjWG7tE>

O filme é sobre Charles Darwin. Você pode conhecer um pouco mais sobre a vida (apresentada de forma hollywoodiana) de um dos cientistas mais importantes da história da humanidade. O documentário vai ajudar você a compreender melhor a especiação e vários conceitos discutidos na apostila.



## REFERÊNCIAS

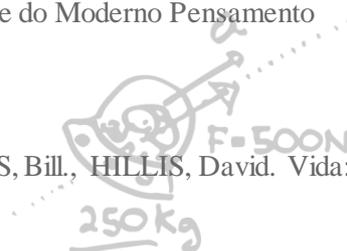
AMABIS, José M., MARTHO, Gilberto R. Fundamentos da Biologia Moderna. 4.ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CAMPBELL, Neil A., REECE, Jane B., URRY, Lisa A., CAIN, Michael L., WASSERMAN, Steven A., MINORSKY, Peter V., JACKSON, Robert B. Biologia. 8.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.

MAYR, Ernst. Uma Ampla Discussão - Charles Darwin e a Gênese do Moderno Pensamento Evolucionário. São Paulo: FUNPEC, 2006.

RIDLEY, Mark. Evolução. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2006.

SADAVA, David., HELLER, Craig., ORIAN, Gordon., PURVES, Bill., HILLIS, David. Vida: A Ciência da Biologia. 8.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2009.



meSalva!

