

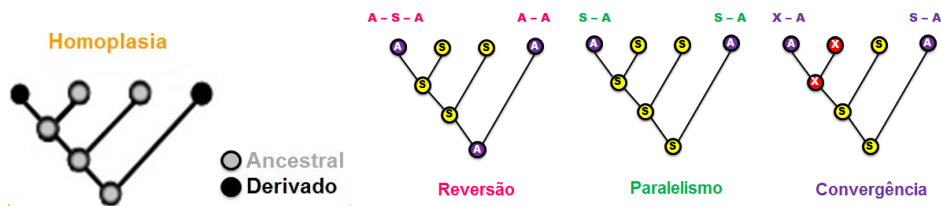
MODOS DE VIDA EM VERTEBRADOS: ADAPTAÇÕES E CONVERGÊNCIAS

Definições:

Adaptação: Característica ou comportamento que torna o organismo capacitado a **sobreviver** e a se **reproduzir** em **seu** respectivo **habitat**. Como regra geral, as adaptações são resultados do processo de **seleção natural**, devido a diferentes níveis de aptidão (ou valores adaptativos) conferidos por variações genótípicas aleatórias em um caractere, sendo tais variações herdáveis.

Tipos de adaptação: **Fisiológica** (proteínas anticongelantes no sangue de peixes antárticos e sapos canadenses), **Anatômica** (asas para voo), **Comportamentais** (salamandras que descem barrancos rolando); **Sinergia** entre tipos de adaptações: hibernação (ursos e lagartos), é um conjunto de todos os tipos de adaptação (fisiológica – maior acúmulo de energia e redução do metabolismo basal), anatômica (pelagem de inverno – ursos), comportamental (cavar (teíú) ou procurar (ursos) tocas para hibernar, e o próprio ato de hibernar).

Convergência: Qualquer característica que tenha evoluído independentemente em 2 ou mais linhagens evolutivas não relacionadas. **Convergência** é um dos tipos de **homoplasia** (analogia); homoplasia pode ocorrer por **paralelismo** e **reversão** também.



Homoplasia: origem múltipla independente do estado derivado.

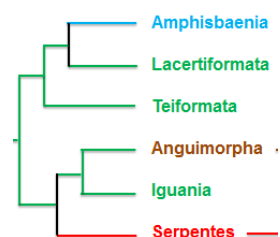
Convergência: a partir de **diferentes** estados primitivos surgem 2 ou + vezes o mesmo estado derivado.

Paralelismo: a partir do **mesmo** estado primitivo surgem 2 ou + vezes o mesmo estado derivado.

Reversão: a partir do estado derivado ocorre uma aparente **volta secundária**, reversão, para o estado primitivo. É importante notar que, como este estado “primitivo” modifica-se a partir do derivado, ele deve ser compreendido como “derivado a partir do derivado”. Na realidade ele é um estado derivado com forma de primitivo, podendo, portanto, ser equivocadamente compreendido como sendo o estado primitivo (plesiomórfico).

Nesse tema, entendo que estaremos tratando de homoplasias, pois não há espaço e muitas vezes conhecimento para discernir entre os tipos de homoplasias.

Por exemplo, como ocorreu a ausência de membros em Squamata. Evoluiu pelo menos 4 vezes: Serpentes, Anguimorpha, Dibamia [basal], Amphisbaenia. Qual caso se encaixa? Reversão (improvável, visto que originalmente os Squamata devem ter pernas), Convergência ou Paralelismo? Talvez convergência no caso de serpentes e amphisbaenias, mas e no caso de serpentes e anguimorpha?



MODOS DE VIDA EM VERTEBRADOS: ADAPTAÇÕES E CONVERGÊNCIAS

Digo isso, pois muitas vezes podemos estar nos referindo a paralelismos e não convergências. O importante é que estarei apresentando caracteres não homólogos e relacionados às adaptações aos diferentes modos de vida dos vertebrados.

Modos de Vida: Todas as variações que observamos relacionadas aos hábitos (relacionados a fatores intrínsecos da espécie, como modos de forrageio, reprodução, e defesa) e habitats (relacionados ao meio ambiente, como marinho, dulcícolas ou terrestres) dos animais. É um assunto muito extenso, pois cada animal possui seu modo de vida específico e os modos de vida podem variar entre as populações ou mesmo entre os indivíduos. Assim, vou apresentar uma abordagem compreensiva e com alguns exemplos da fauna nativa do Brasil.

Casos:

Voo: o voo é um exemplo clássico que envolve modo de vida, adaptações e homoplasias. Como adaptação fundamental ao voo registra-se os membros anteriores de Tetrapoda modificados em asas. Estas evoluíram de forma convergente entre as Aves, Pterossauros e Morcegos. Os ossos das mãos entre esses grupos são homólogos, mas as asas são análogas. Na das aves todo o braço é envolvido na estrutura/suporte da asa, nos Pterossauros apenas um dos dedos segura a estrutura da asa. Nos morcegos todos os dedos fazem parte da estrutura da asa. Neste último caso, a asa é muito mais flexível e permite uma série de configurações que permitem aos morcegos voar com muito mais manobrabilidade que as aves. As aves por sua vez, possuem todo o esqueleto e órgãos internos adaptado ao voo. Destaco a ausência de bexiga, apenas um ovário funcional ou testículos que ficam quiescentes fora da temporada reprodutiva, excretas em forma de ácido úrico, ossos ocos e trabeculados (todas as adaptações para redução de peso e conservação de água), reduções e fusões ósseas (como processos uncinados das costelas, tibiatarso, carpometacarpo, sinsacro, pigóstilo), para aumentar rigidez ao corpo e também reduzir o peso. E claro as penas...

Estas são adaptações para o voo batido, mas observa-se também o **voo planado** em diversas espécies, incluindo aves grandes como os urubus, albatrozes ou condores andinos. Mas também se observa em esquilos e colugos (Mammalia da África), lagartixas (Gekkonidae), lagartos (*Draco volans*) e serpentes (*Chrysopelea* spp.) (Squamata da Oceania), anfíbios (*Racophorus* spp. ou *Agalychnis* spp., da África, Oceania e América Central) e até mesmo nos peixes-voadores (Osteichthyes). Nestes animais o voo planado é muito utilizado como estratégia de **fuga** contra predadores ou mesmo para se **deslocar** para suas atividades cotidianas. Em **Bornéu**, onde diversos desses animais coexistem, sugere-se que a intensa pressão seletiva dos predadores de solo tenha promovido a grande diversificação de formas planadores na ilha. **Nem sempre** as espécies aqui estão usando **estruturas homólogas** para construir seus planadores, como **serpentes** e **lagartos** usando **costelas**, **mamíferos** e **anfíbios** usando extensões da **pele**, ou os **peixes** usando **nadadeiras** peitorais modificadas.

As nadadeiras por sua vez, são rotineiramente utilizadas para **natação**: membros anteriores modificados em formato de remos (nadadeiras) convergiu em muitos grupos de vertebrados aquáticos, como: tartarugas marinhas, ichthyossauros e plesiosauros

MODOS DE VIDA EM VERTEBRADOS: ADAPTAÇÕES E CONVERGÊNCIAS

(extintos), pinguins, cetáceos e pinípedes em geral. Não só as nadadeiras são usadas para natação, mas também caudas lateralmente achatadas (como em moreias, gymnophionas aquáticas, crocodilianos e serpentes marinhas) e membranas interdigitais (como em patos, anfíbios aquáticos: Pipidae, e ornitorrinco). Para natação temos ainda formato hidrodinâmico (assim como aerodinâmico) [mas diferente para bentônico – raia e girino; e nectônico peixe e girino] e redução de pelos (lontras, golfinhos) e penas (pinguim).

Os peixes nadam, mas eventualmente também devem se prender na vegetação subaquática, como os cavalos-marinhos (*Hippocampus* spp.). Para tanto, fazem uso de uma **cauda preênsil**, que também é homoplástica àquela dos animais **arborícolas** como tamanduás (t-de-colete e tamanduá), gambás (como os nossos *Didelphis* spp.), camaleões, serpentes e até mesmo primatas, como os macacos-aranha. Como adaptação à vida arborícola, diversos grupos de animais possuem garras providas de dedos oponíveis para melhor segurar os galhos, como camaleões, primatas e aves (com inúmeras adaptações, inclusive para dormir empoleirados). Uma delas, a cigana (da Amazônia), os jovens possuem dedos funcionais em suas asas para se segurarem nos galhos das matas ciliares onde vivem. Os ajudam a escalar também. Com hábitos **escaladores**, muitas aves possuem pés zigodáctilos (X) (como os pica-paus) e também raques rígidas em suas penas da cauda para se apoiarem enquanto forrageiam nos troncos (como os pica-paus e arapaçus – estes não possuem pés zigodáctilos). Para se firmar em superfícies verticais, é comum também animais que praticamente **“grudam” no substrato**. Lagartixas (forças de Van der Waals - forças devido à interação eletroestática de íons) e Pererecas (discos adesivos: células hexagonais com nanopilares + muco = adesão) desenvolveram sistemas elaborados para tal (um seco outro molhado).

Diversos animais aquáticos também se fixam com auxílio de ventosas; classicamente exemplificado com rêmoras (nadadeira dorsal), outros peixes também se fixam, como os mudskipper (nadadeira pélvica). Não só as nadadeiras podem se modificar em ventosas, mas também o próprio corpo dos animais, como aqueles que vivem em corredeiras, e.g., peixe-ventosa (*Gobiesox*) ou girinos de *Thoropa*.

Os vertebrados podem ter hábitos fossoriais, neste sentido possuem **aparelhos cavadores**: tatus e morsas (patas dianteiras) / tamanduá e pangolin para abrir cupinzeiros (ver mais sobre estes 2 adiante); Ambisnaenias (cabeça ossificada) / *Bipes* spp. (com patas); roedores, como o rato-pelado (com dentes). Os ratos-pelados são desprovidos de pigmentos (e pelos). Isto se relaciona com a vida em **zonas afóticas**: salamandras (*Proteus*) e peixes (*Pimelodella*), **troglóbios**, e serpentes (*Leptotyphlops*) **fossoriais** (todos sem pigmento). Estes animais possuem olhos reduzidos ou vestigiais. Por outro lado existem aquelas **espécies que vivem no escuro (noturnas ou de profundezas abissais)**, mas querem se localizar (como o guacháro dos antes, com **ecolocalização**, convergente com aquela dos cetáceos e morcegos) ou **enxergar**: anfíbios, corujas e Caprimulgiformes (bacurau, curiango, mãe-da-lua, urutau), primatas (Lêmures), demais mamíferos e serpentes noturnas: é similar entre eles a proporção do tamanho dos **olhos** (quando comparados com espécies diurnas). Olhos com *Tapetum lucidum* (primatas noturnos, Carnívora: especialmente felinos e tubarões); Bioluminescência (peixe-lanterna), peixe com cabeça transparente (*Macropinna microstoma*); ou olho duplo do *Opisthoproctus* e

Dolichopteryx. Por falar em peixe com olho duplo, o tralhoto (*Anableps* do norte do Brasil) também possui um olho dividido para enxergar tanto dentro como fora da água. A refração é um problema para todos aqueles que vivem em um meio e tentam caçar no outro meio (como peixes que comem insetos [cuspir ou pular] ou aves que comem peixes [mergulho vertical: martim-pescador *Alcedinidae*, arrasto: talha-mar *Rynchops niger*, fazer sombra com asa: *Egretta ardesiaca*]). Algumas aves também desenvolveram táticas especiais como pescar com pão e frutinhas; A tática de atrair as presas também pode ser feita com **engodos** como: língua de tartaruga, nadadeiras dorsais de peixe-sapo ou do anglerfish [peixe-pescador com espinhos (o 1º ou os 3 1ºs) da nadadeira dorsal modificados em varinhas e na ponta é possível simbiose com bactérias bioluminescentes nas espécies abissais]; dedos da *Phyllomedusa* ou da *Rhinella marina*; rabo das jararacas (*Bothrops* ou *Cerastes*);.

Viperídeos também usam um **sistema de fosseta loreal** (que pode ser convergente ao sistema de **fosseta labial** da periquitambaia e outras *Corallus* spp.) para enxergar e capturar suas presas na escuridão. Em seguida usam a língua para rastrear o cheiro de sua presa. As **línguas** também são usadas para capturar o alimento (morcego, camaleão, salamandra, sapos, tamanduás, pangolin e Numbats, pica-paus). Existe incrível semelhança entre as táticas dos tamanduás e pangolins (sem dentes e com patas dianteiras para cavar), nem tanto com os Numbats (que já possuem dentes, mas são marsupiais). Por outro lado, algumas parecem muito similares quando não o são: este é o caso dos **morcegos** (2013: possuem papilas na ponta da língua que ficam eretas com preenchimento de sangue na sua base; néctar fica preso entre as papilas eretas) e dos **beija-flores** (2011: mas foi demonstrado um elaborado sistema de captura de nectar, no qual a língua se divide em 2, quando imersa no nectar, e cada metade possui lamelas curvadas que envolvem o nectar e o trazem para dentro do bico). Acreditava-se que as línguas retiravam o nectar por capilaridade até recentemente. Este é só um exemplo de como o avanço da tecnologia (no caso, câmeras de alta velocidade e análise microscópica) podem aumentar nosso conhecimento sobre a morfologia dos vertebrados. A língua do **pica-pau** já é totalmente diferente, com espinhos córneos voltados para trás e conectada ao aparelho hioide especializado para captura de invertebrados e não líquidos. Assim, usar a língua pode ser uma convergência, em alguns casos selecionada pelo tipo de item alimentar, mas a analogia vai pouco além disto.

Não só os animais predam, mas também se **defendem**. Semelhança com folhas (defesa primária), peixes (peixe-folha), anfíbios (sapo-de-chifres *Proceratophrys*) girinos (*Xenohyla*), tartarugas (Matá-Matá), serpentes (como viperídeos). Por outro lado os aposemáticos e a coloração vermelha e amarela é universal no ambiente terrestre (anfíbios, répteis, porco-espinho), mas também pode ser contrastante com preto e branco (como em corais da Amazônia, ou mesmo os gambás e cangambás). Para as aves (reprodução) e peixes marinhos (camuflagem) a situação pode ser outra. Depende do mecanismo de captação de luz do predador.

Aposematismo geralmente está relacionado a **veneno**... caso das cobras corais e falsas-corais. Convergência de Unken (Melano x Bombina), sequestro de veneno Dendrobatidae, Bufonidae e Mantelidae + aves, serpentes; alguns passam pelo corpo (hedghog) e outros produzem o que passam (Lóris-lento). Peixes muitos com espinhos de veneno; costelas de salamandra e ornitorrinco. Dentes da mandíbula inferior

MODOS DE VIDA EM VERTEBRADOS: ADAPTAÇÕES E CONVERGÊNCIAS

sulcados em musaranhos e mostros-de-gila para conduzir o veneno das glândulas orais. Ao invés de veneno, alguns usam **eletricidade**. Defesa em piramboia, mas também **comunicação** entre indivíduos como no peixe-elefante e **percepção do ambiente** como em tubarões (ampolas de lorenzini), peixes de águas turvas (como os Chondrostei: peixe espátula).

Para **percepção do ambiente**, diversos **sentidos** são considerados importantes adaptações aos modos de vida. Por exemplo, além da **visão, eletro e termorrecepção** já discutidos acima, **olfato** 3D tubarão, tentáculos olfativos em animais fossoriais (cecílias), sistema vomeronasal (órgão de Jacobson) para espécies terrestres (= sinapomorfia dos Tetrapoda), mas divergiu entre as espécies (kiwi, cães e processos turbinados), usos (feromônio, territorialidade, encontro de comida e marco para navegação - salmão). **Paladar** em morcegos (paladar antes de comer) e bagre (botões gustativos espalhados pelo corpo). **Tato**: linha-lateral (neuromastos), e toupeira nariz-de-estrela (Although it has poorly developed eyes, the star-nosed mole's nose is incredibly sensitive to touch. The mole almost 'sees' with its nose – its brain processes information from the nose as if it were a visual image. Its nose is only one centimetre wide, but it is packed with around 100,000 touch receptors – we only have about 17,000 in each of our hands. The 22 fleshy points work like finger tips to detect earthworms and insects.)

Aqui cabe também menção aos animais que vivem em **regiões extremas** do planeta. Como já comentei os vertebrados que vivem em regiões com **temperaturas** muito baixas (abaixo do ponto de congelamento da água) devem ter adaptações para superar as condições adversas. **Proteínas anticongelantes** no sangue de anfíbios e peixes é uma delas. Anfíbios e tartarugas aquáticas do Canadá e norte dos EUA podem permanecer congelados por alguns meses durante o inverno. Por outro lado existem aquelas espécies que vivem em regiões quentes do planeta, como anfíbios, lagartos (comportamento de levantar o pé), serpentes e lagartos que se enterram, mamíferos que vivem em tocas (o mesmo vale para áreas que naturalmente pegam fogo como o cerrado e o *Clyomys bishopi*) e mamíferos de desertos (camelos que aguentam grande oscilação térmica com regulação dos vasos sanguíneos periféricos – a microcirculação).

Claro que **endotérmicos** e **ectotérmicos** variam de temperatura corpórea de maneira diferente. E a própria endotermia pode ser usada como exemplo de convergência entre aves e mamíferos. No caso das aves pode ser considerada uma **pré-adaptação** (ver abaixo). Os camelos tem a capacidade de variar a temperatura do corpo entre 34 e 42 graus (entre noite e dia, respectivamente) suando menos e perdendo menos água (problema grave para animais do deserto). **Não só a temperatura** é limitante, como também a umidade relativa e pluviosidade. A falta de água também faz - casulos (sapos e peixes). Por outro lado, alguns animais **migram** para contornar dificuldades ambientais, este é o caso de baleias (100 ton / 50 ton gordura) e beija-flores (*Archilochus colubris*: ~ 4,5 g / 2,5 g gordura). Ambos podem realizar migrações e ambos possuem a mesma proporção de **gordura** armazenada antes de realizarem suas migrações = 50% da massa corpórea. Pode ser considerada outra analogia relacionada ao modo de vida.

MODOS DE VIDA EM VERTEBRADOS: ADAPTAÇÕES E CONVERGÊNCIAS

Glândulas de Sal: nasal (Iguana), lingual (crocodilos), sublingual (serpentes marinhas), orbital (tamar), acima dos olhos (petrel), cefálica (mamíferos marinhos). Isto faz parte do balanço osmótico dos animais que devem eliminar o sal. Mas também devem conservar água ao mesmo tempo.

Vejam que os animais tem limites diferentes para temp., salinidade, umidade, etc...

Esteno (pouca) x **Euri** (muita) (térmicos, halinos)

Aclimatização: Ajustes fisiológicos ocorrendo na natureza ≠ Aclimação

Osmoconformador: [≈] varia com o meio; **Osmorregulador:** [—] independe do meio

A distrib. dos vert. universal, não homogênea. Gradientes temp. e outras variáveis ambientais: boas predictoras distrib. das spp. Assim, o **Nicho Grinnelliano** e **Eltoniano**

Isso tudo num contexto de mudanças climáticas terá sérias consequências para os anfíbios (aumento do nível do mar, salinização de zonas estuarinas, aumento da temperatura global, mudança no regime de chuvas locais, etc...); será que as adaptações atuais são suficientes? Quais são as adaptações hoje que serão pré-adaptações amanhã?

Pré-adaptação: O termo pré-adaptação refere-se aos casos em que certas estruturas, ao sofrerem pequenas mudanças adaptativas, em virtude o processo evolutivo, substituem sua função original (à qual estavam adaptadas) por uma nova função. Exemplos clássicos de pré-adaptação são as **penas das aves** e as **patas dos tetrápodes**.

Podemos observar que as **penas das aves modernas** são estruturas bem-adaptadas ao voo desses animais. Porém, uma recente descoberta de fósseis na China (2002), descritos como sendo de dinossauros não aviários que possuíam penas rudimentares, mudou esse quadro. A hipótese mais aceita em relação a esse caso é de que, provavelmente, nesses dinossauros as **penas** tinham funções diferentes do voo, talvez de **termorregulação** corporal ou de **exibição** (para atração de parceiro sexual, por exemplo) - como ainda verificamos hoje em dia nas aves. Portanto, é provável que essas estruturas não evoluíssem inicialmente como uma adaptação ao voo, fato que só ocorreu mais tarde, com o surgimento dessa função nas aves.

Já as **patas**, que são adaptações evoluídas a partir do surgimento dos tetrápodes, quando esses começaram a ocupar o ambiente terrestre. Os tetrápodes são um grupo de animais que surgiram a partir de uma linhagem de peixes de nadadeiras lobadas (sarcopterígeos) e que apresentam 4 pernas ou, como em nosso caso, 4 membros. As pernas foram utilizadas durante a evolução desses animais para possibilitar a locomoção em terra. Todavia, a evidência fóssil sugere que esses membros, na verdade, se originaram no ambiente aquático e eram usados para o **nado sob a água** [ainda alguns animais bentônicos, ou que também vivem no fundo, andam, como peixes abissais, o Celacanto e os peixes-morcego (noturnos do nosso litoral)]. Essa hipótese se baseia na observação de fósseis que datam de 360 milhões de anos, como o *Acanthostega*, semelhante aos peixes, um dos 1^{os} tetrápodes. Assim, a estrutura óssea das nadadeiras, presentes nos peixes para o movimento na água, evolui e se adaptou para caminhada em terra. Ambos os exemplos, portanto, servem para ilustrar a definição do termo pré-adaptação.