

Moulage d'un fossile d'Archéopteryx

Date du Jurassique
découvert en Bavière en 1861.

Argumentos do evolucionismo



Reconstitution de l'Archéopteryx

**Contributos das
diferentes áreas
científicas na
fundamentação e
consolidação do
conceito de
evolução**

Aula nº 43/45/46 e 48
21, 26 e 28Jan, e 2Fev 2009
Prof. Ana Reis

A Teoria da Evolução contém princípios aceites pela maior parte da comunidade científica e unifica os conhecimentos da Biologia.

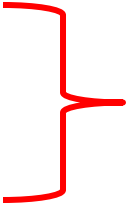
- A análise do processo evolutivo é crucial para a compreensão da vida.
- A Teoria da Evolução baseou-se, inicialmente, em dados fornecidos pela:
 - Anatomia Comparada;
 - Paleontologia;
 - Biogeografia;
 - Embriologia.
- Posteriormente, os avanços da Ciência levaram ao desenvolvimento de novos ramos da Biologia, que produziram dados que vieram, também, apoiar as concepções evolucionistas. Entre esses argumentos mais recentes destacam-se os contributos da:
 - Citologia;
 - Bioquímica;
 - Genética.

Argumentos do Evolucionismo

Argumentos	Exemplos
Anatômicos	Órgãos homólogos Órgãos análogos Órgãos vestigiais
Paleontológicos	Fósseis de seres vivos Fósseis de transição
Embriológicos	Desenvolvimento embrionário dos vertebrados superiores
Citológicos	Teoria celular
Biogeográficos	Indivíduos semelhantes em locais muito afastados Indivíduos diferentes em locais próximos

O desenvolvimento de sistemas de classificação para ordenar a grande diversidade de seres vivos conduziu à necessidade de estudar as semelhanças morfológicas.

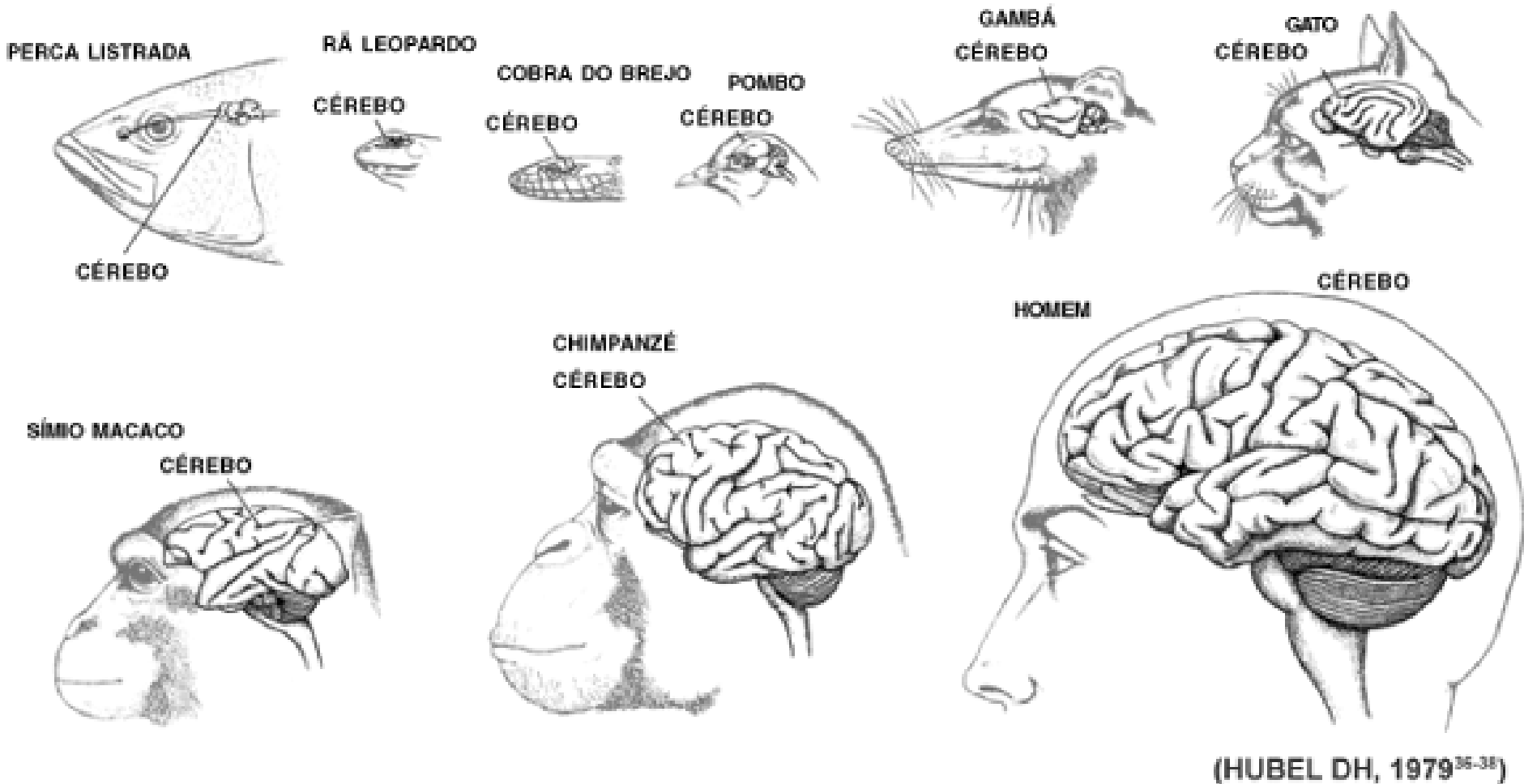
Dados da Anatomia Comparada

- Animais aparentemente diferentes apresentam semelhanças anatómicas, com as quais sugerem a existência de um ancestral comum, com um plano estrutural idêntico ao apresentado por todos os seres vivos que dele terão derivado.
- A Anatomia Comparada tem fornecido dados que apoiam o Evolucionismo, revelando a existência de **órgãos**:
 - Homólogos;
 - Análogos;
 - Vestigiais..

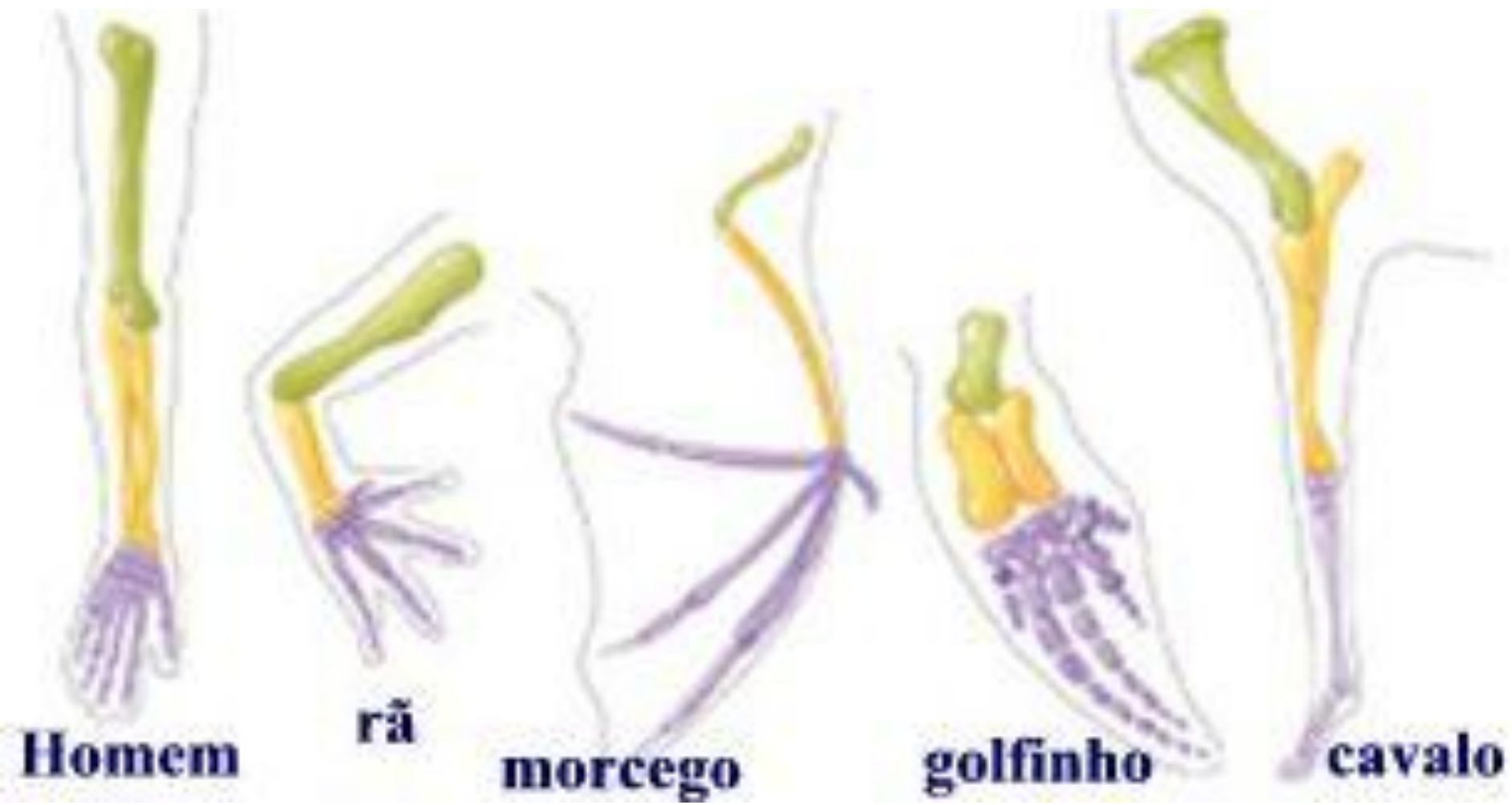
nos indivíduos estudados

Órgãos ou Estruturas Homólogas

- Os **órgãos** ou **estruturas homólogas** são órgãos que, **apesar de desempenharem uma função diferente**, apresentam:
 - **um plano estrutural semelhante**;
 - **a mesma posição**;
 - **origem embriológica idêntica**.
- Os esqueletos dos membros apresentados na figura seguinte apresentam um plano estrutural semelhante.
- Contudo, têm um grau de desenvolvimento diferente, o qual está relacionado com a função que desempenham.
- Além disso, verifica-se que os animais que vivem no mesmo ambiente (meio terrestre, por ex.) apresentam um desenvolvimento do esqueleto semelhante.



- O estudo da anatomia do sistema nervoso central (SNC) dos vertebrados revela, também, a existência de um padrão comum.
- No entanto, os seus componentes desenvolveram-se de forma diferente em diferentes grupos.



Exemplos de Estruturas Homólogas

Argumentos do Evolucionismo

anatomia comparada

Humano



Estruturas homólogas



Águia

Leão



Foca

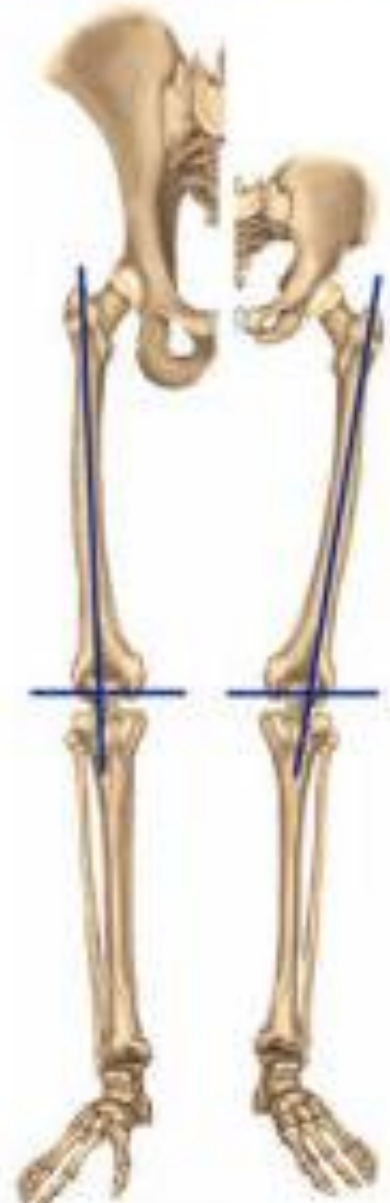
Argumentos do Evolucionismo

anatomia comparada



Chimpanzé

Homem



Argumentos do Evolucionismo

anatomia comparada

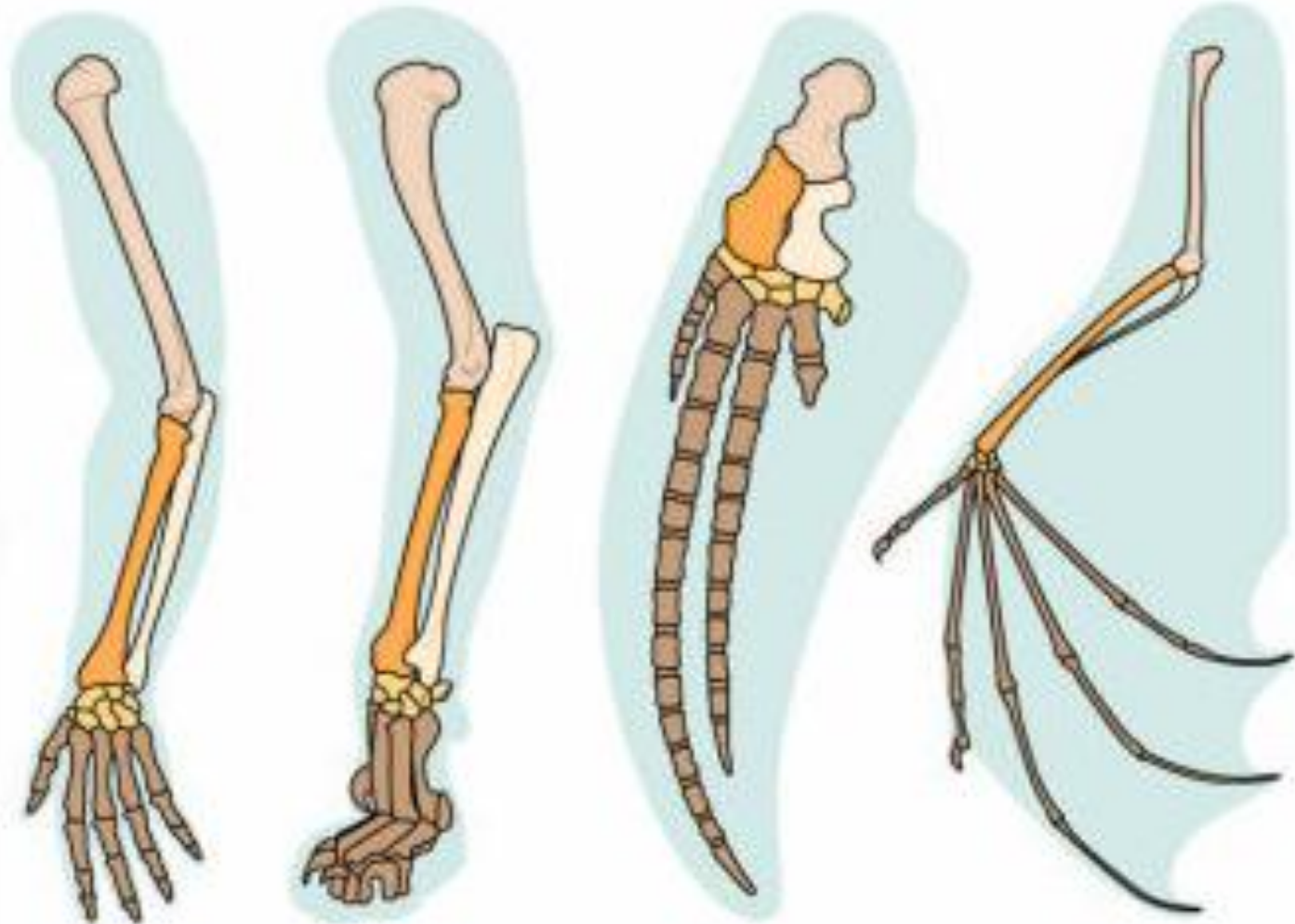
Úmero

Rádio

Cúbito

Carpo

Metacarpo e dedos



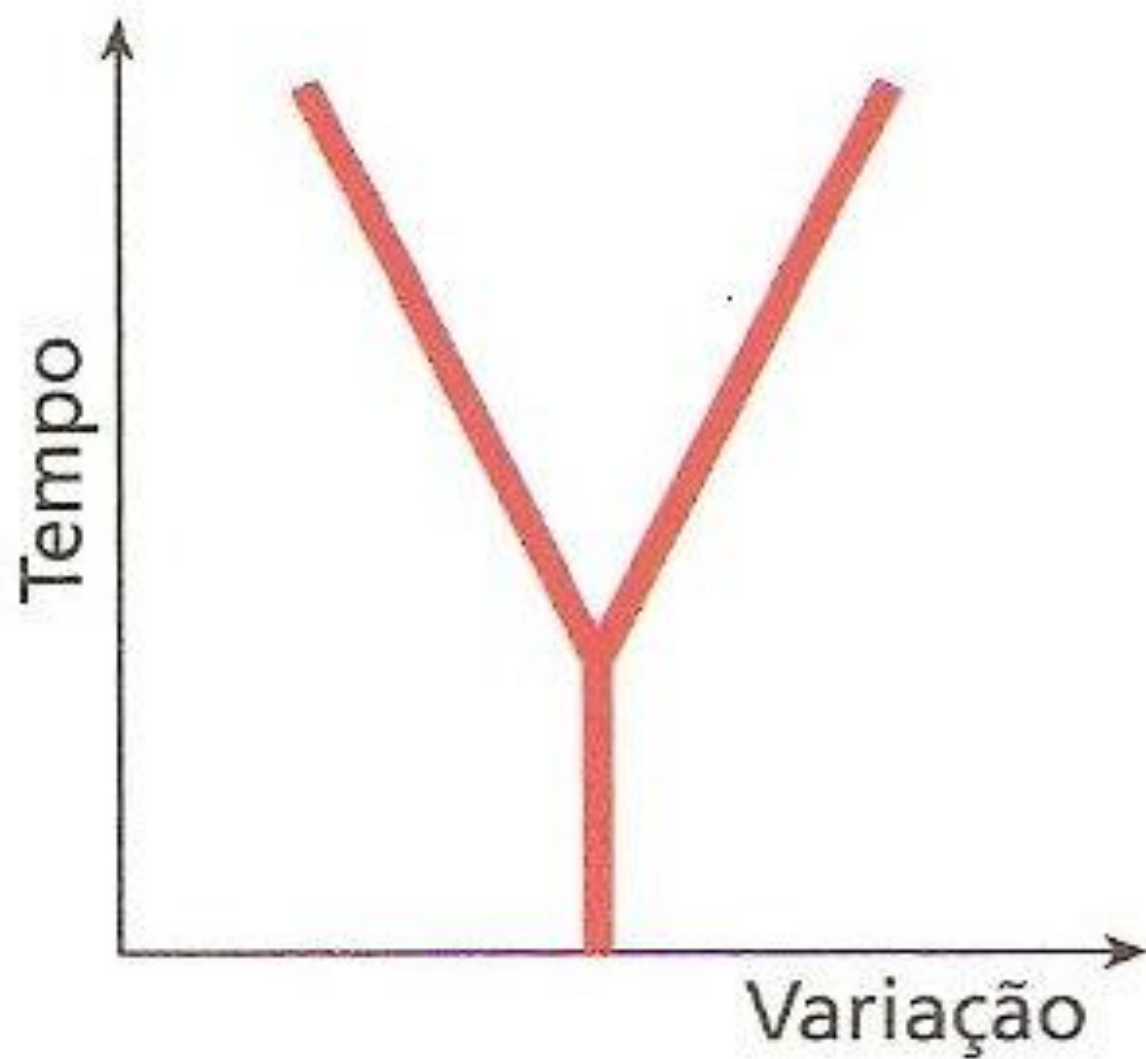
Humano

Gato

Baleia

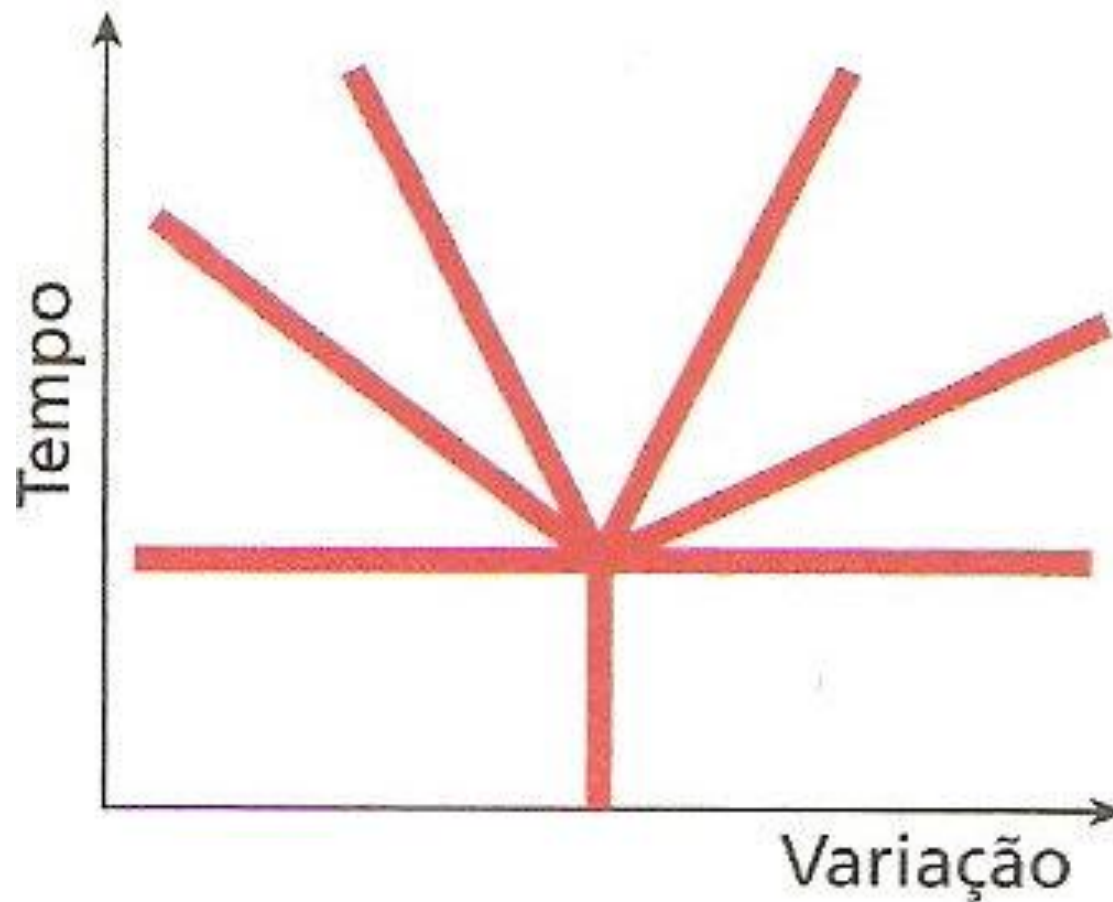
Morcego

- A existência de **estruturas homólogas** foi um dos dados que os fixistas, como Cuvier, tiveram maior dificuldade em explicar.
- Por seu lado, a teoria evolucionista de Darwin explica satisfatoriamente a presença destas estruturas.
- Assim, a **homologia** é interpretada como resultado da **selecção natural** efectuada sobre indivíduos que conquistaram meios ambientes diferentes.
- Darwin admitia que os organismos de uma determinada espécie, ao migrarem para zonas com características ecológicas diferentes, seriam sujeitos a uma selecção natural, que determinaria a sobrevivência daqueles que apresentassem características que os tornassem mais aptos para esse meio.
- Este fenómeno toma a designação de **evolução divergente**, dado que se verifica a divergência de organismos a partir de um grupo ancestral comum que colonizou diferentes habitats e, por isso, sofreu pressões selectivas distintas.
- A selecção natural operada sobre as estruturas originais selecciona aquelas que permitem uma melhor adaptação dos indivíduos ao habitat colonizado.



Evolução divergente

- A evolução divergente resulta de uma adaptação dos seres a diferentes ambientes, o que no caso da existência de vários nichos ecológicos se pode traduzir na ocorrência de uma **radiação adaptativa**.



Radiação adaptativa

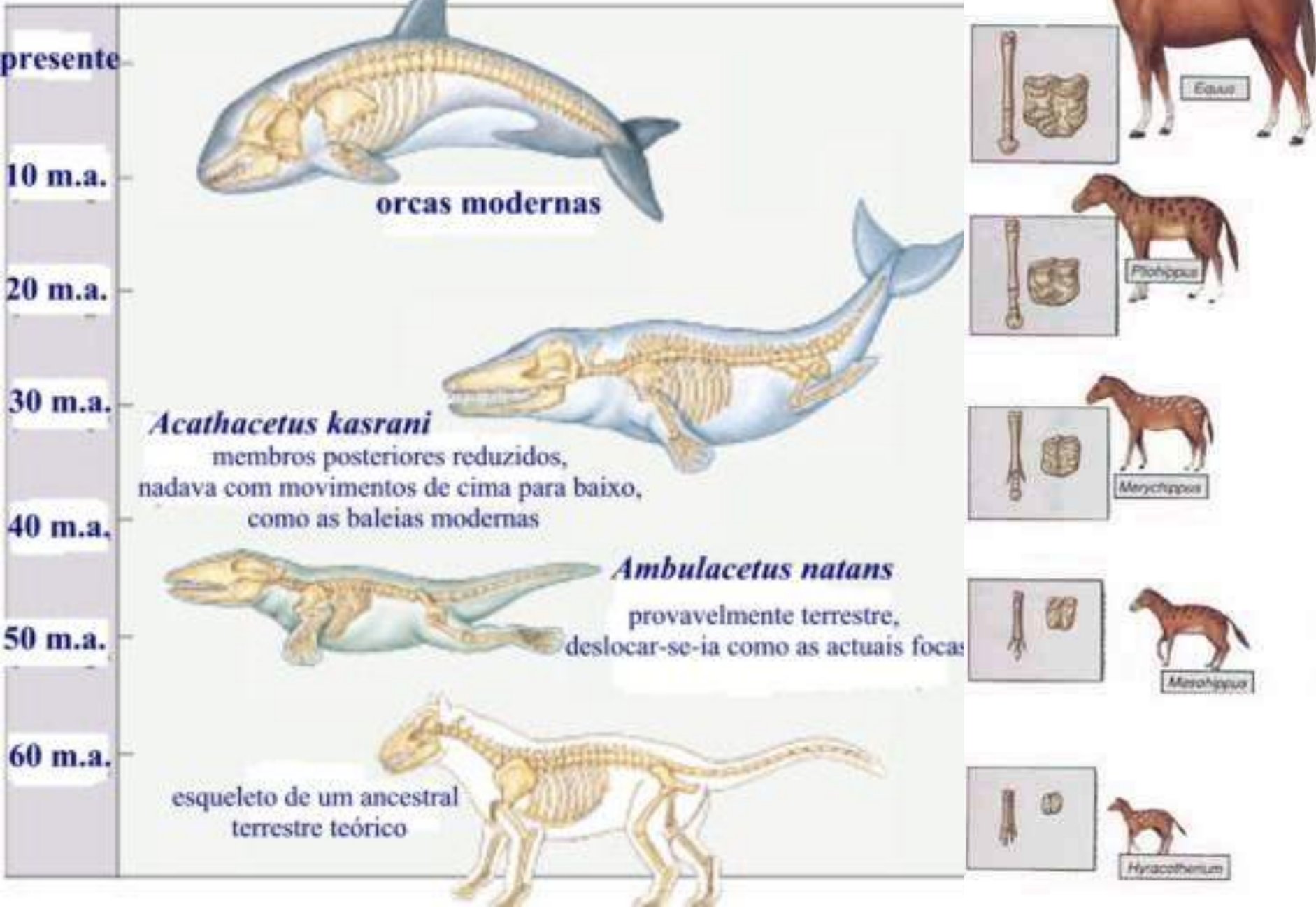
Radiação adaptativa em mamíferos



As espécies originadas guardam vestígios da sua ancestralidade

- As estruturas homólogas permitem construir **séries filogenéticas**, que traduzem a evolução dessas estruturas em diferentes organismos.
- As **séries filogenéticas** podem ser:
 - **Progressivas;**
 - **Regressivas.**
- Nas **séries filogenéticas progressivas**, os órgãos homólogos apresentam uma complexidade crescente. A partir de um órgão ancestral simples, foram surgindo órgãos cada vez mais complexos. É o caso do sistema nervoso ou do coração dos vertebrados.
- Nas **séries filogenéticas regressivas**, os órgãos homólogos tornam-se, progressivamente, mais simples. Admite-se que a partir de um órgão ancestral mais complexo foram surgindo órgãos mais rudimentares. É o caso da evolução dos membros dos cavalos, da perda dos membros nas serpentes ou da atrofia dos ossos das asas das aves corredoras.

Séries Filogenéticas



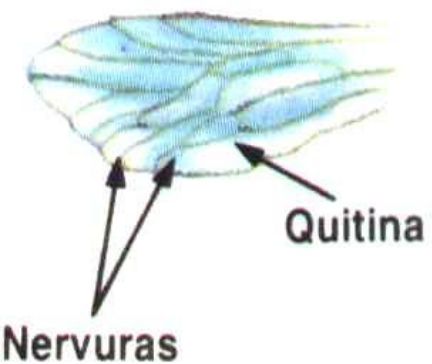
Órgãos ou Estruturas Análogas

- Os **órgãos** ou **estruturas análogas** são órgãos que têm uma **estrutura e origem embriológica diferentes**, mas que **desempenham a mesma função**.
- As estruturas análogas **terão resultado de pressões selectivas idênticas sobre indivíduos de diferentes grupos, que conquistaram meios semelhantes**.
- Neste caso, diz-se que ocorre **evolução convergente**.
- São exemplos de estruturas análogas, a cauda da baleia e a barbatana caudal dos peixes, as asas dos insectos e das aves, os caules e folhas dos cactos e das eufórbias.

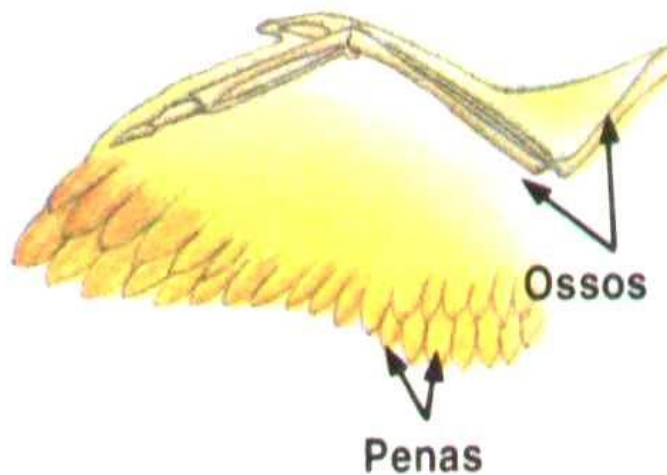
- Nestes casos, os indivíduos têm origens distintas;
- Contudo, quando sujeitos a condições ambientais semelhantes, foram seleccionados os que apresentavam estruturas que, embora anatomicamente diferentes, desempenhavam funções semelhantes.



Asa de inseto



Asa de ave



ESTRUTURAS ANÁLOGAS



EVOLUÇÃO CONVERGENTE

Argumentos do Evolucionismo

anatomia comparada



Estruturas análogas



► Estruturas homólogas

Apresentam **origem embriológica** semelhante, normalmente com aspectos diferentes e podem ter funções diferentes. Descendem, por **evolução divergente**, de um ancestral comum.



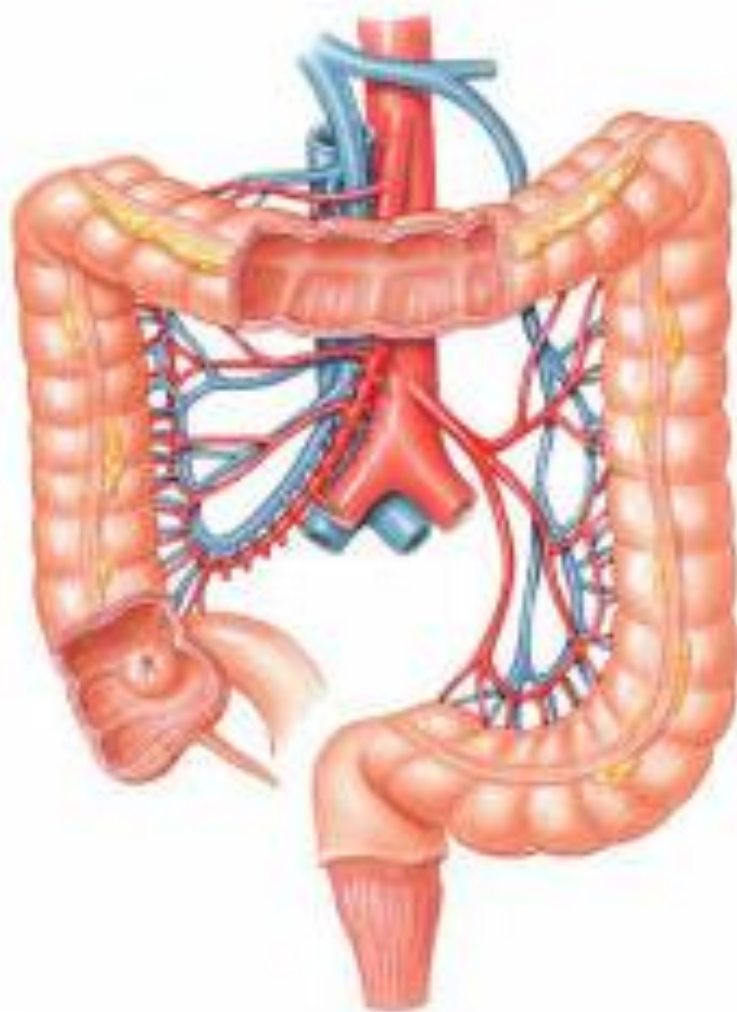
► Estruturas análogas

apresentam **origem embriológica** diferente, com funções semelhantes em ambientes semelhantes, mas não evidenciam parentesco. Surgem por **evolução convergente** e ilustram o efeito adaptativo da selecção natural.



Órgãos ou Estruturas Vestigiais

- Os **órgãos** ou **estruturas vestigiais** são órgãos atrofiados, que não apresentam uma função evidente nem importância fisiológica num determinado grupo de seres vivos.
- Porém, noutros grupos, estes órgãos podem apresentar-se bem desenvolvidos e com significado fisiológico, isto é, funcionais.
- A Teoria Evolucionista considera que estes órgãos terão sido úteis no passado a um ancestral comum.
- Quando sujeitos a pressões selectivas diferentes, estes órgãos evoluíram em sentidos diferentes.
- Mantiveram-se funcionais e bem desenvolvidos nos indivíduos que colonizaram meios, nos quais estes órgãos conferiam vantagens adaptativas.
- Mas, em outros ambientes, estes órgãos tornaram-se dispensáveis e, assim, foram regredindo, **tornando-se vestigiais**.
- São exemplo de estruturas vestigiais, a cintura pélvica e o fémur nas baleias e serpentes.



Estruturas vestigiais no Homem

► Estruturas vestigiais

São estruturas **atrofiadas**, sem função evidente, que foram úteis num ancestral passado. Noutros grupos surgem desenvolvidas e funcionais.

Mostram que as espécies não se mantiveram imutáveis.



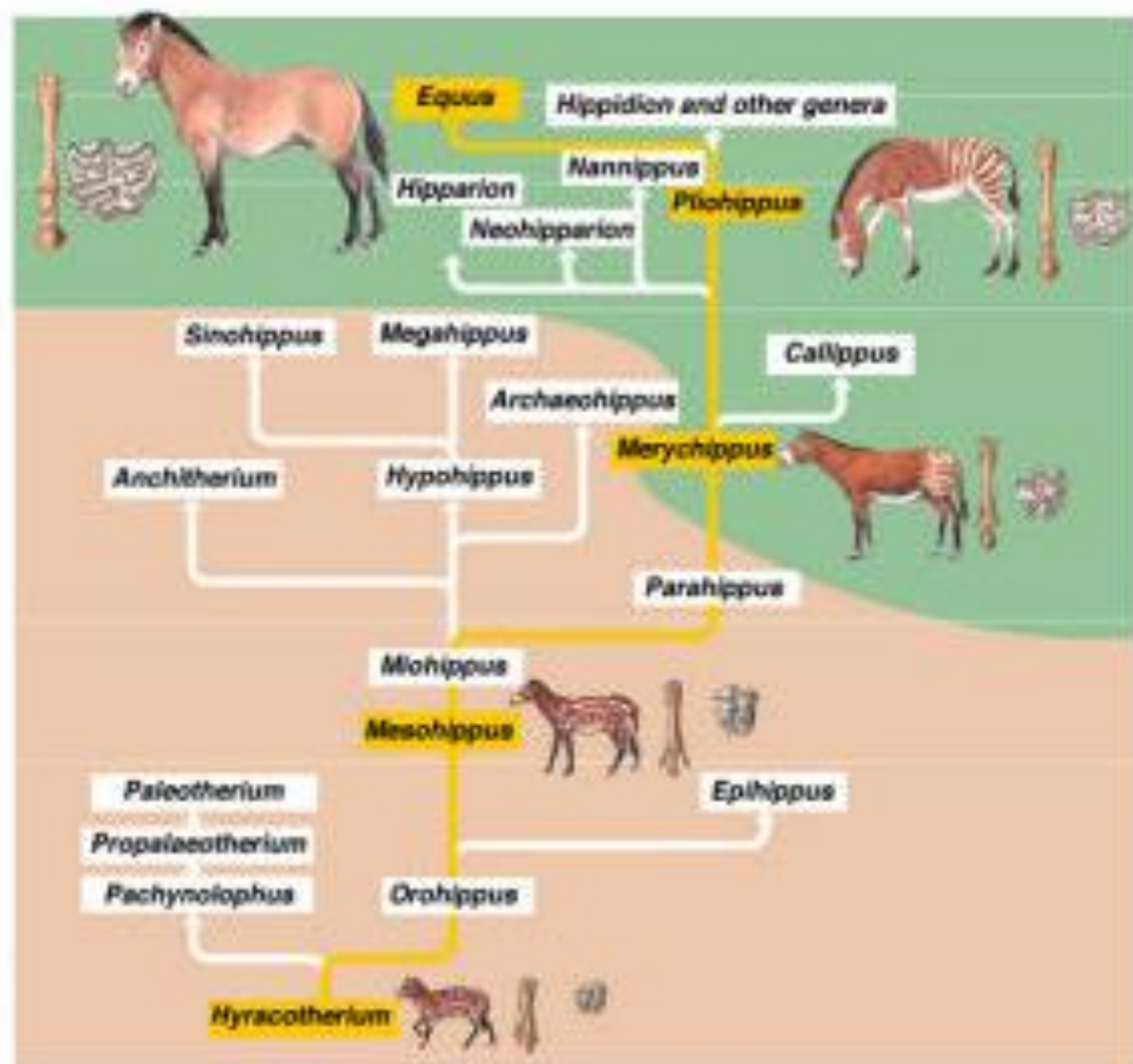
Dados da Paleontologia

- A Paleontologia é uma das ciências que cedo forneceu dados a favor do Evolucionismo.
- Os dados paleontológicos baseiam-se no estudo dos fósseis, isto é, de partes, vestígios ou marcas de actividade de seres vivos que viveram em épocas geológicas anteriores e que ficaram conservados em sedimentos dos quais eram contemporâneos.
- A grande maioria dos seres vivos, quando morre, não sofre fossilização. Este processo só ocorre em condições excepcionais (após a morte, os organismos têm que ficar em condições que os preservem ou retardem a sua decomposição).
- Assim, compreende-se que a Paleontologia se depare com diversas limitações. Contudo, nalguns casos, é possível acompanhar a história evolutiva de um determinado grupo de seres vivos. Essa história pode ser representada por **árvores filogenéticas**, que são representações gráficas do percurso evolutivo de um determinado grupo, partindo do seu ancestral, até às formas actuais.

Argumentos do Evolucionismo

paleontológicos

A descoberta de **séries** completas de fósseis ilustram modificações graduais sofridas ao longo do tempo (amonites, elefantes, cavalos, ...) e ajudam a construir **árvores filogenéticas**.



Árvore filogenética do cavalo

Árvores Filogenéticas

- As árvores filogenéticas apresentam, também, ramificações que correspondem às novas formas de seres vivos que vão surgindo.

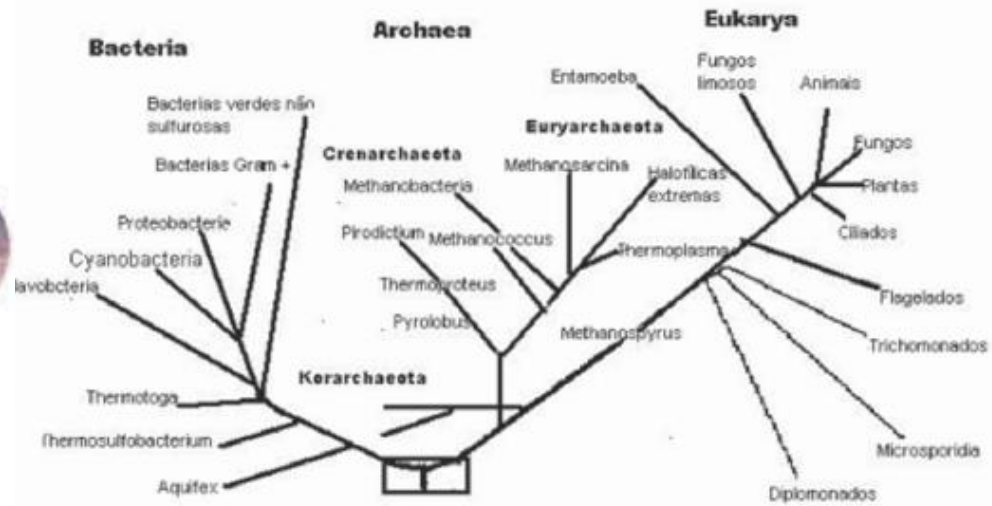
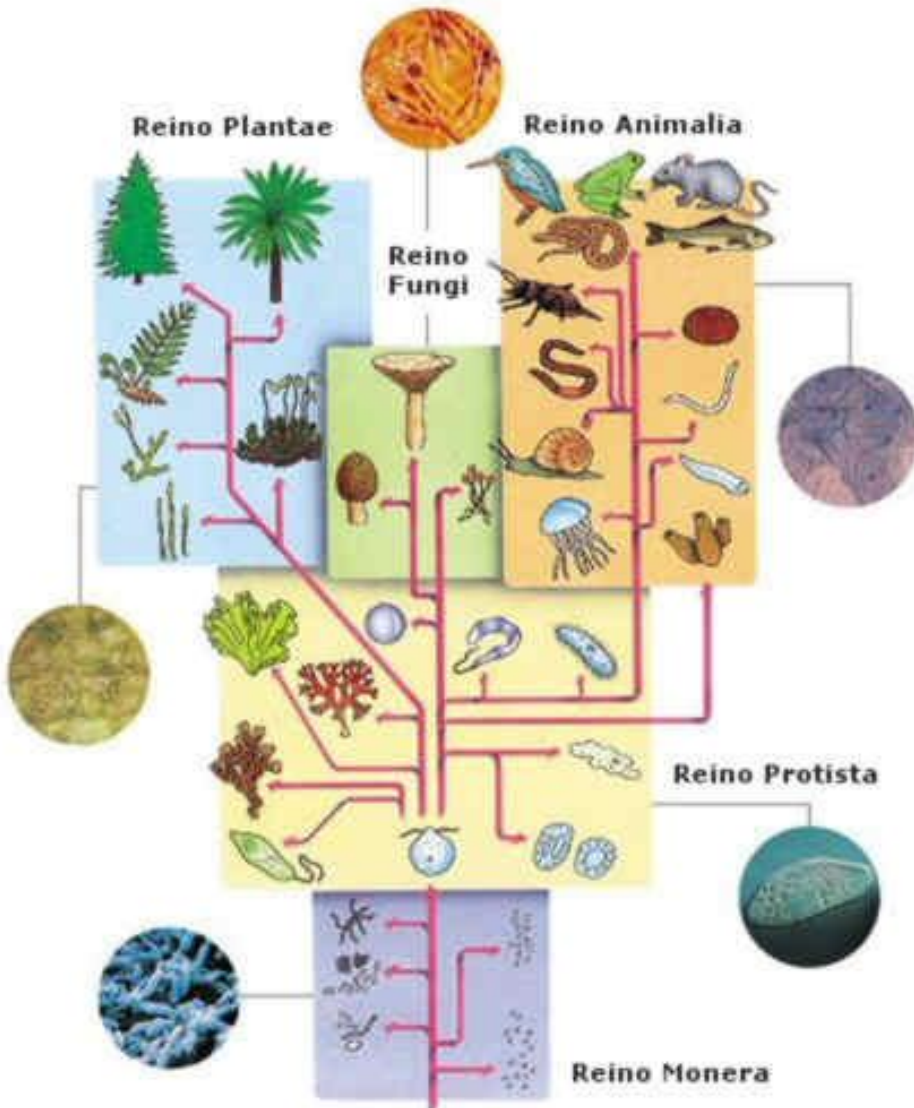


Figura 1. Árvore filogenética dos domínios Archaea, Bactéria e Eukarya e os respectivos filos

- Além da reconstituição da filogenia de determinado grupo, a Paleontologia fornece outros argumentos a favor da evolução.
- Um conjunto de fósseis especialmente interessante, do ponto de vista evolutivo, são os fósseis de **formas intermédias** ou **sintéticas**.
- Os fósseis de formas intermédias apresentam características que existem, na actualidade, em pelo menos dois grupos de seres vivos.
- **Um exemplo de uma forma intermédia é o *Archeopteryx*, que terá surgido no período Jurássico.**
- Este fóssil revela a existência de **asas e penas**, características das **Aves**, e, simultaneamente, **dentes e uma longa cauda com vértebras**, características dos **Répteis**.
- Algumas formas intermédias correspondem a pontos de ramificação, que conduziram à formação de novos grupos taxonómicos, e permitem construir árvores filogenéticas parciais.
- Neste caso, as formas fósseis são designadas **formas fósseis de transição**.

Argumentos do Evolucionismo

paleontológicos

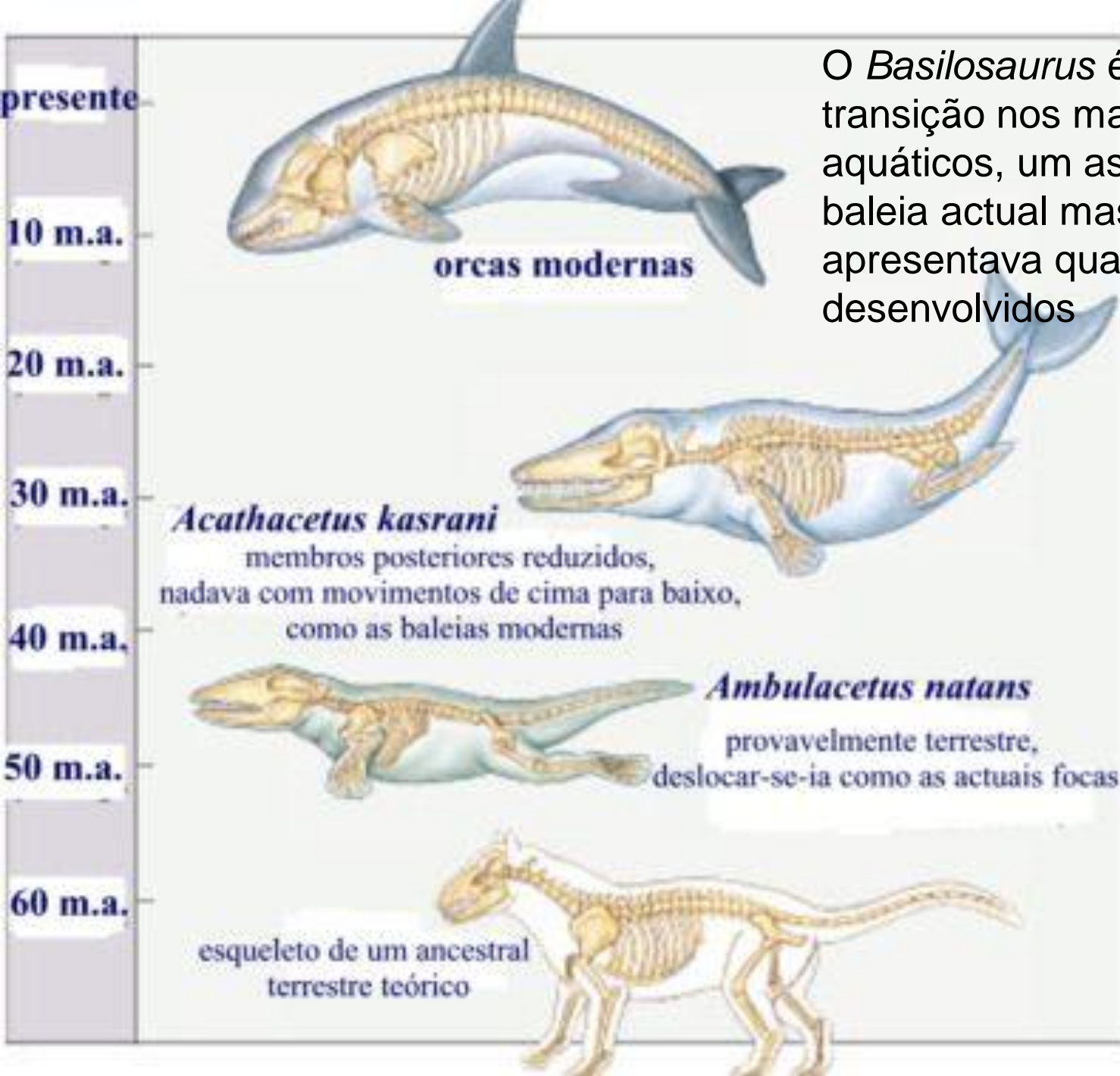
As formas **fósseis de transição** apresentam características **intermédias** de grupos diferentes de organismos actuais, revelando a sua interdependência evolutiva.



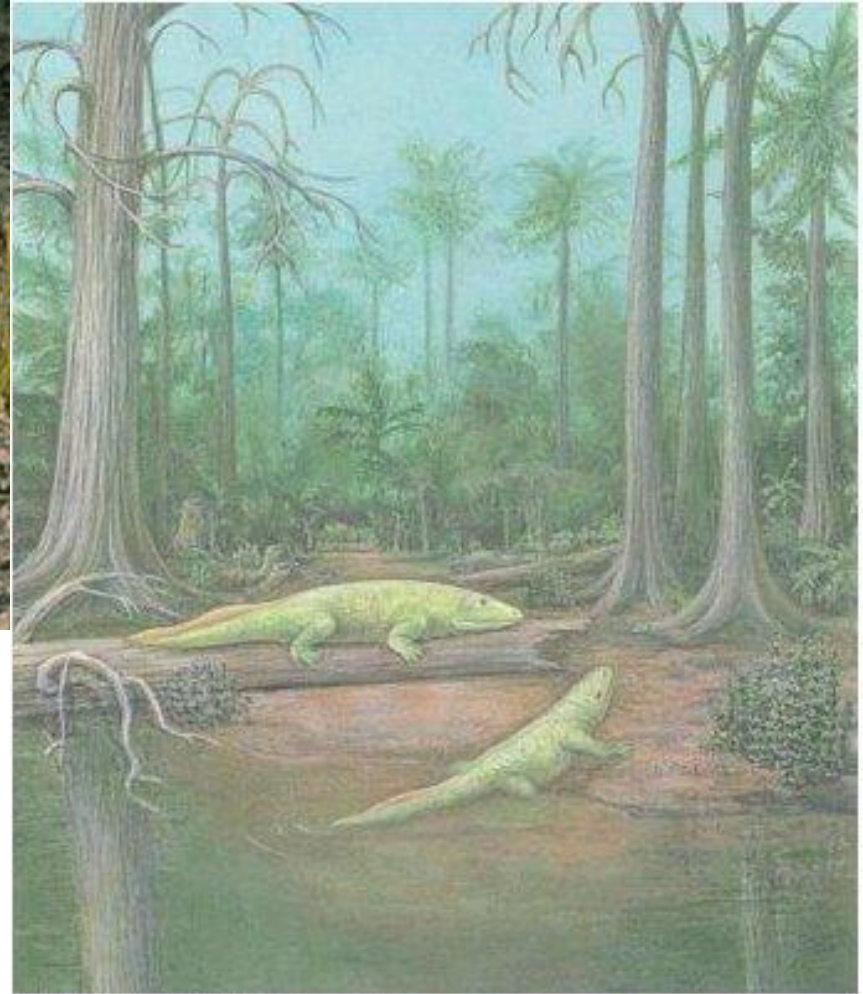
Archaeopteryx
150 M.a.



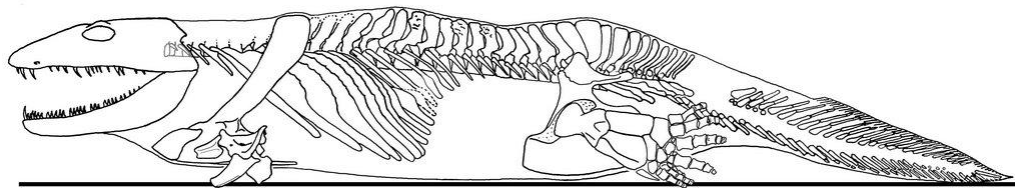
- Outro fóssil de transição conhecido é o *Ichthyostega* que reúne características dos Peixes e dos Anfíbios actuais.
- Em relação às plantas, os fósseis de transição mais conhecidos são os das Pteridospérmicas. Morfologicamente, são semelhantes às Pteridófitas actuais (fetos), mas reproduzem-se por sementes, característica das Espermatófitas. Admite-se que as Pteridospérmicas sejam uma forma de transição entre as Pteridófitas e as Espermatófitas, nomeadamente as Gimnospérmicas.
- Os paleontologistas não param de descobrir elos de ligação entre as formas actuais e as formas ancestrais.
- Recentemente, foram descobertos fósseis de transição, que estabelecem a ligação entre os ancestrais das baleias (mamíferos terrestres) e as baleias actuais.



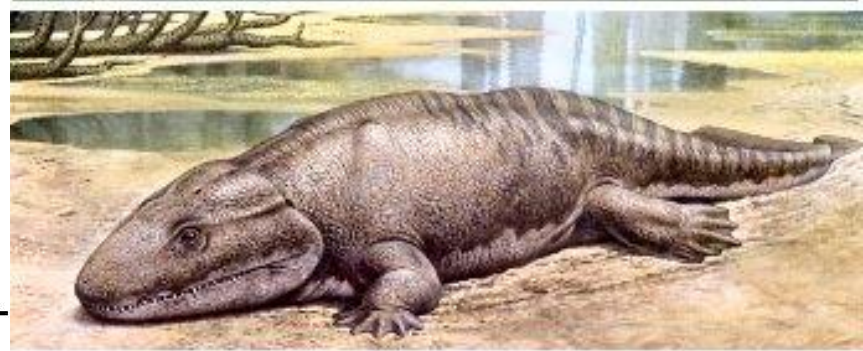
O *Basilosaurus* é outro fóssil de transição nos mamíferos aquáticos, um ascendente da baleia actual mas que ainda apresentava quatro membros desenvolvidos



Ichthyostega - diversos modelos



New *Ichthyostega* reconstruction from Ahlberg et al. 2005



Two Versions of the *Ichthyostega*

Pteridospérmica



Argumentos do Evolucionismo

paleontológicos



Eohippus



Merychippus

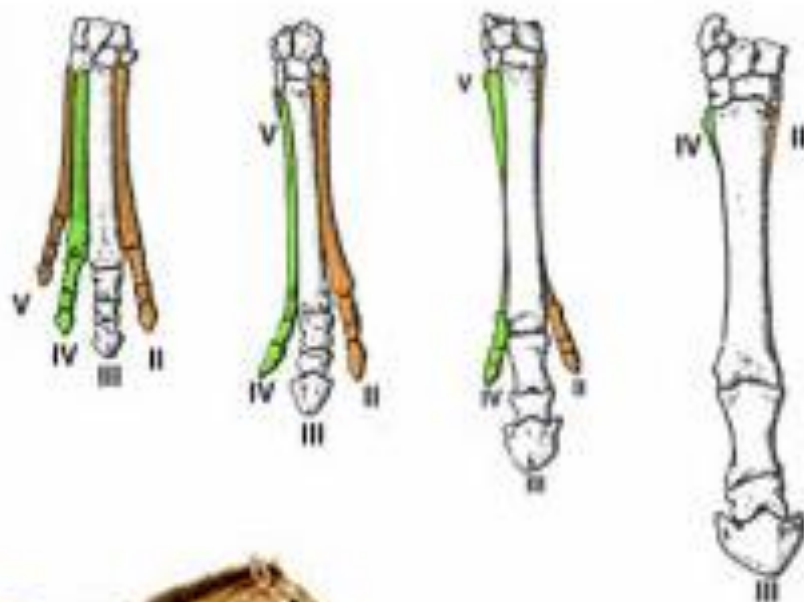


Mesohippus



Equus

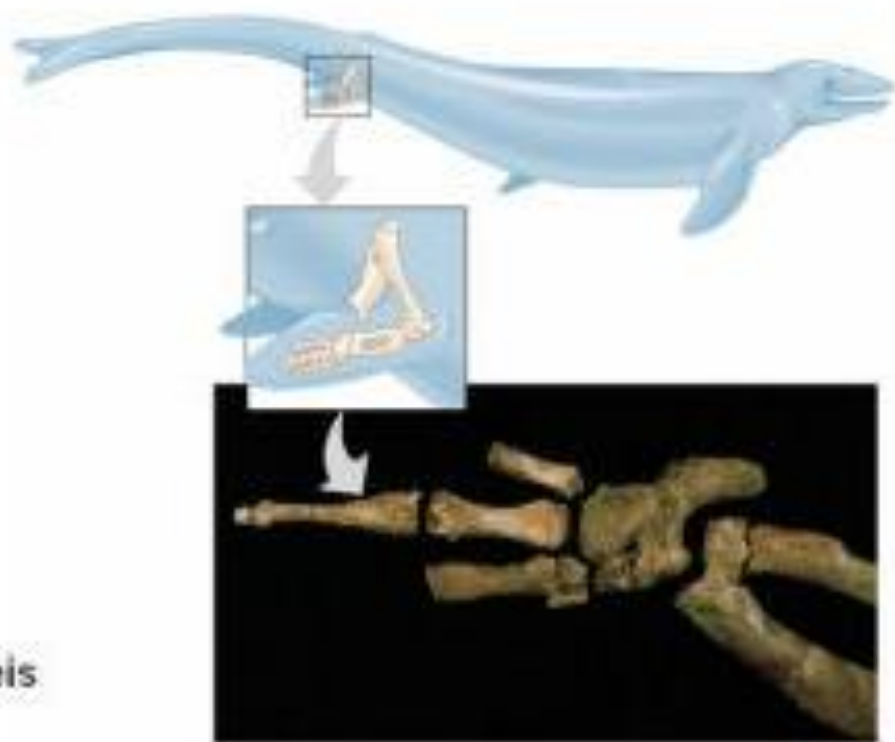
Evolução do cavalo





► Fósséis

Os fósseis, ao revelarem espécies **inexistentes** actualmente, contrariam a ideia da sua imutabilidade e apoiam o evolucionismo.



Fósseis

Dados da Embriologia

- Nem sempre é fácil reconhecer homologias nos indivíduos adultos. Contudo, o acompanhamento do desenvolvimento embrionário de diferentes espécies permite observar essas **homologias** e estabelecer relações de parentesco entre os diferentes grupos.
- **O estudo comparativo do desenvolvimento embrionário de Peixes, Anfíbios, Répteis, Aves e Mamíferos permite verificar que os embriões são muito semelhantes nas primeiras etapas desse desenvolvimento. Contudo, nas etapas subsequentes as diferenças vão-se acentuando.**
- De facto, numa fase inicial, todos os embriões de Vertebrados apresentam fossetas branquiais e cauda.
- **Nos Peixes, as fossetas branquiais desenvolvem-se como órgãos respiratórios, enquanto que nos Vertebrados terrestres estas estruturas modificam-se e regridem, não sendo fácil o seu reconhecimento no estado definitivo.**
- Da mesma forma, a cauda, nalguns animais como o Homem, sofre uma regressão, desaparecendo no estado definitivo.

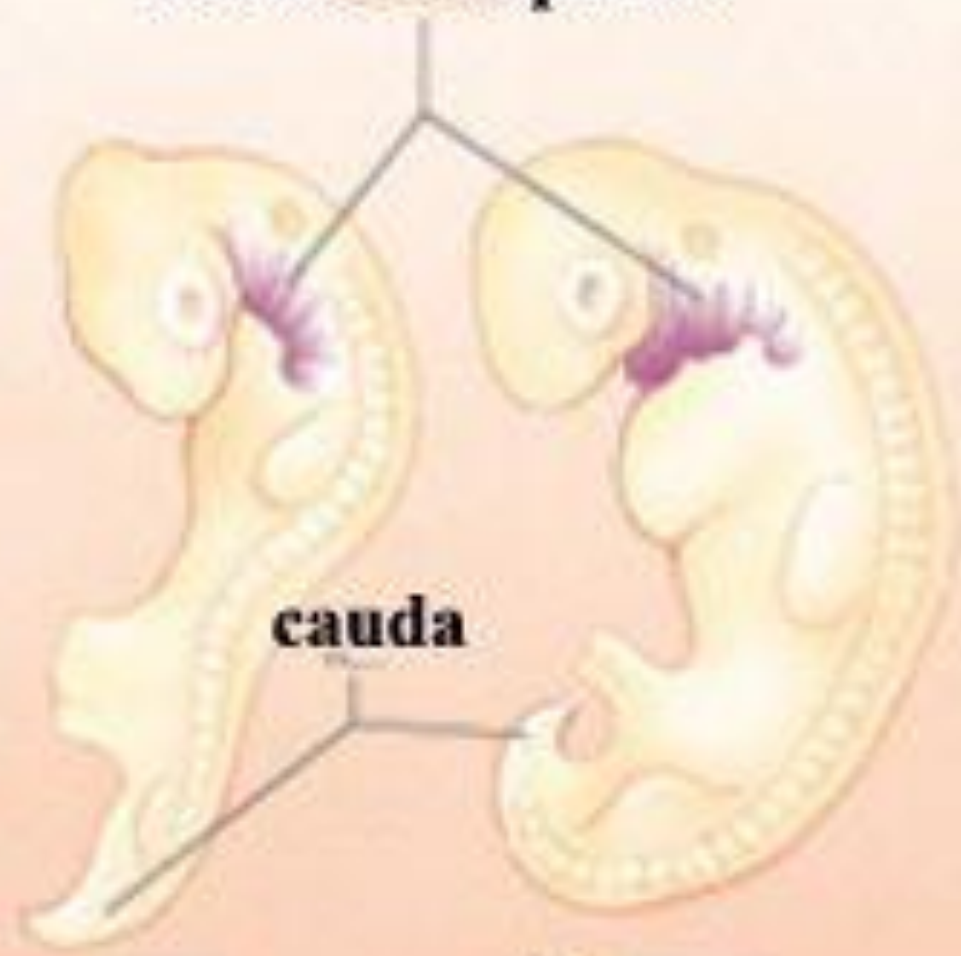
fossas branquiais



peixe

réptil

fossas branquiais



ave

Homem

- A Embriologia sugere a existência de uma relação de parentesco entre os diferentes grupos de seres vivos.
- A partir de um padrão muito semelhante nos estados iniciais, vão-se formando estruturas características dos adultos de cada espécie.
- Nos indivíduos pertencentes a espécies mais complexas, esse padrão, sofre, geralmente, um maior número de modificações.
- Assim, facilmente se compreende que quanto mais complexo é o animal, mais tempo demora a adquirir a forma definitiva, partindo desse padrão comum inicial.
- Pelo contrário, os animais mais simples (menos evoluídos) cedo apresentam características que vão prevalecer no estado definitivo.

► Embriões

O estudo comparado de embriões revela **semelhanças** nas primeiras fases de desenvolvimento e estruturas **comuns** em embriões de diferentes grupos.



Peixe



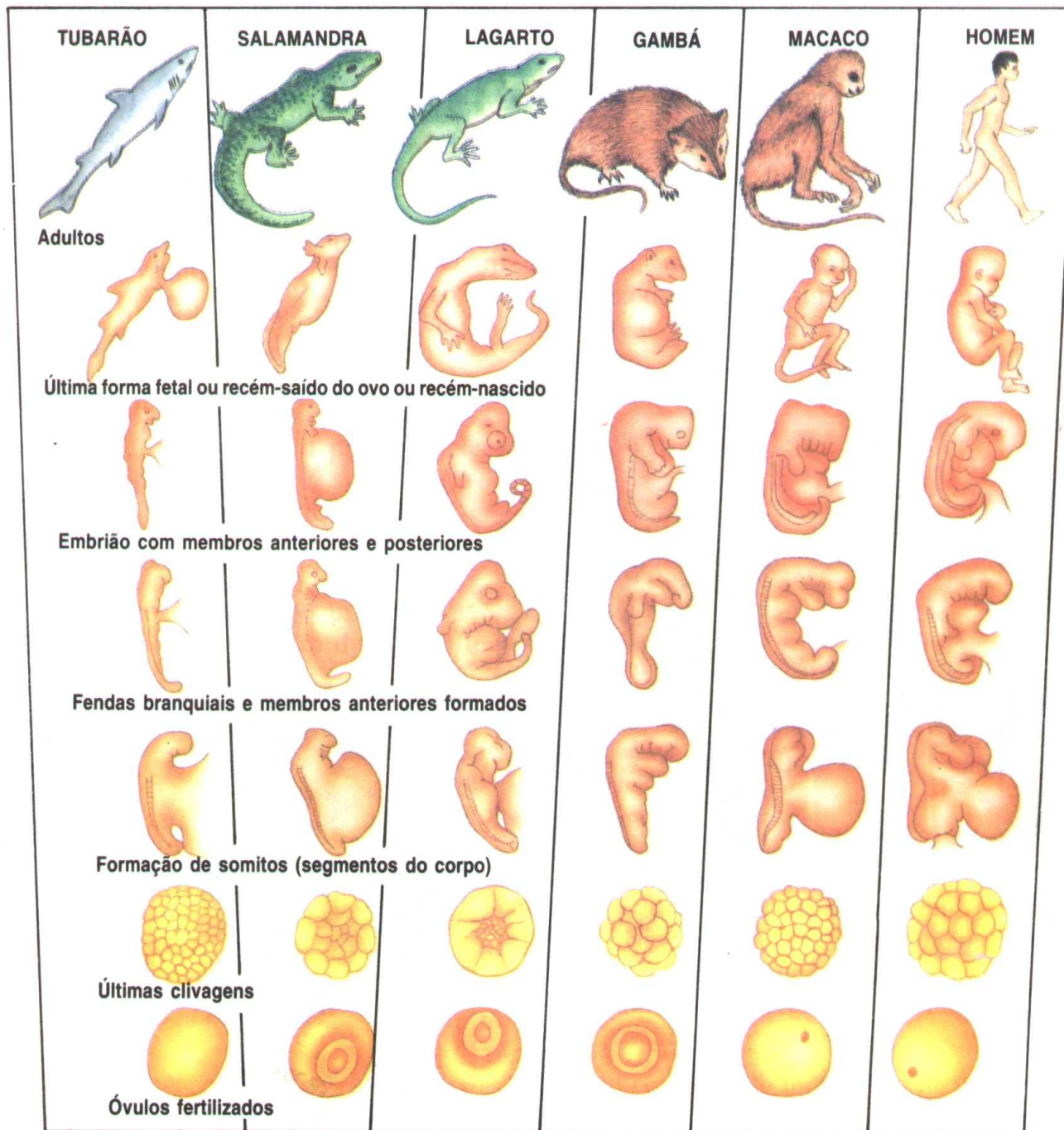
Réptil



Ave



Homem

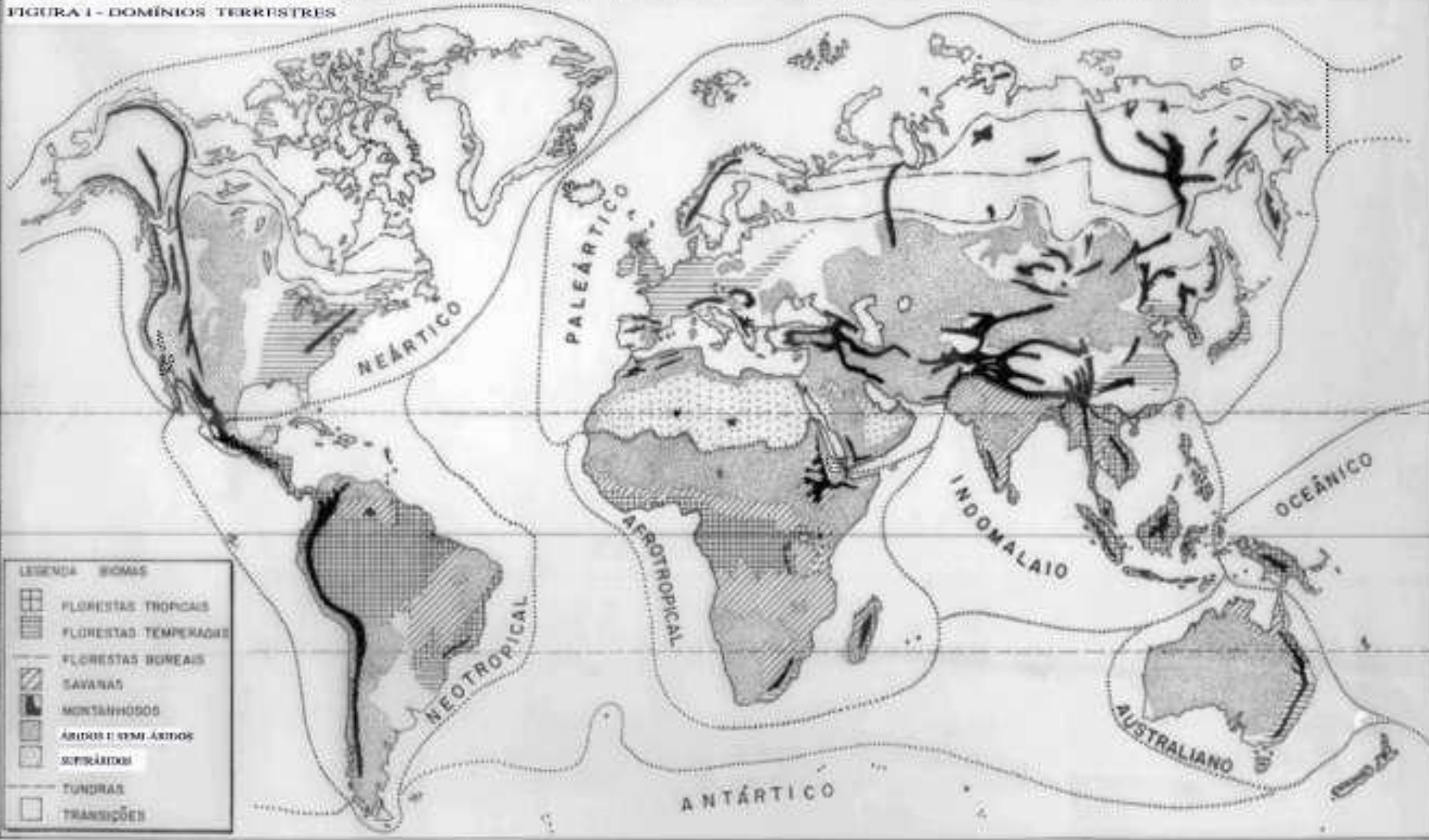


Embriologia comparativa, do peixe ao homem.

Dados da Biogeografia















- A Biogeografia analisa a distribuição geográfica dos seres vivos.
- Esta ciência conclui que as espécies tendem a ser tanto mais semelhantes quanto maior é a sua proximidade física e, por outro lado, quanto mais isoladas, maiores são as diferenças entre si, mesmo que as condições ambientais sejam semelhantes.
- Darwin teve oportunidade de verificar esta situação ao conhecer as ilhas de Cabo verde e o arquipélago das Galápagos.
- Outro exemplo que apoia a concepção evolucionista relaciona-se com os Mamíferos australianos.
- Neste continente, os mamíferos são significativamente diferentes dos Mamíferos dos restantes continentes.
- Actualmente, todos os Mamíferos australianos são marsupiais (nascem num estado embrionário e completam o seu desenvolvimento no interior de uma bolsa materna), não existindo Mamíferos placentários (todo o desenvolvimento embrionário tem lugar no útero materno), à excepção dos que foram introduzidos pelo Homem.

FIGURA 1 - DOMÍNIOS TERRESTRES



LEGENDA BIOMAS	
[diagonal lines]	FLORESTAS TROPICAIS
[horizontal lines]	FLORESTAS TEMPERADAS
[vertical lines]	FLORESTAS BOREAIS
[cross-hatch]	SAVANAS
[stippled]	MONTANHOSOS
[dotted]	ÁRIDOS E SEMI-ÁRIDOS
[diagonal lines]	SUBÁRTICOS
[horizontal lines]	TUNDRAS
[white]	TRANSIÇÕES

- Há cerca de 200M.a., a Austrália estava ligada aos restantes continentes, formando a Pangeia.
- Por isso, os Mamíferos podiam deslocar-se por todo este supercontinente.
- Mas, após a separação dos continentes, os Mamíferos evoluíram independentemente.
- Enquanto na Austrália os marsupiais persistiam e diversificavam-se, nas restantes regiões do Mundo sofreram intensa competição tendo, quase, desaparecido.
- Assim, a evolução permite compreender a distribuição das espécies.

nicho	mamífero placentário	mamífero marsupial
escavador	toupeira 	toupeira australiana 
comedor de formigas	papa-formigas 	Numbat 
roedor	rato comum 	rato marsupial 
trepador	lémur 	Cuscus 
planador	esquilo voador 	falango voador 
felinos	lince 	tigre da Tasmânia 
canídeos	lobo comum 	lobo da Tasmânia 

► Distribuição geográfica

As espécies tendem a ser tanto mais **semelhantes** quanto maior é a sua **proximidade** geográfica.

Quanto mais isoladas maiores são as diferenças entre si.

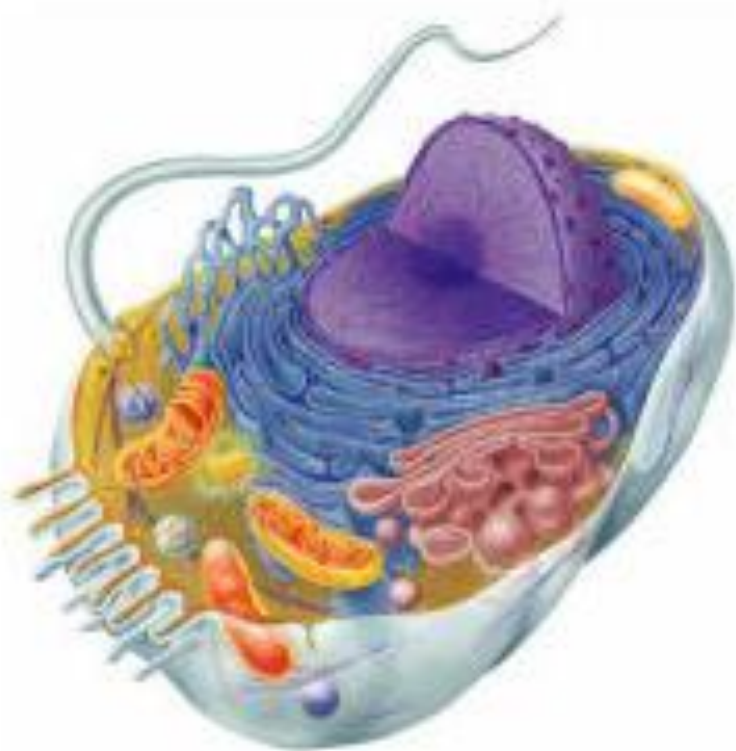


Dados da Citologia

- A Teoria Celular elaborada por Schleiden e Schwann, em 1839, constitui uma prova citológica a favor da evolução.
- Ao considerarem que todos os organismos são constituídos por células, e que a célula é a unidade estrutural e funcional, estes investigadores contribuíram para a ideia de que existe uma base comum para todos os seres vivos.
- Os estudos de Bioquímica e Fisiologia Celular viriam a revelar a existência de vias metabólicas idênticas em organismos muito diferentes como animais e as plantas.
- Esta concepção de universalidade estrutural e funcional entre os seres vivos constitui, assim, uma prova fundamental a favor de uma origem comum e, conseqüentemente, da existência de um processo evolutivo.

► Teoria Celular

Todos os organismos são constituídos por células sendo a **célula** a sua unidade **estrutural** e **funcional**, com vias metabólicas idênticas em seres vivos muito diferentes. Isto indicia uma origem **comum**.



Dados da Bioquímica

- A Bioquímica é uma das ciências que teve uma notável evolução nos últimos anos. Os dados bioquímicos têm contribuído para o estudo do processo evolutivo.
- Entre as provas bioquímicas que apoiam o Evolucionismo, destacam-se:
 - o facto de todos os organismos serem constituídos pelos mesmos compostos orgânicos (glúcidos, prótidos, lípidos e ácidos nucleicos);
 - a universalidade do código genético com a intervenção do DNA e do RNA no mecanismo da síntese proteica.
- A análise da sequência de aminoácidos das proteínas e do DNA têm fornecido, nos últimos anos, provas a favor de uma origem comum para todos os seres vivos.
- A molécula de insulina dos Mamíferos considerados (homem, boi, porco, cavalo e carneiro) é formada por 51 aminoácidos.
- A cadeia A desta molécula difere, no máximo 3 aminoácidos de um animal para outro.
- Este facto, sugere a existência de uma molécula ancestral comum.
- Isto é, se duas espécies apresentam sequências de genes e de aminoácidos muito próximas, muito provavelmente essas sequências foram copiadas a partir de um ancestral comum.

- As proteínas resultam da expressão da sequência nucleotídica do DNA.
- De igual forma, as estruturas anatómicas são o resultado da informação contida neste ácido nucleico.
- À semelhança do que acontece com a insulina e muitas outras proteínas que têm sido alvo de análise, actualmente, a sequenciação do DNA tem revelado dados que apontam para a existência de uma relação de parentesco entre todos os seres vivos.
- Uma outra forma de estimar a proximidade entre espécies é através da hibridação do DNA.
- Nesta técnica, misturam-se cadeias de DNA desenroladas de espécies diferentes.
- Espera-se que o emparelhamento entre as cadeias de espécies diferentes ocorra.
- Quanto mais rápida for a formação de moléculas híbridas e quanto maior for a quantidade de bases complementares emparelhadas, mais próximas serão as espécies do ponto de vista filogenético.