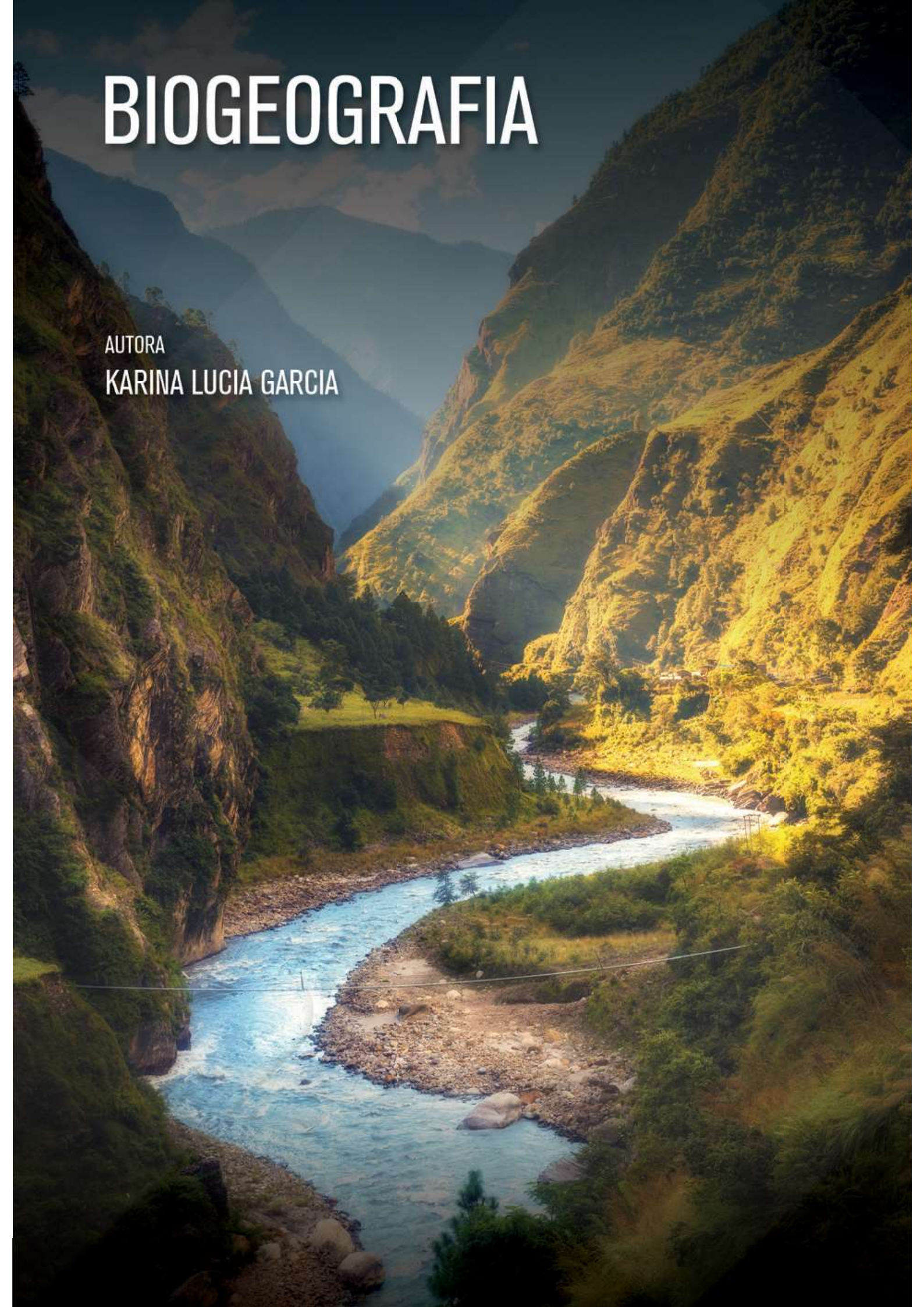


BIOGEOGRAFIA

AUTORA

KARINA LUCIA GARCIA



BIOGEOGRAFIA

AUTORA

KARINA LUCIA GARCIA

1ª EDIÇÃO

SESES

RIO DE JANEIRO 2019



Estácio

Conselho editorial ROBERTO PAES E GISELE LIMA

Autora do original KARINA LUCIA GARCIA

Projeto editorial ROBERTO PAES

Coordenação de produção ANDRÉ LAGE, LUÍS SALGUEIRO E LUANA BARBOSA DA SILVA

Projeto gráfico PAULO VITOR BASTOS

Diagramação BFS MEDIA

Revisão linguística BFS MEDIA

Revisão de conteúdo RODRIGO DOS SANTOS RAINHA, RENATA RIBEIRO DE OLIVEIRA

Imagem de capa DENIS BELITSKY | SHUTTERSTOCK.COM

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida ou transmitida por quaisquer meios (eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e gravação) ou arquivada em qualquer sistema ou banco de dados sem permissão escrita da Editora. Copyright SESES, 2019.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G216B GARCIA, KARINA LUCIA

Biogeografia / Karina Lucia Garcia.

Rio de Janeiro: SESES, 2019.

128 p: IL.

ISBN: 978-85-5548-658-6.

1. BIOGEOGRAFIA. 2. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA. 3. EVOLUÇÃO. 4. TEMPO
GEOLÓGICO. I. SESES. II. ESTÁCIO.

CDD 574.9

Diretoria de Ensino — Fábrica de Conhecimento
Rua do Bispo, 83, bloco F, Campus João Uchôa
Rio Comprido — Rio de Janeiro — RJ — CEP 20261-063

Sumário

Prefácio	5
1. Histórico e conceitos básicos em Biogeografia e Ecologia	7
A Ecologia e a Biogeografia: o que são?	9
Conceitos básicos de Ecologia utilizados em Biogeografia	11
Desenvolvimento histórico do conhecimento biogeográfico	14
Objeto e áreas de pesquisa	16
Sistemática e Biogeografia	18
2. Vida, tempo e espaço: uma relação com a dinâmica da Terra	27
Tudo é uma questão de tempo: a escala geológica	29
O que é tectônica de placas? De uma abordagem histórica à consolidação da teoria	33
A história tectônica dos continentes: o ciclo dos supercontinentes	40
Extinções e extinções em massa: morte que gera Vida	43
3. Interpretando o passado: origens	53
Como surgem as espécies?	55
Diversificação das espécies	60
A biogeografia histórica e sua relação com a dispersão das espécies	65

4. A biodiversidade atual: distribuição dos organismos na superfície da Terra 73

A biogeografia ecológica e os padrões de distribuição dos organismos 75

Os gradientes de diversidade e a distribuição geográfica das espécies 77

As regiões biogeográficas e os biomas 80

5. A biodiversidade no território brasileiro: a biogeografia de ilhas e os ecossistemas atuais 93

A biogeografia de ilhas no contexto da construção e evolução das comunidades insulares e a Teoria dos Refúgios 95

A distribuição geográfica das espécies no território brasileiro 98

Ecologia Política no Brasil 117

Prefácio

Prezados(as) alunos(as),

A biogeografia é uma ciência de peculiaridades, sendo que isso ocorre devido as suas relações com outros ramos científicos, como é o caso de sua conexão com a Ecologia, a Evolução, a Geologia, a Geografia entre outros. Estas peculiaridades dizem respeito a forma como utiliza os dados, os métodos e os resultados de outras ciências, aparentemente diversas, fazendo uma síntese de todo o conhecimento sobre os temas que trata.

Assim sendo, a biogeografia contribui para que se tenha uma melhor compreensão dos sistemas da Terra e da Vida, atuantes de forma conjunta, de modo a ajudar na construção de propostas de reversão ou minimização do atual cenário de degradação ambiental que vivenciamos.

Da mesma forma que a biogeografia utiliza outras ciências como referência, ela é utilizada para o entendimento espaço-temporal das espécies e dos grupos de seres vivos num geral, o que permite o alcance de níveis de interpretação mais apurados.

Esta obra foi elaborada para que os conceitos básicos e principais teorias biogeográficas sejam reconhecidas. Além disso, também faz parte da divulgação de um árduo trabalho de doutorado desta autora, tendo o segundo capítulo, uma divulgação inédita da compilação das inovações científicas na área do ciclo dos supercontinentes e sua relação com as extinções em massa do Fanerozóico.

Com isso tudo, esperamos que esta pequena parte do conhecimento sobre a grande ciência Biogeografia possa ser apreciada e utilizada para o bem de tudo e de todos.

Bons estudos!

1

Histórico e conceitos básicos em Biogeografia e Ecologia

Histórico e conceitos básicos em Biogeografia e Ecologia

Atualmente a vida do homem e, principalmente, de muitos investigadores, gira em torno de muitos anseios sobre o futuro, sendo alguns deles: Quanto viveremos? Com qual qualidade de vida? Continuaremos a dividir com outros seres nossa jornada aqui na Terra?

Essas são perguntas as quais não temos respostas exatas e que também fazem parte dos estudos de uma ciência chamada Biogeografia. Normalmente achamos que o eterno questionar das dúvidas da vida se relaciona com o ramo disciplinar Filosofia, mas a cada dia verificamos que estas questões poderão ter ajuda para suas respostas quando voltamos ao passado, a distribuição dos organismos e o tempo que viveram aqui no nosso planeta, principalmente podendo ser analisados pela Biologia, pela Geografia e até pela Geologia e Climatologia em algumas de suas vertentes, e.g. Evolução e Ecologia; Geografia Física e Geografia Humana; Paleontologia e Geocronologia.

Desta forma, tendo a biogeografia o objetivo de descrever e analisar os termos causais da distribuição dos seres vivos, tanto em sua dimensão atual como no decorrer histórico, além de se dedicar a entender os padrões e processos que tornam a vida possível em um ecossistema em um determinado tempo, podemos presumir que esta interessante ciência nos dirá muito sobre nosso próprio futuro.

É evidente que se tratando de uma ciência que se presa a falar de vida, também estudará muitos dos conceitos de ecologia, que contribui e muito, para entendermos as relações com outras vidas e com seu entorno.

Sendo assim, para iniciarmos nosso aprendizado sobre a grande temática Biogeografia, temos que, pouco a pouco, reconhecer conceitos que nos darão base para uma reflexão mais crítica sobre o que de fato são os processos, métodos e fatos históricos que podem nos ajudar a sobreviver num mundo em constante mudança. Vamos lá?



OBJETIVOS

- Apresentar conceitos chaves em termos de biogeografia e os conceitos básicos de ecologia usados em biogeografia;
- Explicar os métodos de abordagem e áreas de pesquisa da biogeografia;
- Discutir um breve histórico da sistemática e a biogeografia.

A Ecologia e a Biogeografia: o que são?

Você já pensou em como fazer as definições formais dos objetos de estudos das várias ciências? Será que a forma que eu defino, por exemplo, a biogeografia e a ecologia, é do mesmo jeito que outras pessoas definiriam? Será que corresponde ao que a comunidade científica entende destas áreas disciplinares? Além disso, há diferenças de conceitos utilizados nestas duas temáticas? Se encontram em algum ponto?

Pois bem, embora tenhamos, nesta altura da vida universitária que nos encontramos, uma ideia do que tratam a Ecologia e a Biogeografia, se torna fundamental que também possamos incorporar um conceito e/ou definição base para um estudo mais criterioso e até mais científico do que realmente significam estas ciências.

Isto se torna necessário, pois para que a compreensão dos assuntos desenvolvidos ao longo de nossos estudos seja efetiva, temos que ter um ponto de partida único, não baseado em interpretações que podem não ser necessariamente as que correspondem de fato aos objetos que trataremos.

Então, vamos pensar: O que é Biogeografia, afinal?

Bem, não é tarefa simples reduzir em poucas palavras o que é esta ciência, uma vez que ela ultrapassa os limites de áreas científicas clássicas e envolve mais de um ramo disciplinar (e.g. Evolução, Ecologia, Geografia Física e Geografia Humana; Paleontologia, Geocronologia), o que resulta inevitável termos significados sensivelmente distintos de autores de áreas distintas.

É importante reconhecermos que a biogeografia é uma ciência definida de forma recente, embora seus princípios já sejam estudados desde a antiguidade, através de Pitágoras, que já comentava em suas obras sobre uma “harmonia na

natureza” entre organismos e ambiente (Egerton, 2001). O que tradicionalmente é considerado o começo da ciência biogeografia, pelo menos no sentido moderno do termo, remonta a obra de Alfred Russel Wallace (1823-1913), segundo Zunino & Zullini (2003, p. 05 – tradução nossa).

Desta forma, vamos recorrer a alguns autores clássicos para nos ajudar com sua conceituação:

Segundo o ecólogo Margalef (1974 – tradução nossa), a biogeografia é o estudo dos fenômenos biológicos e suas manifestações espaciais. Já para Zunino & Zullini (2003), é o estudo dos aspectos espaciais e espaço-temporais da biodiversidade, ou em outras palavras, é a ciência que estuda a dimensão espacial da evolução biológica. Para Brown & Lomolino (2006), esta ciência tem foco nas distribuições geográficas de organismos e nos padrões espaciais de diversidade biológica. Como uma última referência, temos a definição do geógrafo Figueiró (2015), que apresenta a biogeografia como uma ciência que constrói uma explicação da realidade em que a paisagem possa ser compreendida como resultado da dialética da ação do homem e da natureza em diferentes escalas de tempo e de espaço.

Resumindo, a biogeografia é uma relação entre:



Em relação a Ecologia, que é um ramo da Biologia, tantas outras definições são apresentadas, mas vamos analisar algumas e depois entendermos qual é o papel desta área disciplinar para a Biogeografia. É importante saber que esta ciência é uma das mais abrangentes que existem e tem um escopo de trabalho enorme, além de ser fundamental para a administração e gerenciamento da terra como moradia da humanidade.

O conceito formal de Ecologia foi empregado originalmente pelo cientista alemão Ernst Haeckel (1834-1919), em sua obra de 1866, “*Generelle Morfologie der Organismen*”, onde explicou que esta ciência se dedica ao estudo de todas as relações dos animais, tanto em termos de ambiente orgânico como inorgânico, além de também analisar de forma especial, como ocorrem os tratos do tipo positivo (amistoso) ou negativo (inimigos) entre as plantas e animais em seu local de vida (Haeckel, 1876 – tradução nossa).

Muitos anos após a obra de Haeckel, o naturalista americano Eugene Odum apresenta em sua obra “*Fundamentals of Ecology*”, de 1953, a Ecologia como o estudo do “ambiente da casa”, incluindo todos os organismos e processos funcionais que a tornam habitável (Odum and Barrett, 2013).

Como um último conceito, temos o do biólogo francês Roger Dajoz (1975), que apresenta a ecologia como uma ciência que estuda as condições de existência dos seres vivos e as interações, de qualquer natureza, existentes entre os seres vivos e o seu meio (Dajoz, 2005).

Agora que temos as definições de ambas áreas, podemos fazer uma análise de sua relação, uma vez que tratam da vida em seu ambiente. Uma diferença importante tem de ser destacada: a questão do tempo e do que ele pode ocasionar em mudanças.

A partir deste dado, vamos pensar:

Uma vez que a ecologia estuda as relações dos organismos vivos com seu ambiente atual, ou seja, espaço e tempo determinado, não seria possível explicarmos o porquê da vida estar onde está e se seu comportamento se altera devido a um fator inorgânico, pois estes fatores (o ambiente que sustenta a vida), muda de uma forma muito mais lenta do que os organismos morrem.

Desta forma, podemos dizer que a Biogeografia é a ciência que amplia a visão ecológica sobre a vida dos organismos, possibilitando explicações espaciais e temporais distintas, uma vez que se dedica a verificar o porquê dos organismos estarem onde estão e qual seu padrão de distribuição num ambiente maior, ou seja, na Terra. Desta forma, podemos concluir que, tendo a Ecologia como suporte, a Biogeografia pode se “concentrar no entendimento dos mecanismos que regulam a modificação e a distribuição das espécies no planeta”, assim como também conclui Figueiró (2012, p. 57).

Agora, um fato é importante de termos em mente: sendo a Biogeografia uma ciência da vida, dependerá da Ecologia, uma vez que lida com os fatores e processos ecológicos do meio, dos animais e vegetais.

Conceitos básicos de Ecologia utilizados em Biogeografia

Muitos são os termos e conceitos que podemos descrever neste tópico, aliás, praticamente a Ecologia toda é necessária para que possamos estudar a Biogeografia de uma forma mais qualitativa, mas algumas definições, em específico, devem estar claras. Vejamos algumas ao longo do parágrafo a seguir.

Sabemos que a vida não existe de forma independente das condições de seu *habitat*, ou seja, a vida só existe porque está em um local e se mantém através do uso dos recursos que ele provém, independente desses recursos serem inorgânicos ou orgânicos, como é o caso de predadores carnívoros que se alimentam dos herbívoros, sendo estes últimos dependentes das condições geográficas-climáticas que as plantas exigem para existir.

No contexto anterior, em uma única frase, já podemos tratar de alguns conceitos fundamentais para qualquer estudo de nossa disciplina. Quais são eles e o que significam?

a) Habitat: Local onde existem as condições e recursos necessários à ocupação por uma espécie, sendo específico de cada organismo e relacionando a presença de uma espécie com as características físicas e biológicas de uma área (Morrison, 2002). De uma forma mais simples, podemos definir habitat conforme Odum (2013), que o considera o local onde vive uma espécie, contendo os recursos que afetam a ocupação, a sobrevivência e a reprodução desta espécie. É também chamado de biótopo.

b) Nicho Ecológico: Um conjunto de diversas variáveis ambientais relacionadas a uma determinada espécie (Townsend *et al.*, 2001), tal qual o local onde se encontra, como se adapta aos fatores do meio (e.g. temperatura, luminosidade, umidade), o nível que se encontra da cadeia de relações tróficas (e.g. herbívoros, carnívoros etc.). Além dessa definição, temos a forma mais direta de entendermos o nicho ecológico através de Odum (2013), que explica que o nicho diz respeito ao acesso aos recursos pelas espécies e como é sua utilização.

c) Fatores Bióticos: Neste item, é comum se pensar em tudo o que está relacionado à vida, ou seja, o que é vivo é um fator biótico do meio ambiente, mas não é bem assim, pois este conceito não é formado apenas pela existência ou não dos seres vivos, mas também de suas relações e os efeitos que causam em um ecossistema, como por exemplo suas relações em colônias, sociedade, comensais, de parasitismo, de canibalismo, de competição etc. (Townsend *et al.*, 2001, Morrison, 2002; Odum, 2013).

d) Fatores Abióticos: São aqueles representados, principalmente, pelas condições do clima, ou seja, o ambiente físico e químico os quais os organismos se encontram e interagem (Odum, 2013). Para que uma espécie tenha como habitat uma determinada área, é necessário que ela esteja adaptada ou seja passível de adaptação a estes fatores abióticos disponíveis.

Há também mais conceitos importantes que devemos reconhecer, que segundo Townsend et al. (2010) e Odum (2013) são:

1. Espécie: Constitui a unidade básica de classificação dos seres vivos e representa organismos (ou espécimes) que possuem semelhanças funcionais e estruturais, com capacidade de reprodução entre si que originem descendentes férteis (figura 1.1).



Figura 1.1 – Espécie de aranha, *Araneus cavaticus*, vulgarmente conhecida como Aranha-Celeiro.

2. População: Consiste em um grupo de indivíduos de mesma espécie (figura 1.2) que produzam descendência (e.g. se tivermos somente fêmeas de uma espécie em um local, não haverá descendentes, portanto não constitui uma população).



Figura 1.2 – População de ovelhas.

3. Comunidade: É a totalidade de organismos vivos que fazem parte do mesmo ecossistema e interagem entre si, ou seja, é o conjunto de populações de diversas espécies que vivem no mesmo local ao mesmo tempo. Também é chamada de **biocenose**.

4. Ecossistema: Define a associação inseparável da área e dos seres vivos que ali estão em uma contínua e mútua interação.

Munidos destes termos e seus significados, podemos agora “mergulhar” na Biogeografia.

Desenvolvimento histórico do conhecimento biogeográfico

Já citamos anteriormente que a Biogeografia inicia formalmente com Wallace, embora esta ciência já era feita muito antes da publicação da sua obra, em 1876, “*The Geographical Distribution of Animals*”.

No século XVIII, esta área disciplinar já era estudada no sentido de os naturalistas da época estarem buscando explicações para os diferentes padrões de distribuição apresentados pelas espécies, embora muitas controvérsias eram postas em discussão devido a nesta época ainda prevalecer o pensamento de que a Terra, o clima e as espécies não eram mutáveis.

Georges Buffon (1707-1788), foi o primeiro naturalista que notou que grupos diferentes de organismos habitavam diferentes regiões, mesmo que com climas semelhantes, o que hoje é tido como o primeiro princípio da Biogeografia (Papávero, *et al.*, 2004, p.145-147). Dentre os naturalistas que concordaram com Buffon, destacam-se o alemão Alexander Humboldt (1769-1859), que pregava que o mundo se dividia em regiões naturais, com cada uma tendo sua composição distinta em animais e plantas e o suíço Augustin de Candolle (1778-1841), que estudou a dispersão das plantas globalmente, definindo 20 regiões fitogeográficas, definindo as plantas restritas a cada uma dessas regiões de **endêmicas**, segundo Zunino & Zullini (2003, p. 07-09).

Em meados do século XIX, mais precisamente no ano de 1858, Charles Darwin (1809-1882), divulga documentos na Real Academia de Ciências da Inglaterra, onde explicava a origem de todas as espécies por meio de seleção natural, demonstrando a fundamental relação dos seres vivos entre si e com o ambiente e afirmando a mutabilidade das espécies e suas transformações com o passar do tempo (Barton *et al.*, 2007, p. 16-17 – tradução nossa).

Ainda no século XIX, o naturalista inglês Wallace, que participou do desenvolvimento da Teoria da Evolução de Darwin, publicada em 1859, se dedicou aos estudos da distribuição das espécies, sendo lembrado, principalmente, por definir e demarcar as grandes regiões zoogeográficas da Terra, enfatizando a importância dos processos geológicos para a distribuição dos organismos (Slotten, 2004 – tradução nossa).

Conforme explica Zunino & Zullini (2003, p. 12 – tradução nossa), Wallace inovou em sua época, construindo modelos de processos históricos que puderam explicar modelos espaciais e a dinâmica das relações e variações destes processos ao longo do tempo, ressaltando que existiam fortes “relações entre geografia, ecologia e evolução”. Promulgou uma lei, que dizia que “cada espécie chegou a existir em coincidência espacial e temporal com outra espécie pré-existente, com a que se ligava em relação de estreita afinidade”.

Desde então e até a metade do século XX, a biogeografia ficava sobre o domínio absoluto das ideias de Darwin e Wallace, mas dois eventos foram importantes para que a biogeografia se consolidasse cada vez mais. O primeiro deles foi o início da Sistemática Filogenética, fundada por Emil Hans Willi Hennig (1913-1976), um biólogo alemão que revolucionou a forma como se tratava a classificação natural dos organismos com seus trabalhos sobre evolução e cladística¹.

O segundo evento se deu após a aceitação da deriva continental, uma hipótese proposta pelo meteorologista alemão Alfred Wegener (1880-1930), em 1922, na obra “A origem dos oceanos e continentes” (*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*) que não foi reconhecida de imediato na comunidade científica.

A publicação da Teoria da Tectônica de Placas, no ano de 1965, por John Tuzo Wilson (1908-1993), foi o reconhecimento científico da deriva continental proposta por Wegener, além de ser uma base para que biogeografia ganhasse mais visibilidade, uma vez que esta teoria de Wilson dava suporte às explicações da influência da configuração continental na história da biosfera, que é comprovada atualmente por vários autores (Isozaki, 2007; McGhee Jr. *et al.*, 2013; Nance *et al.*, 2014; Figueiró, 2015).

Desta forma, temos a biogeografia que discutimos e estudamos hoje, que tem como objetivo principal estudar, de uma forma descritiva e analítica, a distribuição dos seres vivos sobre a superfície da Terra e quais foram as causas desta distribuição.

¹ Também conhecida como Sistemática Filogenética, trata da classificação a partir das relações evolutivas.

Objeto e áreas de pesquisa

O elemento básico de todo estudo biogeográfico é a área de distribuição dos organismos. Segundo Zunino & Zullini (2003, p. 01-02 – tradução nossa), “as áreas de distribuição, reconhecidas e estabelecidas em um mapa, com suas fronteiras e sua estrutura, podem ser estudadas de acordo com dois principais enfoques diferentes”:

- 1. Enfoque sistemático-descritivo:** utiliza os dados sobre as áreas de distribuição com múltiplas finalidades para reconhecer categorias (regiões, províncias), organizando-as em um esquema hierárquico. Além disso, no processo de classificação que estão submetidas estas áreas, leva-se em conta seus ocupantes, sejam eles espécies, grupos ou táxons. Também podem ser estudados neste enfoque, a comparação entre as áreas de distribuição subordinadas a um táxon em específico em um tempo determinado ou ao longo do tempo.
- 2. Enfoque causal:** interpreta os fatores que influem na distribuição geográfica dos seres vivos, podendo dar foco na perspectiva ecológica ou na histórica², ou em ambas.

Além da área de distribuição, mais precisamente, a área específica de distribuição, a biogeografia também possui outro objeto de estudo, que são as espécies. Contudo, temos que ter muito cuidado com o sentido de espécie aqui tratado, porque para os biogeógrafos, as espécies são uma entidade real, definida por características intrínsecas. O que isso quer dizer?

Bem, um conceito não biológico e nem evolutivo, apenas convencional de espécie, como o que se propõe a taxonomia fenética³, muito utilizado na ecologia, por exemplo, não interessa a biogeografia, não do ponto de vista teórico, pois se a espécie é um mero conjunto de objetos cuja coincidência procede somente de um processo de classificação, então sua área de distribuição será apenas um conjunto de pontos na superfície da Terra, desprovida de qualquer realidade intrínseca.

Vejamos mais a fundo: para a biogeografia a espécie está relacionada a sua classificação cladística, ou seja, o aspecto evolutivo é fundamental. Desta forma, o conceito de espécie para os biogeógrafos, ao mesmo tempo sincrônico e diacrônico, é:

² Perspectiva histórica ou também chamada de diacrônica.

³ Fenética é uma forma de classificação por similaridade de características físicas visuais que não reflete, necessariamente, um ancestral em comum.

Uma espécie é uma entidade individual, formada por um conjunto de populações naturais cuja individualidade procede de sua origem monofilética⁴ (figura 1.3) e se mantém entre os limites espaço-temporais e também uma coesão reprodutiva-genética, atuando de forma unitária com o meio ambiente.” (Zunino y Palestini, 1991, p. 85).

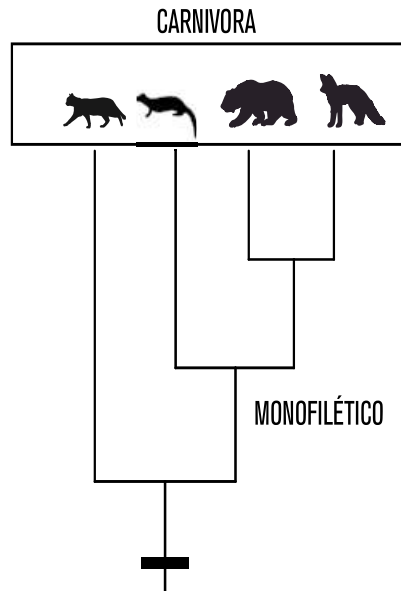


Figura 1.3 – Grupo monofilético.

Em relação às áreas que a biogeografia pode atuar, pode-se falar que tradicionalmente ela é dividida em **Biogeografia histórica** – que tem como foco principal reconstruir a origem, dispersão e extinção de espécies e biotas – e a **Biogeografia ecológica** ou **Ecobiogeografia** – que estuda a distribuição atual e a variação geográfica dos organismos em função de suas interações com outros seres e meio físico. Estas duas grandes áreas da nossa ciência em estudo, serão vistas em um capítulo mais à frente.

Há também subáreas, como a **Biogeografia humana**, a **Panbiogeografia**, a **Biogeografia vicariante** ou **cladística**, que podem ser estudadas no contexto da Biogeografia histórica, assim como feito por Zunino & Zullini (2003).

No caso da Panbiogeografia é uma área que se dedica a reconhecer os padrões vicariantes⁵ de distribuição por meio de quais taxa relacionados substituem uns

4 Corresponde a um grupo de organismos que forma um ramo, ou seja, que consiste exclusivamente numa espécie ancestral e todos os seus descendentes.

5 Vicariância é um processo da evolução onde há uma fragmentação de uma área que separa em populações uma espécie, ou seja, vicariância é a quebra na distribuição de um clado (Ridley, 2006).

aos outros no espaço geográfico e tempo (Craw *et al.*, 1999). Já a Biogeografia vicariante, segundo o mesmo autor, estuda como ocorre a diferenciação das taxa após um isolamento a partir de uma barreira, ou seja, como ocorre a dispersão de um clado de seu ancestral.

Com tudo isto, percebe-se que a relação da Biogeografia com a sistemática filogenética é muito grande, desde seus conceitos básicos, como vimos pelo conceito de espécie até na subdivisão e organização de seus estudos. Desta forma, é fundamental que tenhamos um pouco de conhecimento da cladística.

Sistemática e Biogeografia

Bem, vimos que a Biogeografia é uma ciência que estuda as espécies e sua distribuição, correto? Mas para estudar as espécies e as áreas precisamos colocá-las de uma forma que seja possível compreender semelhanças e diferenças, ou seja, precisamos fazer ou reconhecer um tipo de classificação, pois somente assim iremos perceber os agrupamentos dos diferentes organismos e a diversidade dos locais (semelhanças e diferenças).

Colocar os seres vivos e os locais em um sistema de classificação, não é uma coisa do homem moderno. Se pensarmos no homem primitivo, a identificação de uma planta mais apetitosa ou de um animal venenoso já tinha seu valor e isto já demonstrava uma identificação de certas características específicas para que fosse possível o reconhecimento destes tipos e também de outros organismos.

Desta forma, ao longo do tempo, o desenvolvimento de metodologias de identificação e relação dos diferentes seres vivos originou a Sistemática como um ramo disciplinar da Biologia. Segundo Judd *et al.* (2009, p.02-03), a Sistemática tem como foco o descobrimento de todos os ramos da árvore da vida, além de também identificar e registrar as mudanças que ocorreram durante a evolução desses mesmos ramos, possibilitando a descrição de todas as espécies e, faz isso, através de sistemas de classificação.

Podemos presumir, então, que estes sistemas classificatórios expressos pela Sistemática nos ajudam a entender os vários níveis de semelhança e parentesco entre os organismos, demonstrando suas relações. Atualmente, existe um programa de computador (um software) de grande qualidade desenvolvido pela Harvard School of Engineering and Applied Sciences que integra na realidade 2 programas (DeepTree e FloTree que explora em conjunto conceitos de macro e

microevolução) que de forma praticamente instantânea demonstra a relação filogenética de todos os organismos já descritos, incluindo os fósseis.

? CURIOSIDADE

O princípio usado neste *software*, que é o mesmo que usamos como um instrumento poderoso de conhecimento na Biogeografia, nada mais é que a diversidade biológica e sua história evolutiva!

✓ Uma pequena exibição do que pode ser feito com o software, chamado “*Tree of life*” (figura 1.4)> Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=jk-54QX0bE50>>. Acesso em: 12 maio 2018.

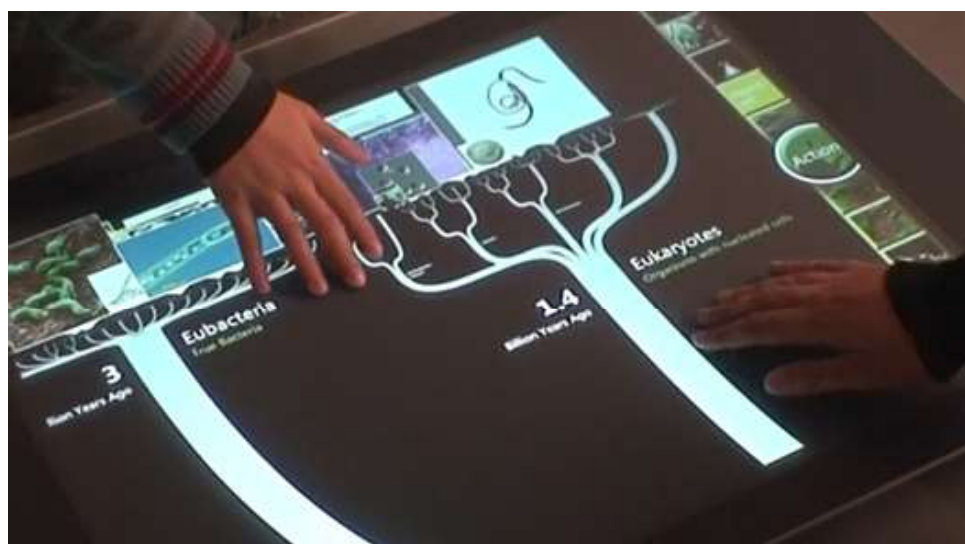


Figura 1.4 – Imagem produzida pelo DeepTree.

É interessante sabermos que este moderno software se baseia em um desenho de Darwin, de uma anotação em seu bloco de notas a partir de observações e conclusões feitas na expedição do Beagle, esquematizando a árvore da vida que veio a explicar em seu livro, de 1859, como uma justificativa da ideia de que todos os seres vivos derivavam de um único ancestral em comum (figura 1.5), provocando a revolução completa nas Ciências Naturais:

"Portanto, eu deveria inferir da analogia que provavelmente todos os seres orgânicos que já viveram nesta terra descenderam de uma forma primordial, na qual a vida foi inspirada pela primeira vez pelo Criador" (página 484, da segunda edição).



Figura 1.5 – Esboço de Darwin da árvore da vida encontrado em seus cadernos de anotações sobre a viagem a bordo do Beagle.

Com tudo isso, podemos chegar à conclusão de que, assim como a Biogeografia é dependente da Sistemática, a Sistemática é dependente de outras duas áreas: a filogenética e a taxonomia. A primeira reconstrói a história evolutiva dos organismos transformando isto em um método de classificação e, a segunda descreve e denomina cientificamente os organismos e grupos.

Não se assuste! Num primeiro momento parece um tanto complicado entender a conexão e dependência dessa variedade de conceitos e áreas científicas, mas ao longo de nossos textos, com uma maior bagagem de conhecimento, você verá que a Biogeografia é fascinante e nada difícil.

Já que falamos em taxonomia e filogenia, vamos ver mais explicações históricas desses assuntos fundamentais para nossos estudos. O aprofundamento desses temas ocorrerá no capítulo que abordaremos Biogeografia Histórica e Biogeografia Ecológica.

Muitos sistemas foram propostos para a classificação dos seres vivos, mas aquele que constitui a base do utilizado até hoje nas classificações biológicas é o de Carl von Linné (1707-1778), que conhecemos no Brasil simplesmente por Lineu. Este naturalista sueco, conhecido como o pai da Taxonomia, estabeleceu em sua obra, de 1735, “*Systema Naturae*”, uma hierarquia de cinco categorias taxonômicas aos seres vivos: reino, classe, ordem, gênero e espécie. Atualmente, já temos mais categorias e usamos: reino, filo, classe, ordem, família, gênero e espécie.

Vejamos o exemplo do homem (figura 06):

Reino: *Animalia* (animal)

Filo: *Chordata* (cordato)

Classe: *Mamalia* (mamífero)

Ordem: *Primatae* (primata)

Família: *Hominidae* (hominídeo)

Gênero-espécie: *Homo sapiens sapiens*

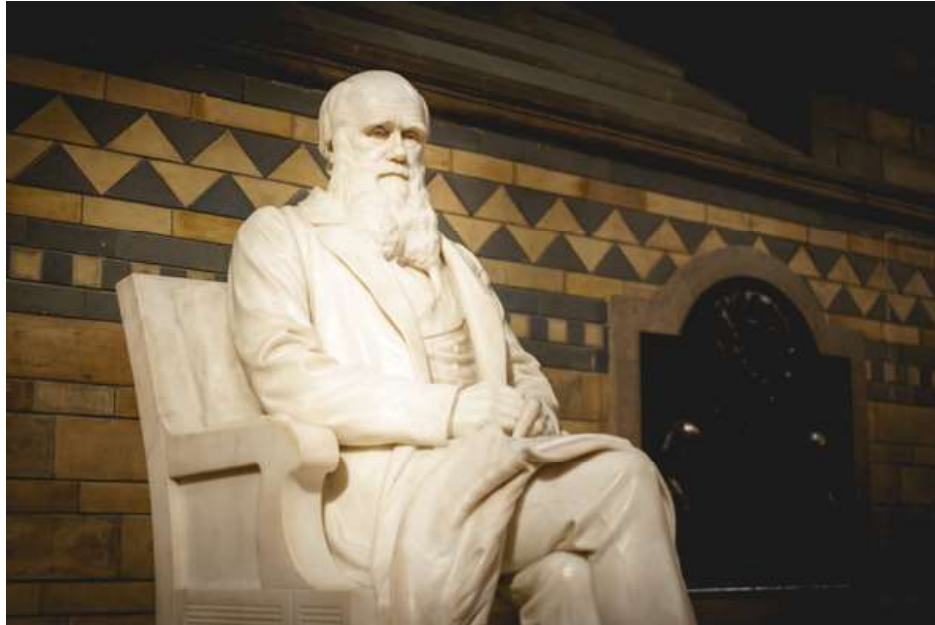


Figura 1.6 – Estátua de Darwin, um *Homo sapiens sapiens* conforme sistema de classificação proposto por Lineu.

Outra forma de classificação dos organismos que também utilizamos é baseada na Filogenética. Embora Darwin tenha proposto em seus estudos uma busca pelas classificações que levassem em conta também a história evolutiva dos seres vivos (Darwin, 1859), somente com os sistematas da metade do século XX é que se obteve êxito em métodos que aliavam a objetividade da fenética com a perspectiva evolutiva da taxonomia clássica e Hennig (biólogo alemão comentado anteriormente) foi o pioneiro.

Este investigador, Hennig, desenvolveu uma metodologia para reconstruir as relações entre os taxa, de forma hierárquica, além de sua história em termos de linhagem, vemos isso através do que chamamos de cladograma⁶ (figura 1.7) e, a construção desses poderosos recursos de interpretação da história e relação

⁶ Mais detalhes e conceitos sobre cladogramas serão vistos no capítulo 03 deste livro.

evolutiva dos organismos é o objetivo principal da Sistemática Filogenética, como comentado anteriormente.

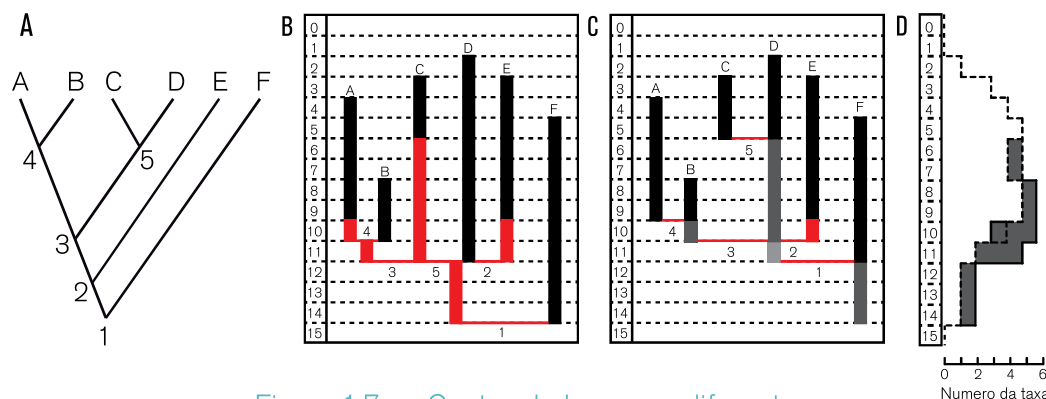


Figura 1.7 – Quatro cladogramas diferentes.

Conforme nos explica Zunino & Zullini (2003, p. 257 – tradução nossa), os cladogramas são feitos a partir do princípio de que mudanças evolutivas são restritas, e que é muitíssimo difícil novas estruturas surgirem ao acaso, pois nada mais são que produtos de modificações adquiridas por estruturas já existentes. Desta forma, Hennig demonstrou que estas mudanças podem ser reconhecidas através de diferenças e similaridades nas características de organismos relacionados.

Para concluir nosso capítulo e conforme explicado anteriormente, não parece tarefa difícil reconhecer características diferentes e similares em organismos, mas acredite: é muito difícil!

Isto ocorre porque, em primeiro lugar, é necessário se identificar o que é típico de uma espécie ou típico de uma ESPÉCIME, pois cada organismo também tem “suas manias”. Isso mesmo! Existem comportamentos e características físicas relacionadas ao meio que podem nos confundir. Por isso se torna fundamental um estudo minucioso e exaustivo de análise para que a classificação de um organismo, em termos taxonômicos, seja possível.

Além disso, não somente com organismos isto ocorre. A dificuldade em se classificar uma área geográfica também é grande, uma vez que as fronteiras naturais não são tão exatas como as políticas. Pense nisso!



ATIVIDADES

01. Pesquise sobre dois organismos vivos e faça sua classificação em categorias taxonômicas: reino, filo, classe, ordem, família, gênero e espécie.

Após feito isso, encontre seus cladogramas e os compare. Há pontos de encontro? Possuem, mesmo que de forma distante, algum ancestral em comum?

02. A frase que segue é relacionada a qual termo em ecologia: “diz respeito ao acesso aos recursos pelas espécies e como é sua utilização”?

- a) Nicho ecológico
- b) Habitat
- c) Ecossistema
- d) Comunidade
- e) População

03. Conforme vimos no texto “as áreas de distribuição, reconhecidas e estabelecidas em um mapa, com suas fronteiras e sua estrutura, podem ser estudadas de acordo com dois principais enfoques diferentes”. Quais são esses enfoques?

- a) Sistemático descritivo; causal
- b) Feneticista; histórico
- c) Filogenético; Darwiniano
- d) Ecológico; Hennigiano
- e) Sistemático; zoológico

04. Das alternativas a seguir, qual representa a mesma classe do Homem e do Mico-Leão-Dourado?

- a) *Animalia*
- b) *Mamalia*
- c) *Primatae*
- d) *Hominidae*
- e) *Leontopithecus*



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barton, N.H., Briggs, D.E.G., Eisen, J.A., Goldstein, D.B., Patel, N.H. (2007) **Evolution**. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. 833pp.

Andrew V. Z. Brower (2013). **Willi Hennig at 100 book review**: cladistics. Vol: 1–2.

Brown, J.H.; Lomolino, M.V. (2006). **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC. 691pp.

Craw, R.C., Grehan, J.R., Heads, M.J. (1999). **Panbiogeography**: tracking the history of life. New York: Oxford University Press: 229pp.

Croizat, L., G. J. Nelson, & D. E. Rosen. (1974). Centers of origin and related concepts. **Systematic Zoology**, n. 23: p.265-287.

- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray. 502 pp.
- Dajoz, R. (2005). **Princípios de ecologia**. Tradução de Murad, F. 7a. ed. Porto Alegre: Artmed. 520pp.
- Egerton, F.N. (2001). A history of the ecological sciences: early greek origins. **Bulletin of the Ecological Society of America**. January. p.93-97.
- Figueiró, A.S. (2012). Diversidade geo-bio-sociocultural: a biogeografia em busca dos seus conceitos. **Revista Geonorte**, ed. Especial. v.4, n.4, p.57 – 77.
- Figueiró, A. S. (2015). **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos. 400pp.
- Figueiró, Adriano S. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- Haeckel, E. (1876). **Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von C. Darwin reformirte Decendenz-Theorie**. 6th ed. New York: D. Appleton and Co, 2 volumes.
- Isozaki, Y. (2007). *Plume winter scenario for biosphere catastrophe: the Permo-Triassic boundary case*. In: Yuen, D.A. (ed). *Superplumes*. Japan: Springer, p.409-440.
- MacGhee Jr., G.R.; Clapham, M. E.; Sheehan, P.M.; Bottjer, D.J.; Droser, M.L. (2013). A new ecological-severity ranking of major Phanerozoic biodiversity crises. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. N. 370. p. 260–270.
- Margalef, R. (1974). **Ecología**. Barcelona: Ediciones Omega. 951 pp.
- MARTINS, C. (1985). **Biogeografia e Ecologia**. 5 ed. São Paulo: Nobel. 115pp.
- Morrison, M. L. (2002). *Wildlife restoration: techniques for habitat analysis and animal monitoring*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/231826678_Wildlife_Restoration_Techniques_for_Habitat_Analysis_and_Animal_MonitoringBY_MICHAEL_L_MORRISONxix_209_pp_23_15_12_cm_ISBN_1_55963_937_7_paperback_US_2500_Washington_DC_USA_Island_Press_2002>. Acesso em: 14 maio 2018.
- Nance, R. D; Murphy, J. B; Santosh, M. (2014). The Supercontinent cycle: a retrospective essay. **Gondwana Research**, 25; 4-29.
- Odum, E.P; Barrett, G. W. (2013). **Fundamentos da Ecologia**. Trad.; rev.; 5. ed. Rio de Janeiro: Cengage Learning. 612 pp.
- Palmer, D. (2009). **Evolution: the story of life**. Berkeley: University of California Press. p. 13.
- Papávero, N.; Teixeira, D. M.; Bousquets, J. L.; Bueno, Alfredo. (2004). **Historia de la biogeografia: el período preevolutivo**. Mexico: FCE, 271pp.
- Ridley, M. (2006). **Evolução**. Tradução: Ferreira, H.; Passaglia, L.; Fischer, R. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed. 752pp.

- Slotten, Ross A. (2004). **The heretic in Darwin's court: the life of Alfred Russel Wallace**. New York: Columbia University Press. 602pp
- Townsend, C. R.; Begon, M.; Harper, J. L. (2010). **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed 3. ed. pp. 129–131
- Zunino, M.; Palestrini, C. (2001). El concepto de especie y la biogeografía. **Anales de Biología**, n.17. p.85-88.
- Zunino, M.; Zullini, A. 2003. **Biogeografía**: la dimensión espacial de la evolución. México: Fondo de Cultura Económica. 359 pp.
-

2

**Vida, tempo e
espaço: uma
relação com a
dinâmica da Terra**

Vida, tempo e espaço: uma relação com a dinâmica da Terra

Que tipos de fatores podem fazer com que espécies desapareçam totalmente, por vezes, sob a forma de extinções em massa, e/ou haja alteração na diversidade dos ecossistemas? Da mesma forma, que tipo de fatores podem fazer com que, por vezes, surjam períodos na história da Terra caracterizados por um enorme aumento do número de novas espécies? Estas são perguntas para as quais os investigadores de ciências da Terra e da Vida buscam respostas há muito tempo.

A riqueza da biodiversidade atual faz parte de um contexto evolutivo que vai muito além dos simples aspectos essencialmente descritivos bem expressos na sistemática dos seres vivos a partir da metodologia de Carlos Lineu (século XVIII). Desde que Darwin propôs a Teoria da Evolução, o conhecimento da interpretação da origem desta biodiversidade tem sido continuamente melhorado, embora ainda apresente muitas lacunas.

Uma das limitações que normalmente existe nas formas mais usuais de abordar a Evolução da Vida na Terra, é que normalmente se centra muito nos processos biológicos, que muito dificilmente poderão explicar os eventos catastróficos de extinções. Por isso, cada vez mais, as transformações dos processos geológicos são utilizadas para justificar/explicar as principais mudanças da biodiversidade, principalmente no que diz respeito à variações bruscas das taxa de aumento ou diminuição dessa biodiversidade.

A Teoria da Tectónica de Placas, veio evidenciar que a movimentação dos continentes permite perceber melhor um conjunto de processos (*e.g.* alterações climáticas, regressões e transgressões marinhas, formação de cadeias montanhosas ou vulcanismo) que influenciam fortemente os ambientes na superfície do nosso planeta, condicionando, por isso, a Vida dos seres vivos. Por outro lado, os estudos realizados, essencialmente, na última década sobre a estrutura interna da Terra (Murphy e Nance, 2004; Campbell, 2005; Foulger, 2010, 2016; Santosh, 2010a, 2010b) têm permitido perceber melhor os processos existentes no interior do nosso planeta e a forma como eles influenciam a cinemática das placas litosféricas. As novas perspectivas, têm evidenciado cada vez mais que as alterações que ocorrem no interior da Terra (principalmente na mesosfera e na astenosfera, influenciam decisivamente as alterações da superfície e, conseqüentemente, da Vida existente nela (Murphy e Nance, 2004; Santosh, 2010b; Nance et al., 2014).

Mas é também fundamental mostrar que os processos catastróficos relacionados com a biodiversidade, não se refletem apenas na redução drástica dessa biodiversidade. Com efeito, frequentemente após cada evento de extinção em massa, ocorre um processo bastante rápido de aumento da biodiversidade.

Desta forma, que tal verificarmos como os processos e fenômenos da Terra podem interagir com a evolução da Vida, assim como a maneira pela qual, a partir de grandes extinções em massa, a biodiversidade pode triunfar e estarmos aqui hoje? Vamos lá?



OBJETIVOS

- Explicar como a deriva dos continentes e os fenômenos da estrutura interna da Terra influenciaram, ao longo do tempo geológico, na biodiversidade, ou seja, qual a influência da Tectônica de Placas na Vida;
- Discutir conceitos de extinção e extinções em massa;
- Apresentar as últimas extinções em massa: as *Big Five*.

Tudo é uma questão de tempo: a escala geológica

No capítulo passado, falamos em definições ecológicas e biogeográficas para conceitos relacionados a Vida e ao local que interage, além de discutirmos um breve histórico de como a sistemática filogenética influencia no sistema de organização dos seres vivos. A partir disso, podemos avançar em mais conceitos, mas agora os relacionando com a Dinâmica da Terra.

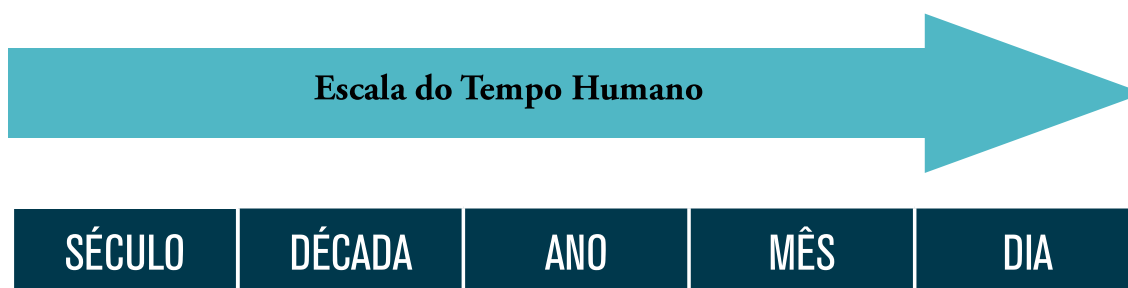
Infelizmente, esse tipo de relação nem sempre é vista de forma muito benéfica (o que é um grande equívoco!), uma vez que normalmente se manifesta através de grandes catástrofes, mas toda e qualquer modificação e/ou fenômenos da Terra, são, na verdade, fundamentais para que a Vida esteja presente e da forma como está. Muitas vezes não compreendemos porque muitas espécies precisam se extinguir, mas acreditem, tudo faz parte de um grande propósito para que outras espécies evoluam. Isso mesmo: a morte é importante para a Vida. Mas para entender esse fato, precisamos recuar no tempo, num tempo que vai além de nossa capacidade de existência, pois diz respeito a uma escala muito maior do que estamos acostumados a vivenciar, que é o chamado tempo geológico.

É inerente à vida do homem o ato de classificar, agrupar, sistematizar as coisas. Vimos que o sistema de classificação dos seres vivos proposto por Lineu foi importante para entendermos melhor as espécies, seu lugar e papel perante outras. Da mesma forma, classificamos o tempo.

O nosso tempo, aquele que vivemos e que podemos dizer que corresponde a um período máximo de vida de um ser humano, inicia sua classificação por século e, ordenadamente, vai sendo subdividido até a categoria chamada dia. Vejamos como é isso (tabela 2.1):

SÉCULO	DÉCADA	ANO	MÊS	DIA
Quantidade de tempo máxima relacionada à vida de um ser humano	Quantidade de tempo grande, à luz dos olhos humanos, que compõe, em tempo, o século. Exemplo: três décadas de trabalho para a aposentadoria.	Quantidade de tempo, que dependendo do referencial, pode ser significativo ou não, à luz dos olhos do homem, que compõe em tempo, a década. Exemplo: Um ano estudando pode ser pouco em relação a ficar um ano na prisão.	Quantidade de tempo, que também dependendo do referencial, pode ser significativo ou não, à luz dos olhos humanos, que compõe, em tempo, o ano. Exemplo: Um mês de um bom relacionamento pode ser pouco em comparação a um mês de insônia.	Quantidade de tempo pequena relacionada a vida de um homem. Exemplo: Perder um dia em um atraso de voo numa viagem não é nada comparado a perder a vida em alguns segundos.

Tabela 2.1 – Escala do tempo do homem.



Analisando a tabela 2.1, percebe-se que o tempo é muito relativo em relação a um referencial, principalmente quando ele vai diminuindo. Esta mesma lógica, funciona quando tratamos de tempo geológico, que é aquele relacionado à “vida” (existência) da Terra (tabela 2.2):

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	ANDAR
Quantidade de tempo máxima relacionada a existência da Terra, medida através de bilhões de anos. Exemplo: Estamos no Éon Fanerozoico	Medida a cada, aproximadamente, centenas de milhões de anos e que compõe, em tempo, o éon. Exemplo: A Era Mesozoica foi dominada pelos dinossauros.	Medida a cada, aproximadamente, dezenas de milhões de anos. Exemplo: Os Períodos Jurássico e Cretáceo foram dominados pelos répteis.	Medida a cada, aproximadamente, milhões de anos. Exemplo: Foi na Época Superior do Período Cretáceo que os dinossauros se extinguiram.	Quantidade de tempo pequena relacionada a vida de um homem. Exemplo: Perder um dia em um atraso de voo numa viagem não é nada comparado a perder a vida em alguns segundos.

Tabela 2.2 – Escala do tempo geológico.



Perceba que a escala do tempo do homem nada mais é que a continuação da escala do tempo geológico, pois a medida de século, compõe a medida de tempo de milênio (dez séculos compõe um milênio). Precisamos reconhecer que cada categoria dessa classificação no tempo geológico possui vários nomes conforme o tempo, como é apresentado pela Comissão Internacional de Estratigrafia na figura 2.1. Veja:



É importante sabermos que esses “tempos” da tabela do tempo geológico foram determinados através de análises das rochas e minerais, que são os únicos

instrumentos na Terra capazes de materializar o tempo. Os valores numéricos (*e.g.* 100,5ma – 93,9ma) correspondem a uma datação absoluta, que é um tipo de medição de tempo feito através de reações químicas, que medem a idade de formação do material. Já os nomes que correspondem a estes valores numéricos (Andar Cenomaniano, do Cretáceo Superior da Era Mesozóica) são medidas de tempo que foram determinadas em relação aos fósseis encontrados nas camadas sedimentares correspondentes a esta idade, ou seja, é uma datação relativa a Vida, por isso chama-se datação relativa.

A datação relativa e seus limites estão baseados na mudança da composição/estrutura das rochas e também na mudança dos organismos que estão nelas preservados, ou seja, essas idades são determinadas através de grandes mudanças ambientais, que possibilitam alterações significativas no padrão de deposição sedimentar e consequente formação das camadas e rochas sedimentares. Pode-se dizer que cada limite desta tabela cronoestratigráfica foi marcada por desastres, onde para cada limite estabelecido, algum ou alguns tipos de organismos foram prejudicados.

Mas vamos pensar: prejuízos nem sempre são ruins de todo, pois o ganho em conhecimento, no mínimo, é válido e isso é provado pelos registros geológicos e, além disso, uma vez que as espécies não se alterassem (por uma questão ambiental catastrófica ou por uma questão biológica), nós e muitas outras espécies nunca teríamos estado aqui no planeta.

Todas estas alterações, possuem responsáveis e os principais, tanto em termos estruturais como em termos climáticos, que tanto influem na Vida, são os fenômenos da dinâmica interna da Terra, explicados principalmente pela Tectônica de Placas. Vamos ver como isso funciona?

O que é tectônica de placas? De uma abordagem histórica à consolidação da teoria

Os primeiros relatos de cientistas, considerando que os continentes não ocuparam sempre a sua posição atual, ocorreu já no século XVI, com o trabalho do cartógrafo Abraham Ortelius (1527-1598). Segundo Amoêda (2005), foi então sugerido que o continente americano teria sido arrastado para longe da Europa e da Ásia por fenômenos catastróficos e que vestígios deste processo estavam marcados nas linhas costeiras destes três continentes que apresentavam um perfeito encaixe. Este aspecto foi, também, reafirmado no século XVII, pelo filósofo inglês Francis Bacon (1561-1626).

No século XVIII, os trabalhos de Ciências da Terra sobre a génese das rochas seguiram essencialmente duas linhas de pensamentos diferentes, confrontando-se plutonistas e neptunistas: de um lado, James Hutton (1726-1797) defendendo que a formação das rochas tinha como principal causa o arrefecimento de magma na superfície; do outro, Abraham Werner (1749-1817), defendia que as rochas mais antigas se tinham formado por precipitação num oceano universal (Kious & Tilling, 1996).

Ainda no século XVIII, Hutton introduziu o conceito de Uniformitarismo, contradizendo as opiniões teológicas de então sobre a idade da Terra; defendendo que os processos que ocorriam, atualmente, na Terra eram idênticos aos que atuaram num passado distante de forma muito lenta, demorando milhões de anos (“O presente é a chave para o passado”). Por outro lado, os antagonistas de Hutton, como o naturalista Georges Cuvier (1769-1832), acreditavam que as mudanças bruscas e violentas da Terra, tais como terremotos e *tsunamis*, eram as responsáveis pela generalidade das características geológicas (Press *et al.*, 2006), enfatizando a importância dos processos catastróficos.

É importante ressaltar, neste ponto, que as diferentes e radicais visões referidas eram decorrentes dos objetos de estudo de cada um dos naturalistas: De um lado Cuvier era paleontólogo e por isso sabia que o registro fóssil estava cheio de interrupções bruscas das formas de vida, que só podiam ser explicadas por processos catastróficos e, do outro lado, Hutton era geólogo e estudava essencialmente as rochas e a forma como elas se relacionavam, desta forma não sendo fácil para ele identificar os processos catastróficos que atualmente sabemos, sem sombra de dúvida, que existiram.

Na primeira metade do século XIX, são de destacar dois importantes contributos para a compreensão da futura Teoria da Tectónica de Placas: “Principles of Geology” de Charles Lyell (1797-1875), publicado em 1830 que é uma obra fundamental que teve enorme influência na geologia moderna e, o “Conceito de Isostasia”, elaborado por Lewis Evans (1700-1756), referindo então que a densidade da crosta terrestre decresce à medida que cresce a sua espessura. A visão de Evans sobre isostasia não é mais aceita, hoje, e sua forma de entender o conceito está desatualizada.

Mais tarde, em 1859, António Snider-Pellegrini (1802-1885) defendeu explicitamente a fragmentação e deriva dos continentes vizinhos do Atlântico, baseando-se para além da semelhança da geometria das linhas de costa dos dois

continentes, em observações paleontológicas relativas a certos tipos de fósseis que se podiam encontrar em ambos continentes (Kious & Tilling, 2006).

Mas nem sempre as ideias eram convergentes. William Buckland (1794-1856), por exemplo, defendeu que mudanças frequentes no nível do mar e o cataclismo nas massas terrestres podiam explicar as sucessões e desconformidades observadas nas sequências estratigráficas.

Ainda no século XIX, o geólogo inglês Eduard Suess (1831-1914) propôs, essencialmente com base na distribuição da flora fóssil e de antigos sedimentos de origem glacial, a existência de um supercontinente que incluía a Índia, o continente africano e Madagascar, ao qual posteriormente se juntou a Austrália e a América do Sul; a este supercontinente deu o nome de Gondwana (Press *et al.*, 2006).

Até então, na evolução histórica das ideias geológicas, sobre as explicações das mudanças da Terra, muitos conceitos e teorias ainda não estavam muito bem organizados. As observações feitas ocorriam como se os eventos da Terra ainda fossem uma matéria caótica, sem interligação entre fenômenos e mudanças.

No início do século XX, numa tentativa de organização de informações que fizessem sentido na observação das paisagens geológicas atuais como sendo resultado de um mecanismo que explicava em larga escala os eventos naturais contínuos e ordenados da Terra, o astrônomo e meteorologista alemão Alfred Wegener (1880-1930), desenvolveu a hipótese científica, a qual deu o nome de “Deriva Continental”, dada à estampa na obra “A origem dos oceanos e continentes” (*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*), publicada em 1922. Para isto, este pesquisador precisou reunir muitas informações de várias áreas científicas de forma organizada e possibilitar interligação entre as mesmas.

Wegener propôs, então, que no final do Carbonífero (i.e. há cerca de 300 M.a.) todos os continentes fizeram parte de um único supercontinente (a Pangeia), rodeado por um enorme oceano (a Pantalassa) que cobria o resto da superfície terrestre. Mas a dinâmica interna do planeta Terra torna qualquer distribuição dos continentes e oceanos uma situação passageira e, por isso, também, a Pangeia mal se formou e começou logo a sofrer os efeitos da dinâmica interna da Terra iniciando a sua fragmentação, até chegar à distribuição atual dos continentes e oceanos (Teixeira, 2000). A hipótese levantada por Wegener colocava em causa todas as ideias dominantes na altura acerca da história da Terra e, desta forma, foi rejeitada pela generalidade da comunidade científica mundial.

Porém, alguns como o geólogo suíço Émile Argand (1879-1940), especialista na compreensão da estrutura profundamente deformada dos Alpes e o geólogo sul africano Alexander Du Toit (1878-1948), que estudou fósseis semelhantes encontrados na América do Sul e África, apoiaram a tese de Wegener, mas mesmo assim esta não conseguiu vingar por entre a comunidade científica.

Em 1937, Alexander Du Toit, apresenta uma lista com argumentos a favor da existência de dois supercontinentes, aos quais deu o nome de Laurásia, a norte, e Gondwana, a sul, separados por um oceano chamado de Tethys.

Em 1944, no influente livro *Principles of Physical Geology*, Arthur Holmes (1890-1965) sugeriu a hipótese segundo a qual os continentes eram arrastados por correntes de convecção que existiam no manto terrestre. Começavam então a surgir modelos explicativos dos processos que induziam a movimentação dos continentes.

Só em 1960, e com a aplicação intensiva de novas metodologias na investigação oceanográfica, se revelou a existência de um fenómeno que ficou conhecido como expansão dos fundos oceânicos, defendida pelo geólogo Harry Hammond Hess (1906-1969), em 1962, no seu livro *History of Ocean Basins*. Este modelo foi fundamentado essencialmente em evidências gravimétricas e sismológicas recolhidas durante anos de investigação do fundo oceânico.

O modelo de Hess defendia que através das dorsais médio-oceânicas era expelido material gerado no manto terrestre que dava origem a uma nova crosta oceânica; a acumulação e saída deste material empurravam o material adjacente, induzindo o deslocamento lateral dos fundos oceânicos. A crosta oceânica recém-formada fazia movimentar a crosta mais antiga que se deslocava de uma forma semelhante a um tapete rolante, acabando por ser reabsorvida nas zonas de subducção.

No ano de 1965, John Tuzo Wilson (1908-1993), publica um trabalho onde realça que o fundo oceânico estava marcado por extensas zonas de fraturas, a que chamou falhas transformantes, geralmente relacionadas com as cadeias submarinas e coincidentes com zonas sísmicas. Neste trabalho explicou os aspectos relacionados com estas falhas, no contexto da expansão dos fundos oceânicos. No ano a seguir à publicação deste trabalho, o geofísico Lynn Ray Sykes (1937-), estudou em pormenor os fenómenos sísmicos em alguns trabalhos sobre a localização de focos de terremotos e sua interpretação através dos movimentos das placas tectónicas (Sykes, 1966). No ano seguinte (1967), Lynn Sykes, junto com os geólogos Jamie Olivier e Bryan L. Isacks, estudaram sismos que ocorreram ao longo das placas onde a superfície mergulha no interior da Terra (Isacks *et al.*, 1967). Em 1969, estes três autores publicaram um artigo intitulado “Nova Tectónica Global” (Isacks

et al., 1969)”, onde fizeram uma nova análise sobre os dados mundiais dos sismos que reforçam os modelos que tinham vindo a ser defendidos pela tectônica de placas. Também, os geólogos Dan McKenzie, Bob Parker e William Jason Morgan, publicaram na mesma época vários artigos defendendo ideias semelhantes.

A conjugação de todos estes novos elementos conduziu à formulação da Teoria da Tectónica de Placas (figura 2.2).

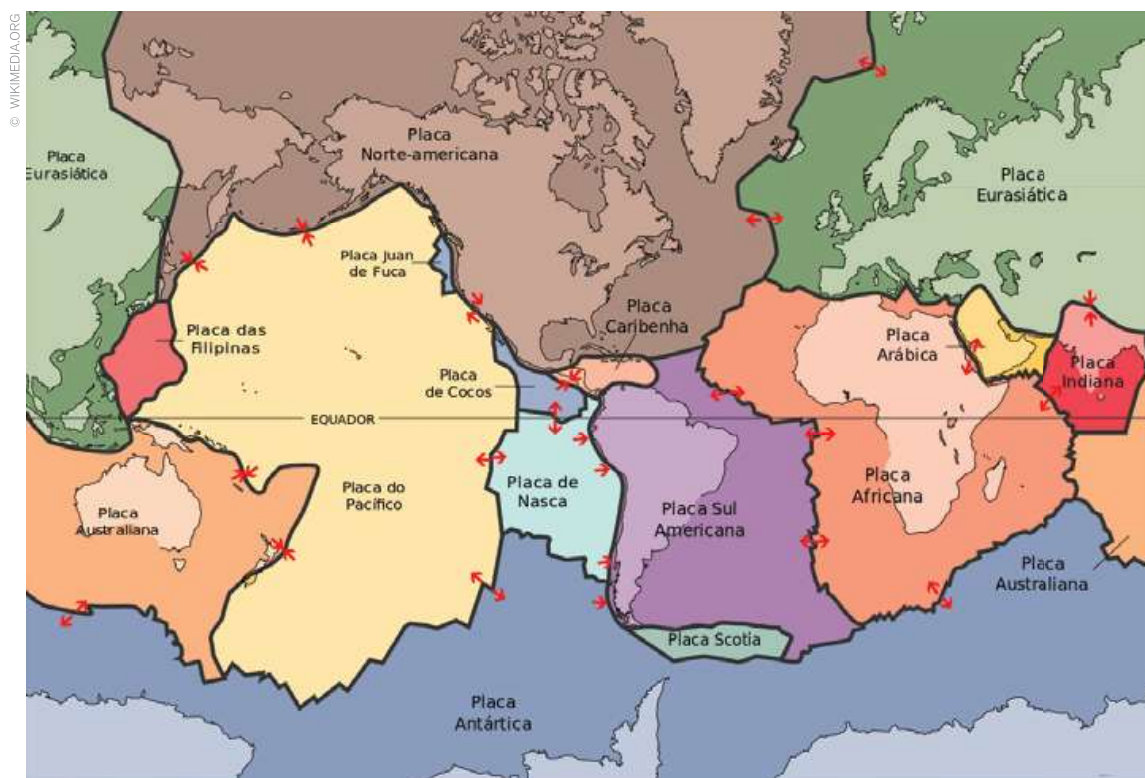


Figura 2.2 – Litosfera dividida em placas rígidas de vários tamanhos que se movem acima da astenosfera.

De acordo com a Teoria da Tectônica de Placas, a litosfera é dividida em placas que se movem acima da astenosfera. Zonas de atividades vulcânicas, terremotos ou ambos, marcam a maior parte das fronteiras entre as placas. Ao longo destas fronteiras, placas convergem, divergem ou deslizam lateralmente.

Segundo Wicander e Monroe (2000, p. 11), as placas tectônicas são gigantes-cos blocos que compõem a camada sólida de nosso planeta, que sustentam os continentes e oceanos (figura 2.3). Estas placas, devido a energia provinda de partes mais profundas da estrutura interna da Terra (como o manto inferior), movem-se alguns milímetros por ano, alterando suas dimensões e modificando o contorno dos continentes.

A palavra tectônica vem de tektoniké, expressão grega que significa “a arte de construir”, desta forma pode-se dizer que esses gigantescos fragmentos atuam como artistas que recriam a paisagem da Terra.

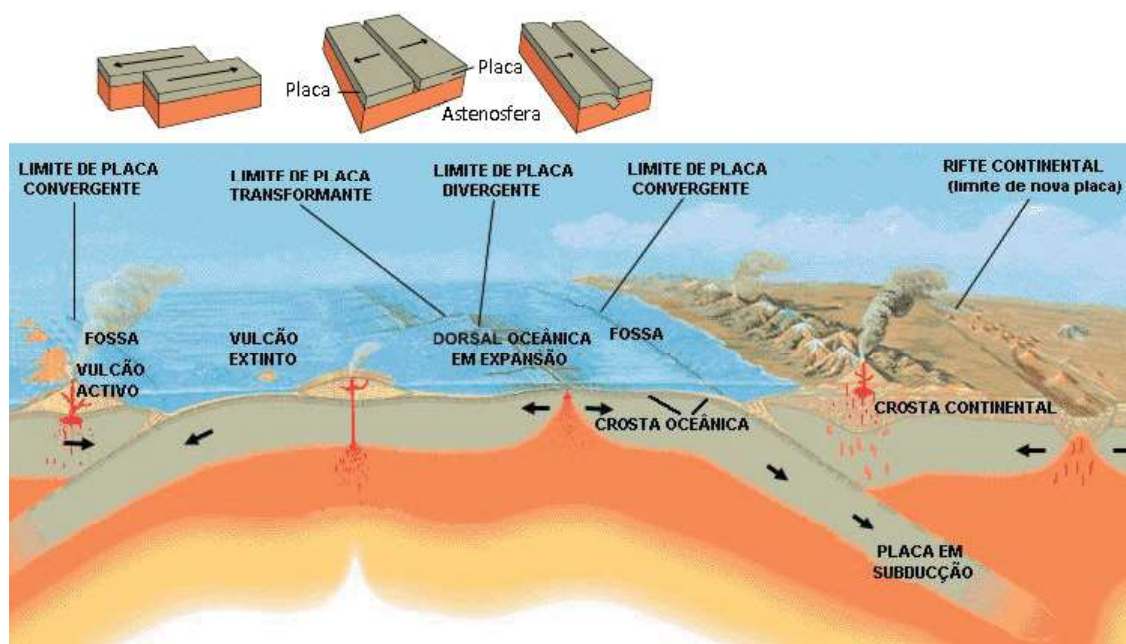


Figura 2.3 – Seção transversal idealizada ilustrando a relação entre a litosfera e a subjacente astenosfera e os três principais tipos de fronteiras entre placas: divergente, convergente e transformante. Fonte: Press *et al.*, 2006.

A Teoria da Tectônica de Placas forneceu uma base para interpretar a composição, a estrutura e os processos internos da Terra em uma escala global. Desta forma, com esta teoria explicando a estrutura da litosfera e a constatação de que os continentes e as bacias oceânicas fazem parte de um sistema litosfera-atmosfera-hidrosfera que evolui juntamente com o interior da Terra, se pode perceber melhor como a parte interna da Terra poderia interagir com a superfície, inclusive influenciando os sistemas superficiais da Terra, como o clima e o sistema hidrológico. Com a consolidação da Teoria da Tectônica de Placas, pode-se também apresentar um modelo mais completo sobre a divisão e as características das camadas da estrutura interna da Terra (figura 2.4).

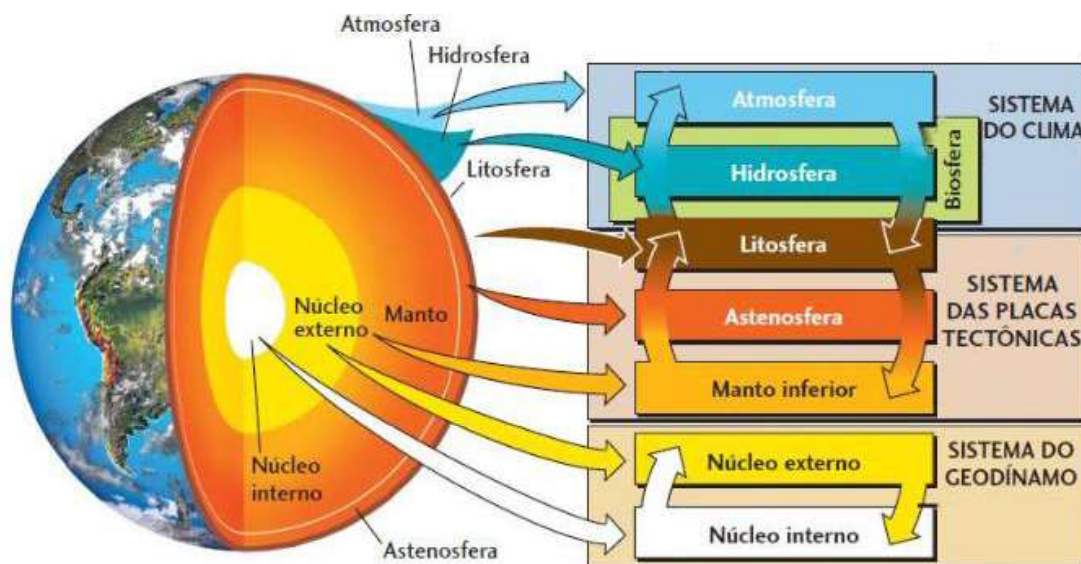


Figura 2.4 – Estrutura da Terra e a interação entre seus sistemas.

Fonte: Press *et al.*, 2006.

Veja: o advento tecnológico proporcionado pelo século XX e início do século XXI, trouxe para a humanidade muitas possibilidades de aquisição de conhecimentos através do uso de instrumentos que fornecem dados sobre a estrutura interna da Terra. A geologia beneficiou-se dessas inovações tecnológicas que permitiram que os geólogos pudessem medir e compreender melhor os fenômenos da dinâmica interna e externa da Terra, por isso todas as explicações tidas aqui da tectônica de placas.

Desde a aceitação generalizada desta teoria, em meados do século passado, que os avanços resultantes da investigação têm evoluído bastante e que novas perspectivas têm vindo a ser investigadas. No entanto, estes avanços (que muitas vezes não são mais do que abrir dúvidas sobre processos que se achavam que eram aceites sem qualquer problema e que agora começa a haver novas perspectivas), que têm vindo a ser muito discutidos na literatura científica atual quase não têm tido repercussão nem no ensino pré-universitário (e mesmo no universitário muito pouca) nem na divulgação científica, nomeadamente nos espaços museológicos.

Tendo este texto como um momento de aprendizagem e atualização científica, um aspecto é fundamental de ser discutido: A importância que as mudanças continentais, atualmente reconhecidas como ocorrência cíclica (reconhecida como Ciclo dos Supercontinentes), parecem ter tido, não só na evolução da Terra, mas

também da própria Vida. Desta forma, que tal vermos que a discussão da Deriva Continental vai muito além do Pangeia, remontando um ciclo iniciado com a formação do próprio planeta Terra?

A história tectônica dos continentes: o ciclo dos supercontinentes

A primeira proposta da existência de um ciclo de supercontinentes como reflexo de um processo geral de aglomeração e dispersão periódica dos continentes, foi feita por Worsley e a sua equipe (Worsley *et al.*, 1984). Estes autores realçam que a forma dos supercontinentes é influenciada pelo processo de colisão dos continentes anteriores, o que, por sua vez, reflete o processo de fragmentação do supercontinente anterior. Isto significa que a forma da Pangeia resulta não só do processo de colisão entre a Gondwana e a Laurásia, mas também da fragmentação da Panótia.

Desde a proposta de Worsley, em 1984, outros autores têm vindo a corroborar o seu modelo introduzindo contributos decisivos que têm permitido, não só para que a proposta do ciclo dos supercontinentes comece a ser aceite pela comunidade científica, mas também que se comece a perceber melhor o seu funcionamento (Nance *et al.*, Condie, 2003, 2005; Santosh, 2010; Young, 2013a, 2013b).

Se anteriormente se referiu alguns dos aspectos relacionados com as diferentes fases relacionadas com a fragmentação dos supercontinentes, surge a necessidade de tentar perceber o porquê da fragmentação dos supercontinentes. A diversidade dos modelos que têm sido propostos pode ser incluídos em dois grupos principais:

1. Modelos sem plumas mantélicas, que consideram que não há uma relação da atividade de plumas com os processos de fragmentação e que, por isso, são denominados de modelos de plumas ausentes (e.g. Komabayashi *et al.*, 2009).
2. Modelos que consideram a presença de plumas mantélicas como um fator essencial para o processo de fragmentação de um supercontinente/quebra litosférica (figura 06 -Courtillot *et al.*, 2003; Nance *et al.*, 2014; Santoshi, 2010; Zhao, 2004, 2009).

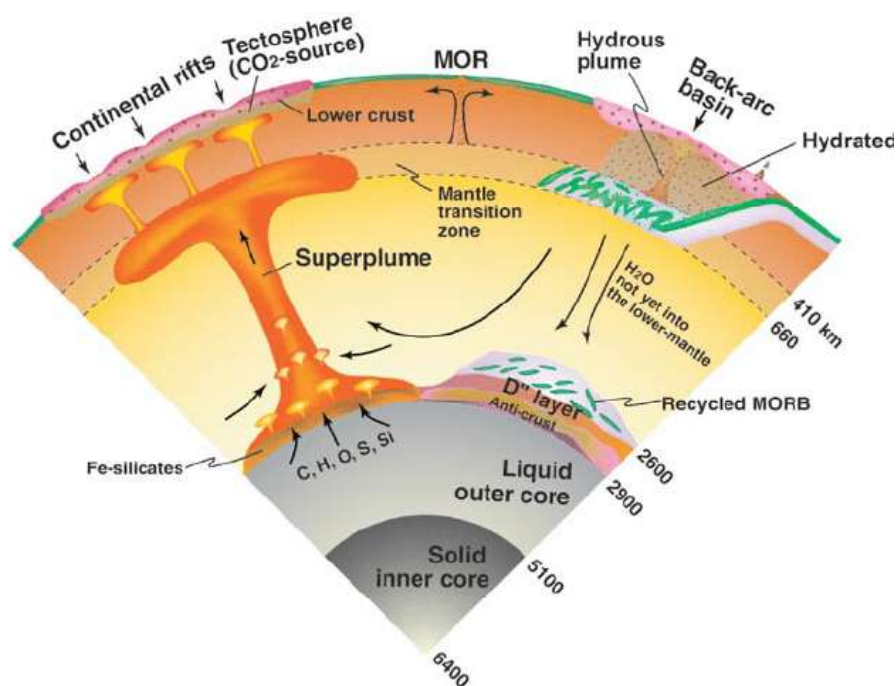


Figura 2.5 – Seção transversal esquemática da dinâmica interna da Terra realçando a presença de superplumas no manto. Fonte: Santosh (2010a).

No modelo de plumas mantélicas presentes, que é o privilegiado por este livro, a existência de um supercontinente dificulta a transferência para a superfície do calor interno da Terra, provocando a acumulação de calor no manto subjacente muitas vezes associado a uma superpluma (figura 06). Este processo provoca a origem da elevação dos setores mais internos do supercontinente por movimentos epirogênicos que aí predominam sobre os processos tectônicos, induzindo a sua fragmentação (Courtillet *et al.*, 2003; Santosh, 2010a e Nance *et al.*, 2014).

O modelo de plumas mantélicas como principal mecanismo para a fragmentação e posterior separação dos supercontinentes, leva a que alguns cientistas especulem sobre sua relação com as extinções em massa. Segundo Santosh (2010a), as plumas emergentes causam *rifting* continental e formação de grandes províncias ígneas, associadas a emissões vulcânicas de enormes dimensões que podem resultar a períodos longos caracterizados por invernos extremamente intensos, geradores de episódios de glaciações com efeitos catastróficos sobre a atmosfera. Estas alterações profundas podem ser causadoras de extinções em massa e anoxia de longo prazo nos oceanos.

O processo descrito anteriormente, não deve ter ocorrido somente no Fanerozóico, pois é normalmente admitido que o processo de tectônica de placas, e também de plumas mantélicas, tenha estado ativo desde o Arcaico. No entanto, apesar da falta de consenso sobre este passado mais remoto da Terra, os processos tectônicos seriam diferentes dos que conhecemos atualmente, até porque o fluxo térmico global era bem mais alto do que o atual; “as temperaturas do manto no início do Arcaico eram pelo menos 200 °C mais quente que atualmente (Hynes, 2008, p.152).

Muitas mais investigações são necessárias para um melhor conhecimento dos processos da Tectônica de Placas e de plumas mantélicas durante o Arcaico e mesmo de quase todo Proterozóico. No entanto, não é pela existência de várias incertezas sobre os mecanismos atuantes, que deixa de ser fundamental de serem divulgadas as principais transformações da Terra nesse passado mais remoto, bem como os processos que as provocaram. Um destes assuntos é, sem dúvida, a existência de supercontinentes anteriores à Panótia, que de forma resumida podem ser apresentados:

1. Segundo Young (2013), existiram quatro supercontinentes pre-Pangéia: Kenorland (2,0-2,6 G.A.), Colúmbia ou Nuna (1,6-1,8 G.a.), Rodínia (1,1 G.a.) e Pannótia (0,6 G.a.).
2. Outros autores (e.g. Cheney *et al.*, 1988, Cheney, 1996, Zegers *et al.*, 1998), apresentam uma sequência de 5 supercontinentes pré-Pangéia (do mais antigo para o mais recente): Vaalbara, Kenorland, Columbia, Rodinia e Pannótia.
3. Finalmente, numa proposta clássica de Rogers (1996), é apresentada uma sequência diferente, onde o autor propõe como uma sequência de supercontinentes: Ur, Nena, Rodínia, Gondwana e Pangéia.

É de salientar que as propostas referentes aos supercontinentes mais antigos (i.e. Vaalbara, Kenorland e Ur), são ainda bastante controversas devido a dois fatores (Nance *et al.*, 2014):

1. As reconstituições dos supercontinentes são bastante baseadas nas formas atuais das placas tectônicas e, como é lógico, quanto mais se recua no tempo menos importante são as formas atuais;
2. Os registros independentes para sua comprovação efetiva são inexistentes (e.g. fósseis) ou muito raros (e.g. rochas e minerais).

Embora persistam muitas dúvidas sobre estes tempos mais antigos da história de nosso planeta, o que é consensual é que em termos de atmosfera e hidrosfera, a Terra possuía, então, condições químicas e físicas muito diferentes das atuais. No entanto é importante salientar que estas condições foram fundamentais para o surgimento e evolução da Vida, tal qual a mesma ocorreu e que “foram influenciadas pelas gigantescas reações havidas entre os materiais plutônicos” (Lenzi *et al.*, 2009).

Como o papel do ciclo de supercontinentes ainda é, muitas vezes, subalter-nizado em relação à visão tradicional da tectônica de placas (principalmente em termos de divulgação), a sua existência começa a ser suportada por evidências bem diversas que mostram a existência de ciclos coerentes (Nance *et al.*, 2014): varia-ções climáticas globais, formação de cadeias de montanhas, formação de depósitos minerais, registro sedimentar de transição rifte-deriva e atividade biológica. Estes diferentes processos quase sempre não são independentes e, por exemplo, varia-ções importantes nas formas de Vida podem induzir variações dos níveis de CO₂ muito significativas, o que acaba por induzir alterações climáticas.

O ciclo dos supercontinentes dá-nos a possibilidade de compreender melhor a profunda inter-relação entre os sistemas da Terra (geosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera), existente desde os tempos mais remotos. Os últimos anos têm mostrado cada vez mais que não é possível tratar a Tectônica de Placas independentemente dos sistemas atmosférico, hidrológico e biológico, como acontece atualmente em muitos currículos escolares e no ensino não-formal. Com efeito, é fundamental realçar a importância do ciclo dos supercontinentes e suas influências nos sistemas terrestres, pois só isso permite apresentar uma história evolutiva e dinâmica do planeta. Esta visão é fundamental para compreender a necessidade da geopreserva-ção e para a sobrevivência humana, pois todos os momentos do passado geológico da Terra, foram fundamentais para que exista o ambiente que conhecemos atual-mente, com os seus recursos, clima e biodiversidade.

Agora que já compreendemos a Tectônica de Placas, seu papel na Deriva Continental e como ocorrem as mudanças das massas continentais ao longo do tempo em um ciclo, vamos para a parte biológica de todo este processo, que é a parte afetada por todos estes fenômenos e que agora temos como entender o por quê.

Extinções e extinções em massa: morte que gera Vida

A complexidade da Vida na Terra é o resultado de um processo evolutivo extraordinário. No entanto, esta evolução que conduziu à biodiversidade que conhecemos (figura 2.7), embora sendo um processo contínuo no tempo não é uniforme, nem no que diz respeito à velocidade com que esta evolução decorreu, nem à intensidade das alterações que foram ocorrendo. Isto significa, que a biodiversidade que observamos atualmente, só existe porque houve eventos de extinções catastróficas ao longo do tempo geológico.

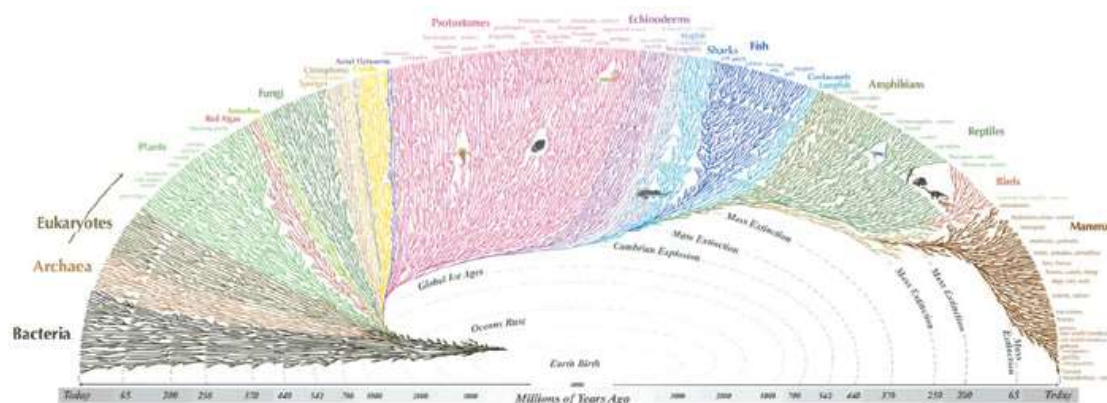


Figura 2.6 – Biodiversidade atual representada na Árvore da Vida.

Fonte: Leonard Eisenberg, 2017.

As extinções são eventos caracterizados pela perda de uma ou várias espécies biológicas que ocorreram num período de tempo relativamente curto. No entanto, nem todos estes eventos culminam em efeitos ecológicos e evolutivos significativos para a biodiversidade. Com efeito, aqueles que geraram mais êxito, fazem parte de gigantescas crises biológicas, onde não somente poucas espécies, mas famílias inteiras e até classes de seres vivos foram dizimadas, provocando uma reorganização brutal da árvore da Vida. Estes fatos, que foram pontuais na história da Vida no nosso planeta, são chamados de extinções em massa e são temas de intenso interesse e controvérsias na comunidade científica.

“As extinções em massa são episódios importantes na história da Vida, independentemente da sua abrangência e implicações evolutivas” (Jablonski, 2005, p. 193). Isto deve-se essencialmente a que os eventos de extinção não devem ser vistos apenas como perda de espécies, gêneros e até famílias inteiras de seres vivos. Com efeito, é importante encará-los como períodos de especiação de sobreviventes e de seleção de ramos da Árvore da Vida.

Segundo Gould (1990), as extinções em massa são difíceis para estudar, pois os registos estratigráficos subsequentes são quase sempre distorcidos pela incompletude e parcialidade, tornando, muitas vezes, as “evidências” artefatos de amostragem. O mesmo autor afirma que estes eventos raros e intensos possuem as suas próprias causas e padrões predominantes podendo acrescentar informações fundamentais à própria Teoria da Evolução da Vida.

Em definições mais antigas, como a de Raup & Sepkoski (1982), as extinções em massa são aquelas que ocorrem num único horizonte estratigráfico ou dentro de um intervalo estratigráfico limitado, afetando muitas espécies, incluindo famílias.

Em resumo, para que um evento seja considerado uma extinção em massa, tem que obedecer a diversos requisitos (Mcghee, 1996 *apud* Stigall, 2012):

1. Tem de afetar uma percentagem considerável – a partir de 15% - de famílias de organismos;
2. Tem que ter uma duração inferior a 15 milhões de anos;
3. Tem que afetar ambientes marinhos e terrestres em todo o mundo, incluindo flora e fauna.

Segundo Keller (2014), numa perspectiva macroevolutiva, as extinções em massa influenciaram decisivamente a história da Vida, pois não só tiveram efeitos de longo alcance sobre a Vida que sobreviveu ao evento catastrófico, mas também porque eliminou ramos inteiros da árvore filogenética da Vida – pois a extinção é um fenómeno seletivo. Nesta perspectiva, de as extinções serem ocorrências de seleção de sobrevivência e morte de espécies, Bambach (2006) e Hull (2015) acrescentam que estes eventos em massa, além de terem variação em seletividade, também são variáveis em intensidade e duração, não sendo homogêneos nem nos efeitos, nem nas causas.

Por isto, nem sempre é possível determinar, com precisão, os porquês, os comos e quanto de Vida foi perdida em cada um dos grandes eventos de extinções. Com efeito, o que temos é uma breve noção, através dos registos fossilíferos e rochosos do que foram os cenários em questão. Mas, o aspecto fundamental que podemos ter certeza, é que o aumento/irradiação de Vida e recuperação dos ambientes após estas grandes catástrofes, fez com que hoje estivéssemos aqui. Com efeito, o desaparecimento de ramos na árvore filogenética da Vida, está normalmente associado a uma nova e abundante irradiação de novos organismos e nichos ecológicos com a abertura de muitos outros ramos.

No que diz respeito às extinções em massa, estão reconhecidas no registro fóssil, cinco delas ao longo do Fanerozóico, mas é importante saber que, embora as taxas de extinção tenham sido bastante diferenciadas em cada uma delas, em todas ocorreu a extinção de mais de 50% de espécies (Keller *et al.*, 2012, p. 12).

Para além das semelhanças em termos de seleção dos organismos extintos nos 5 eventos catastróficos, diversos autores procuram identificar correlações entre as causas geradoras destes 5 grandes episódios. Nesta linha de pensamento, os impactos de meteoritos e as grandes províncias ígneas (*i.e.* Large Igneous Province - LIP) surgem como as causas mais consideradas (Morgan *et al.*, 2004; White e Saunders, 2005; Bambach, 2006, Keller, 2014; Hartvigsen, 2016). Contudo, como seria de esperar, ainda existem controvérsias sobre estas causas, nomeadamente no que diz respeito aos aspectos temporais (Isozaki, 2007).

De uma forma muito breve, as cinco grandes extinções em massa, reconhecidas na comunidade científica como as “*Big Five*” (Raup e Sepkoski, 1982; Gould, 1990; Morgan *et al.*, 2004; White e Saunders, 2005; Bambach, 2006, Schulz, 2010, Stigall, 2012; Keller 2012 e 2014; Hartvigsen, 2016; Bond e Grasby, 2017) são:

a) A extinção em massa do Ordoviciano-Siluriano: Este evento, ocorrido entre 450 e 443 m.a., foi considerado o segundo mais devastador a afetar as comunidades marinhas da Terra, onde estima-se que cerca de 85% das espécies foram extintas. Uma vez que a vida era praticamente restrita ao mar, esta grande quantidade de perda de grupos significou que mais de cem famílias de invertebrados marinhos desapareceram (um terço de todas as famílias de braquiópodes e briozoários, muitos grupos de tribóritas, conodontes e graptólitos) e grande parte dos organismos construtores de recifes. Embora esta extinção tenha comprometido muito a quantidade de Vida existente na época, ela deu possibilidade para que grupos importantes para a biodiversidade atual se desenvolvessem no período seguinte (Siluriano), que são os vertebrados.

b) A extinção em massa do Devoniano-Carbonífero: Esta grande extinção, ocorrida entre 383 e 360 m.a. aproximadamente, é a mais longa crise biótica já investigada, com mais de 20 milhões de anos de eventos de extinção. Afetou principalmente a comunidade marinha, onde praticamente dizimou os organismos construtores de recifes (que somente conseguiram se recuperar no Mesozóico). Além disso, 70% dos táxons de invertebrados marinhos não sobreviveram, tendo os moluscos cefalópodes livre-natantes, os braquiópodes articulados, ostracodes, trilobitas, crinóides, conodontes,

acritarcas, ostracodermos e placodermos como os grupos mais afetados, totalizando uma perda de 27% de famílias e de 80% de espécies. Com o ambiente mais disponível após este evento de extinção, os anfíbios, os répteis e os insetos tiveram mais oportunidades de se desenvolverem nas florestas já consolidadas naquele tempo no ambiente terrestre e com isso houve possibilidades para o surgimento dos répteis mamaliformes posteriormente.

c) A extinção em massa do Permiano-Triássico: A maior de todas as extinções em massa, como é reconhecida, ocorreu entre 255 – 250 m.a. aproximadamente e está relacionada, principalmente, com a formação do Pangeia, mas sua grande magnitude não pode ser associada a somente uma causa, tendo sido resultado de uma associação de causas, dentre elas, além da anteriormente citada, as grandes erupções vulcânicas da Sibéria (conhecidas como Siberian Traps). Foi tão agressiva, que eliminou mais de 90% dos invertebrados marinhos e, em terra, foi a maior devastação de insetos já registrada (nove a cada dez insetos morreram). As gimnospermas declinaram em absoluto e, há evidências suficientes que indicam que mais de dois terços de anfíbios labirintodontes, a maior parte dos sauropsídeos (répteis) e muitas famílias de répteis mamaliformes tornaram-se extintas. Embora, a recuperação após esta enorme catástrofe tenha sido lenta, ela possibilitou uma nova organização da árvore da Vida, que determinou a existência e diversificação dos dinossauros e, posteriormente, a partir destes, o surgimento das aves, que são organismos fundamentais até hoje para o incremento da biodiversidade da fauna e, principalmente, da flora que vivenciamos atualmente.

d) A extinção em massa do Triássico-Jurássico: Caracterizada por também ter sido um intervalo de elevadas taxas de extinção, esse evento durou cerca de 15 milhões de anos, entre, aproximadamente 160 e 145 m.a. No mar, as faunas dos recifes foram praticamente dizimadas, os equinodermos e amonóides foram praticamente extintos, enquanto gastrópodes, braquiópodes e bivalves foram afetados seriamente. Os conodontes foram extintos, assim como os anfíbios labirintodontes. Em terra, o grupo dos sinápsidos (répteis) foi afetado gravemente. Algumas das causas desta extinção em massa são a abertura do Atlântico com a quebra do Pangeia, o impacto de um meteoro na região que hoje é o Canadá e o grande extravasamento de lava conhecido como CAMP (*Central Atlantic Magmatic Province*). Este evento foi importante, pois a redução dos répteis sinápsidos, que era

o grupo dominante, pode ter contribuído para que o grupo dos mamíferos surgidos neste período, tenha tido oportunidade de sobrevivência.

e) A extinção em massa do Cretáceo-Terciário: O período Cretáceo foi importante porque uma série de organismos complexos se estabeleceram, como o caso das angiospermas, os mamíferos e as aves. Répteis voadores, reconhecidos principalmente através dos pterossauros, dinossauros e répteis marinhos foram abundantes. Este cenário foi modificado drasticamente quando, aproximadamente no último milhão de anos deste período, em 64 m.a. o impacto de um meteorito unido a um enorme derramamento de basalto na região da Índia (conhecido como Deccan Traps) ocorreram. Este fato, exterminou os dinossauros, répteis voadores e os grandes répteis marinhos, amonóides e bivalves rudistas. Os equinodermos, moluscos, peixes e braquiópodes foram gravemente afetados, mas curiosamente os mamíferos, tartarugas, crocodilos, lagartos, cobras e anfíbios praticamente saíram ilesos. Esta grande catástrofe gerou um ambiente praticamente livre de predadores e até competidores para os mamíferos, assim como para as aves e os pequenos répteis, podendo todos estes grupos se desenvolverem e, no caso especial dos mamíferos, se diversificarem extraordinariamente.

A partir das informações, mesmo que breves, destas cinco grandes extinções, chamadas de extinções em massa, podemos verificar que oportunidades de desenvolvimento e irradiação de muitas espécies, gêneros, famílias e até ordens, surgiram. Dentre essas oportunidades, a especiação foi acontecendo ao longo do tempo e chegamos até aqui. Desta forma, quando pensarmos em catástrofes, que tal olharmos no espelho e ver que o reflexo que aparecerá só existe graças a elas? Pense!



ATIVIDADES

01. Pesquise sobre as causas das cinco grandes extinções em massa ocorridas no Fanerozóico. Você verá que há grande divergência entre autores, sendo que muitos deles, simplificam as causas a uma única razão. Veja também se estas extinções ocorreram em um único evento e isolado (um único pulso), ou se houveram vários eventos, que unidos culminaram na extinção em massa.

Após feito isso, reflita: Por que há tanta divergência de informações quando se estuda assuntos que envolvam o registro fóssil?

02. Qual é o número das grandes extinções em massa já registradas no Éon Fanerozóico?

- a) cinco
- b) seis
- c) três
- d) quatro
- e) duas

03. Qual das alternativas a seguir representa a “mãe” de todas as extinções em massa?

- a) Ordoviciano-Siluriano
- b) Devoniano-Carbonífero
- c) Permiano-Triássico
- d) Triássico-Jurássico
- e) Cretáceo-Terciário

04. Das alternativas que seguem, qual preenche a lacuna da frase a seguir?

“No início do século XX, numa tentativa de organização de informações que fizessem sentido na observação das paisagens geológicas atuais como sendo resultado de um mecanismo que explicava em larga escala os eventos naturais contínuos e ordenados da Terra, o astrónomo e meteorologista alemão _____ (1880-1930), desenvolveu a hipótese científica, à qual deu o nome de “Deriva Continental”, dada à estampa na obra “A origem dos oceanos e continentes” (*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*), publicada em 1922.

- a) Eduard Suess
- b) Alfred Wegener
- c) Arthur Holmes
- d) Lynn Sykes
- e) Tuzo Wilson



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amoêda, S. M. C. (2005). **As tecnologias da informação e da comunicação no ensino da Geologia: um contributo para o ensino-aprendizagem do tema Tectónica de Placas.**

(Dissertação de Mestrado). Universidade do Porto. Porto.

Arndt, N. (2000). Geochemistry: Hot heads ad cold tails. **Nature**, 407, 458-461. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v407/n6803/full/407458a0.html>>.

Bambach, R.K. (2006). Phanerozoic Biodiversity. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, 34, p. 127-155.

Bleeker, W. (2003). The late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces. **Lithos**, 71, 99-134.

- Campbell, I. H. (2005). Large Igneous Provinces and the Mantle Plume Hypothesis. **Elements**, v. 01, p. 265-269.
- Bond, D.P.G.; Grasby, E. (2017). On the causes of mass extinctions. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol 478. p. 3-29.
- Campbell, I.H., Allen, C.M. (2008). Formation of supercontinents linked to increases in atmospheric oxygen. **Nature Geoscience**, 1, 554–558.
- Cheney, E.S. (1996). Sequence stratigraphy and plate tectonic significance of the Transvaal succession of southern Africa and its equivalent in Western Australia. **Precamb. Res.**, 79, 3-24.
- Cheney, E.S.; Roering, C.; Stettler, E. (1988). Vaalbara. **Geol.Soc.S. Afr. Geocongr.**, 88, 85-88.
- Condie, K. C. (2003). Supercontinents, superplumes and continental growth: the Neoproterozoic record. **Geological Society of London Special Publications**. 206, 1-21.
- Condie, K.C. (2011). The supercontinent cycle: Earth as an evolving planetary system. Academic Press, 317-355.
- Courtillot, V.; Davaille, A.; Besse, J. & Stock, J. (2003). Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. **Earth and Planetary Science Letters**, 205, 295-30
- Fairchild, T.R. & Boggiani, P.C. (2010). A vida primitiva: do Criptozoico (Pré-Cambriano) ao início do Fanerozóico. In: Carvalho, I.S. (Ed.). **Paleontologia**. 3. ed. v.1. (op.325-337). Rio de Janeiro: Interciência.
- Foulger, G. R. (2010). **Plates vs Plumes: a geological controversy**. UK: Willey-Blackwell.
- Foulger, G. R. **Plate tectonics processes**. (2016). Disponível em: <<http://www.mantleplumes.org/PTProcesses.html>>. Acesso em: 26 jan. 2017.
- French, S. W. & Romanowicz, B. (2015). Broad plumes rooted at the base of the Earth's mantle beneath major hotspots. **Nature**, 525, (pp.95–99). doi:10.1038/nature14876
- Gould, S. J. (1990). Vida Maravilhosa. Trad. Oliveira, P.C. São Paulo: Companhia das Letras.
- Hull, P. (2015). Life in the aftermath of mass extinctions. **Current Biology** 25, p. 941–R952.
- Isacks, B.L., Sykes L.R., Oliver, J. (1967). Spatial and temporal clustering of deep and shallow earthquakes in the Fiji-Tonga-Kermadec region, Bull. **Seismol. Soc. Am.**, 57, 935-958.
- Isacks, B.L., Oliver, J., Sykes, L.R. (1969). Seismology and the new global tectonics, Tectonophysics, 7, 527-541.
- Isozaki, Y. (2007). Plume winter scenario for biosphere catastrophe: the Permo-Triassic boundary case. In: Yuen, D.A. (ed). **Superplumes**. Japan: Springer, p.409-440.
- Jablonski, D. (2005). Mass extinctions and macroevolution. **Paleobiology**, 31(2), p. 192-210.
- Julian, B. R. & Foulger, G. R. (2005). What can seismology say about hot spots? In: Foulger, G. R.; Natland, J. H.; Presnall, D.C. & Anderson, D. L. (Orgs). **Plates, Plumes and Paradigms**. Geological Society of America Special Volume. Disponível em: <<http://www.mantleplumes.org/>>. Acesso em: 25 jan. 2016.
- Hannisdal, B. & Peters, S.E. (2011). Phanerozoic Earth system evolution and marine biodiversity. **Science**, 334, 1121–1124.

- Hartvigsen, G. (2016). Biodiversity and evolution. In: Grandcolas, P.; Maurel, M.C. **Biodiversity and Evolution**. ISTE Press – Elsevier, 284pp.
- Hynes, A. (2008). Effects of a warmer mantle on the characteristics of Archean passive margins. In: Condie, K.C. Pease, V. (Eds). When did Plate Tectonics begin on Earth? **Geological Society of America Special Paper**, 440. p. 149-156.
- Keller, G. (2012). Volcanism, impacts and mass extinctions. Disponível em: <<https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/November2012/Volcanismimpactsandmassextinctions2>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- Keller, G. (2014). Deccan volcanism, the Chicxulub impact, and the end-Cretaceous mass extinction: Coincidence? Cause and effect? **Geological Society of America Special Papers**, published online.
- Kious, J.W. & Tilling, R.T. (1996). **This Dynamic Earth**: the story of plate tectonics. USGS: Special Interest Publication.
- Komabayashi, T.; Maruyama, S.; Rino, S. (2009). A speculation on the structure of the D'layer the growth of anti-crust at the core-mantle boundary through the subduction history of the Earth. **Gondwana Research**, 15. p. 342-353.
- Knoll, A.H.; Bambach, R.K. (2000). Directionality in the history of life: diffusion from the left wall or repeated scaling of the right? In: Erwin, D.H.; e Wing, S. L. (Eds). **Deep time: paleobiology's perspective**. 26, 4 (pp.1-14). The Paleontological Society, Supplement to Paleobiology.
- Larwood, J. & Durham, E. (Eds) (2005). Involving people in geodiversity. Earth Heritage, **World Heritage Conference**, Wareham.
- Lenzi, E.; Favero, L., Luchese, E. B. (2009). **Introdução à química da água**: Ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC.
- MacGhee Jr., G.R.; Clapham, M. E.; Sheehan, P.M.; Bottjer, D.J.; Droser, M.L. (2013). A new ecological-severity ranking of major Phanerozoic biodiversity crises. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. N. 370. p. 260–270.
- Murphy, J. B. & Nance, R. D. (2004). La formación de los supercontinentes. **Investigación y Ciencia**. p.14-24.
- Nance, R. D; Murphy, J. B; Santosh, M. (2014). The Supercontinent cycle: a retrospective essay. **Gondwana Research**, 25; 4-29.
- Pough, F. H.; Janis, C. M. E Heiser, J. B. (2003). **A vida dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu.
- Press, F.; Siever, R.; Grotzinger, J.; Jordan, T.H. (2006). **Para Entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat. 4.ed. Porto Alegre: Bookman.
- Raup, D.M.; Sepkoski J.J. (1982). Mass extinctions in the marine fossil record. **Science**, new Series, vol.215 (4539), p. 1501-1503.
- Rogers, J.J.W. (1996). History of Continents in the Past Three Billion Years. **J. of Geology**, Chicago, v.104, 91-107.

- Santosh, M. (2010a). A synopsis of recent conceptual models on supercontinent tectonics in relation to mantle dynamics, life evolution and surface environment. *Journal of geodynamics*, n. 50, p. 116-133.
- Santosh, M. (2010b). Supercontinent tectonics and biogeochemical cycle: A matter of 'life and death'. **Geoscience Frontiers**, n. 01, p. 21-30.
- Schultz, C. L. (2010). Extinções. In: Carvalho, I.S. (Ed.). **Paleontologia**. 3. ed. v.1.(pp. 163-180). Rio de Janeiro: Interciência.
- Sykes, L.R. (1966). Spatial and temporal distribution of earthquakes, in ESSA **Symposium on Earthquake Prediction, Washington, D.C.** p.38-43.
- Sykes, L.R. (1966). Seismicity and deep structure of island arcs. **J. Geophys. Res.**, 71, 2981-3006.
- Stigall, A.L. (2012). Speciation collapse and invasive species dynamics during the Late Devonian "Mass Extinction". **GSA Today** 22, p.4-9.
- Teixeira, et al (Org). (2000). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos.
- White, R. V.; Saunders, A. D. (2005) Volcanism, impact and mass extinctions: incredible or credible coincidences? **Department Lithos**, 79. p.299- 316
- Wicander, R. & Monroe, J. S. (2000). **Historical Geology**: evolution of earth and life through time. 3. ed. USA: Brooks/Cole.
- Wicander, R. & Monroe, J. S. (2011). **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning.
- Wilson, J.T. (2005). Did the Atlantic close and then re-open? **Nature** 211, 676-68.
- Worsley, T.R.; Nance, D.; Moody, J. B. (1984). Global tectonics and Eustasy for the past 2 billion years. **Marine Geology**, 58, p. 373-400.
- Young, G. M. (2013a). Secular changes at the Earth's surface: evidence from palaeosols, some sedimentary rocks, and palaeoclimatic perturbations of the Proterozoic Eon. **Gondwana Research**, 24, 453-467.
- Young, G. M. (2013b). Precambrian supercontinents, glaciatiobs, atmospheric oxygenation, metazoan evolution and an impact that may have changed the second half os Earth history. **Geoscience Frontiers**, 4, 247-261.
- Zhao, D.P. (2004). Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep earth dynamics. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**. p. 146, 3-34.
- Zhao, D.P. (2009). Multiscale seismic tomography and mantle dynamics. **Gondwana Research** 15, p. 297-323.
-

3

**Interpretando o
passado: origens**

Interpretando o passado: origens

No capítulo anterior vimos como os fenômenos da Terra podem interagir com a evolução da Vida. Esta interação se deve principalmente no que diz respeito a ruptura e desaparecimento de ramos da Árvore da Vida e sua relação com as atividades da Tectônica de Placas; as extinções em massa são a prova disso. No momento anterior, nosso foco era procurar explicações para além da biologia e as áreas afins exclusivamente da Vida.

Agora, neste capítulo, à parte dos fenômenos da Terra, mas não independentes deles, veremos a evolução de um ângulo mais “orgânico”, pois sabemos que também ocorre através de vários eventos biológicos, ou seja, são necessárias bases biológicas para que a diversidade dos seres vivos exista, como é o caso da especiação, a seleção de espécies, a diferenciação ecológica e a radiação adaptativa, sendo todos estes fatores relacionados a um determinado tempo e num espaço específico.

A determinação de todos estes complexos e interligados fatores com o que vemos de diversidade de organismos, atualmente, não é uma tarefa fácil. Uma enorme quantidade de investigações é necessária para nos indicar caminhos a seguir, permitindo desta forma reflexões mais conclusivas sobre o assunto. O que sabemos, por enquanto, é que reconhecer a importância da origem e/ou história das coisas já é um grande passo nessa longa jornada rumo ao conhecimento da Vida e do porquê de sua atual distribuição geográfica na Terra.

Sendo assim, a nova configuração da Árvore da Vida que vemos hoje, desenhada pelos organismos e pela dinâmica da Terra ao longo dos milhões de anos, é uma fascinante forma de compreendermos nosso papel perante outras espécies e, principalmente, perante o mundo que vivemos.

Que tal estudarmos nesse capítulo um pouco dessas origens e os conceitos envolvidos com esta temática? Vamos lá?



OBJETIVOS

- Explicar a especiação e seus tipos, bem como a diversificação das espécies (radiação adaptativa);
- Discutir a biogeografia histórica apresentando o que é a vicariância;
- Descrever as correntes de pensamento dos dispersionistas e dos extensionistas.

Como surgem as espécies?

Assim como visto no capítulo anterior, o conceito de espécie para a biogeografia é singular e envolve a evolução como um de seus alicerces. Sendo assim, para melhor compreender os conceitos deste capítulo, teremos que aprofundar nossa discussão sobre espécie.

Você saberia citar alguma espécie que não possui relação com outra? Mesmo pensando com calma, é realmente uma tarefa impossível, pois isso não existe, pelo menos até onde a ciência explica sobre o que reconhece da Vida no planeta Terra.

Duas espécies quaisquer são descendentes de uma espécie ancestral. Podemos falar em várias espécies descendentes de um único ancestral, mas não podemos pensar em um organismo descendente sem uma origem. Por exemplo, podemos pensar em um antepassado comum entre os dinossauros e o homem, que mesmo numa relação temporalmente distante, existiu. É o caso do gênero *Ichthyostega* (figura 3.1), um dos primeiros vertebrados terrestres conhecidos, datado do período Devoniano e com aproximadamente 360 milhões de anos de idade (Pough *et al.*, 2003, p. 193). Desde então, este gênero vai se dividindo e gerando ramos cada vez mais diferenciados na Árvore da Vida.



Figura 3.1 – Reconstituição de *Ichthyostega*.

Mas a origem de novas espécies, embora seja feita através de uma espécie ancestral, dando origem a duas ou mais espécies descendentes, não é uma coisa simples e rápida, pelo contrário, muitos fatores precisam acontecer (alguns de forma simultânea e outros ao longo do tempo geológico). Esses vários fatores ou processos que estão envolvidos no surgimento de novas espécies e, consequentemente relacionados a diversidade biológica, chamamos de **especiação**.

A definição formal de especiação que é aceita pela comunidade científica, hoje se refere a: “É o processo evolutivo pelo qual as populações evoluem para se tornarem espécies distintas” (Cook, 1906, p. 506 – tradução nossa).

O processo de especiação pode estar relacionado a duas linhas de pensamento, a **cladogênese** (figura 3.2), que é um acontecimento evolutivo em que uma determinada espécie se divide em outras duas distintas, formando assim um clado¹ (Gould, 1977) e, a **anagênese** (figura 3.3), que é um padrão evolutivo definido por alterações graduais ocorridas em uma espécie sem a necessidade que a mesma se divida em outras espécies, ou seja, nem sempre conduz a novas espécies (Futuyma, 1987 – tradução nossa).

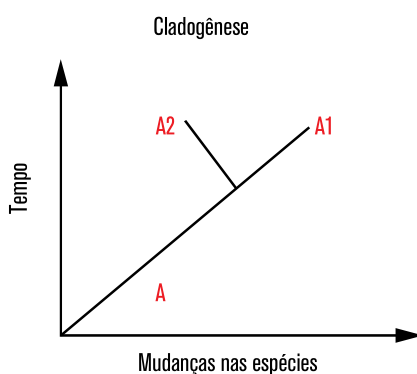


Figura 3.2 – Diagrama representativo de cladogênese. Fonte: modificado de lanuzzi and Soares (2010).

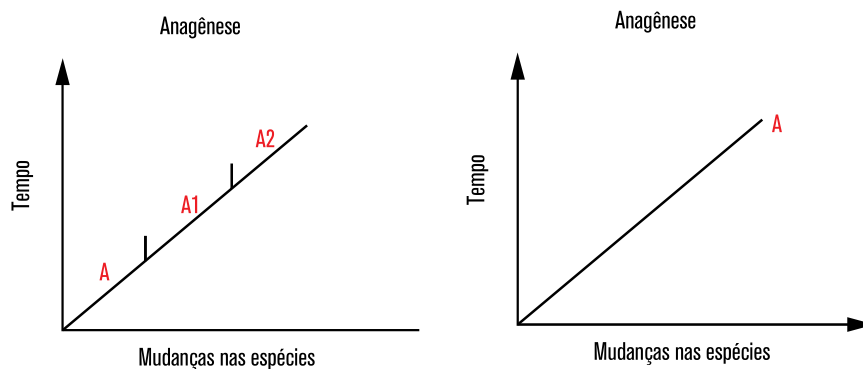


Figura 3.3 – Diagramas representativos de anagênese. Fonte: modificado de lanuzzi and Soares (2010).

Perceba que ambas as linhas de pensamento estão relacionadas a eventos evolutivos, por isso não temos como dissociar a origem de espécies da evolução, o que, consequentemente, é dependente de tempo. Desta forma, também precisamos entender

¹ Clado é um grupo de organismos que foi resultado de um ancestral comum e que representa um ramo na Árvore da Vida (Cracraft & Donoghue, 2004, p.1).

que independente da linha de pensamento, num geral, os processos de especiação estão baseados em três grandes alicerces (Cox and Moore, 2000; Zunino and Zullini, 2003; Lomolino et al., 2006; Ianuzzi and Soares, 2010), que são:

a) A deriva genética: é uma mudança evolutiva em pequena escala que altera, de forma aleatória, as frequências dos alelos genéticos ao longo do tempo. Exemplo: Uma população hipotética é composta em sua maioria de indivíduos com cabelos castanhos (que podem ter os alelos LL ou Ll) e conforme o tempo passa, a população se altera para a maioria de indivíduos de cabelos loiros (ll) ou até para a totalidade de indivíduos loiros. Neste caso, os genes fixados pela deriva são neutros, pois a cor do cabelo não, necessariamente, altera a vida dos indivíduos, mas este tipo de variação genética pode ocorrer com genes deletérios (que causam doenças, deformações), ou também pode ocorrer com genes vantajosos (resistência a certo tipo de doença, aumento de quantidade de dióxido de carbono etc.). Desta forma, a simples ação do acaso, pode levar a fixação de genes vantajosos ou deletérios, principalmente em populações pequenas.

b) A seleção natural: é o principal fenômeno evolutivo, representado pelos agentes externos aos indivíduos (meios físicos, químicos e até outros fatores bióticos) que age junto à variabilidade genética. Em outras palavras, a seleção natural “escolhe”, através do genótipo dos organismos, aqueles que possuem uma melhor adaptação ao meio, que conseqüentemente deixarão descendentes ao longo de gerações. Desta forma, elimina-se os genótipos desvantajosos, mesmo que isto tenda a diminuir a variabilidade genética presente numa população.

c) Isolamento geográfico: é a separação espacial de uma população de indivíduos, além de ser um dos principais fatores que contribui na manutenção das diferenças causadas pela deriva genética. Neste contexto, pode ocorrer um isolamento reprodutivo entre as populações dos locais que foram separados e isto já aponta o surgimento de novas espécies.

A título de curiosidade, há também o chamado isolamento ecológico, que mesmo não tendo uma separação espacial, ocorre por diferença genética e que impede a reprodução. Exemplos disso são as mudanças de comportamentos no momento do cortejo, inadequação anatômica e mudança no período reprodutivo.



ATENÇÃO

Nota importante: O isolamento reprodutivo é um mecanismo fundamental para o surgimento de novas espécies, uma vez que para ser da mesma espécie, dois organismos precisam reproduzir e gerar descendentes férteis!

Mas veja, isso não é uma fórmula a ser seguida. Como percebemos ao longo de nossa humilde existência, tudo o que envolve a natureza pode estar relacionado à exceções, que muitas vezes não parecem lógicas para nós, além disso, para algumas destas ocorrências nem explicações (com os instrumentos que temos até então) podemos dar. Sendo assim, entenda que estes alicerces não são obrigatórios, mas de forma geral, são os observados para a origem de novas espécies.



CONCEITO

Observação 1: Não confunda especiação com evolução!!! Evolução é a modificação através do tempo, que ultrapassa o limite de vida de uma única geração e pode ser relacionada a mais fatores do que somente a origem das espécies, embora as espécies para surgirem sejam dependentes da evolução. Exemplo: A evolução da formação das cadeias montanhosas do Himalaia, ou seja, as mudanças dos processos que ocorreram para que a formação desta cadeia de montanhas se formasse.

Observação 2: A evolução também não pode ser confundida com aumento ou crescimento ou acréscimo de características, pois evoluir pode significar redução. Exemplo: na história da linhagem das cobras, um caráter evolutivo foi a perda dos membros anteriores e posteriores.

Os alicerces explicados anteriormente, também estão relacionados aos tipos de especiação (Mayr, 1970; Cox and Moore, 2000; Zunino and Zullini, 2003; Baker, 2005; Lomolino *et al.*, 2006; Ridley, 2006; Ianuzzi and Soares, 2010), que são:

I. A especiação alopátrica: é aquela onde ocorre uma separação espacial, ou seja, a população sofre uma divisão e as partes ficam isoladas por uma barreira geográfica (*e.g.* mar, montanha, rio). Conforme o tempo passa, as possíveis diferenças genéticas, além de pressões da seleção natural, que ocorrem em cada parte isolada da população pode provocar incompatibilidade reprodutiva, dando origem a espécies diferentes.

II. A especiação simpátrica: é aquela onde um conjunto de indivíduos de uma população adquire alguma peculiaridade biológica que separa este grupo dos demais da população original, incluindo uma separação reprodutiva, que com o tempo acaba sendo fator impeditivo de cruzamentos entre indivíduos dos grupos diferentes da mesma população.

III. A especiação parapátrica: ocorre quando um isolamento geográfico é ocasionado por fatores ecológicos, mas ainda com a ligação territorial entre os grupos, que ainda possuem indivíduos que cruzam e geram descendentes híbridos (com formas intermediárias). Conforme o tempo vai passando, somente os híbridos cruzam com indivíduos das duas populações originais, tendo estas últimas já se diferenciado, tanto geneticamente, como pela ação da seleção natural. Deixando os híbridos de existir por alguma razão, os grupos “privilegiados” das diferentes áreas não podem mais cruzar, sendo agora parte de diferentes espécies.

IV. A especiação peripátrica: este tipo de especiação não é aceita pela generalidade de autores, não aparecendo em muitas referências. Ela diz respeito a uma forma um pouco mais específica que a parapátrica, pois diz respeito ao tamanho das populações, sendo uma muito maior que a outra, onde a menor acaba sendo mais afetada pela deriva genética (Mayr, 1970; Hickerson and Meyer, 2008; Lawson *et al.*, 2010; Lomolino *et al.*, 2010).

Para uma melhor compreensão dos tipos de especiação, veja a clássica ilustração a seguir (figura 3.4):

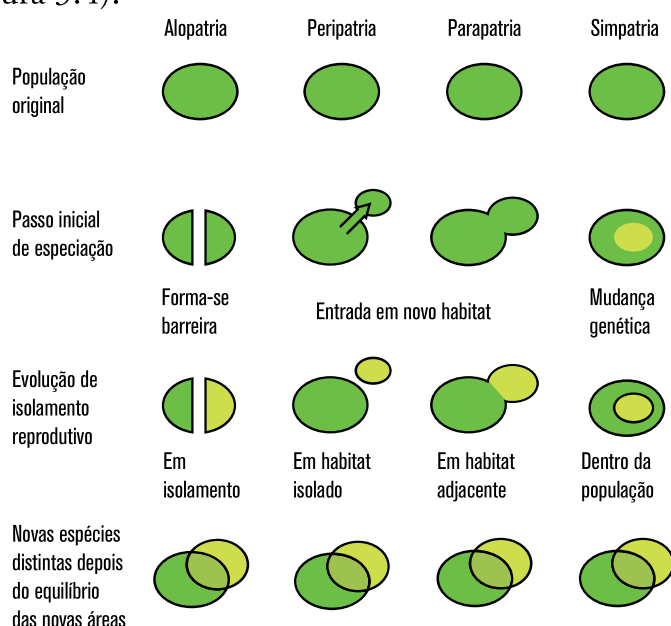


Figura 3.4 – Tipos de especiação.

Diversificação das espécies

Agora que já compreendemos como podem surgir novas espécies, não somente no contexto da biogeografia, podemos ver como ocorre a diversificação das espécies e sua seleção pelo meio.

Para iniciar esta discussão, precisamos, antes de mais nada, saber que este é um assunto complexo, pois embora tenhamos uma enorme quantidade de referências que apresentem estes temas, a maior parte delas é voltada para os organismos em específico e não para uma explicação mais geral que se aplique a estudos que não sejam relacionados a filogenética ou áreas geográficas restritas (como ilhas ou nichos específicos). Desta forma, apenas alguns autores mais clássicos nos permitem uma visão mais abrangente sobre a diversificação.

Quando falamos em diversificação, estamos tratando da diversidade de Vida no planeta, o que envolve (como já vimos no capítulo anterior) processos que vão além daqueles propriamente biológicos, como é o caso do tempo e da dinâmica da Terra. Desta forma, sempre teremos a evolução como um assunto obrigatório e de base quando nos referimos a origem da biodiversidade, uma vez que ela representa as mudanças ao longo do tempo. Tendo isto claro, é preciso saber que, para compreender a distribuição atual da diversidade da Vida (foco da biogeografia), teremos que recorrer a história das espécies, não só como visto sobre os processos que as originam, mas também de seus possíveis centros de origem e sua inicial distribuição no território global. Assim sendo, recorreremos ao único instrumento que nos permite saber o que aconteceu no passado das espécies, que é o registro fóssil.

Os fósseis demonstram formas e características da Vida no passado, incluindo informações úteis sobre o clima e o ambiente do local que foram depositados e preservados e, além disso, ajudam a esclarecer como as espécies mudaram ao longo do tempo geológico². Embora o registro fóssil seja um notável presente para o estudo da natureza nos permitindo conhecer a história da Vida e ser a única ferramenta que temos para isso, infelizmente ele deixa muitas lacunas no que diz respeito a espécies transicionais³. Isto ocorre devido ao fato de o processo de fossilização ser um evento raro e as espécies de transição tenderem a aparecer em populações pequenas - onde qualquer tipo de alteração ambiental pode gerar um impulso evolutivo muito forte e a mudança morfológica ocorrer.

² Graças ao registro fóssil e a genética podemos compreender o processo que levou a primeira célula, ao primeiro animal e ao primeiro ser humano (Mora et al., 2011).

³ Espécies que estão entre uma ancestral e sua(s) descendente(s).

Mesmo com toda a problemática que envolve a preservação de informações do passado, os registros que temos já são suficientes para compreendermos a diversificação. A análise fóssilífera demonstra que a evolução de uma linhagem, geralmente consiste em longos períodos de tempo com praticamente nenhuma mudança (estase) intercalados por períodos relativamente breves com rápidas e acentuadas mudanças, que, frequentemente, parecem estar associadas com eventos de especiação (Lomolino *et al.*, 2006).

Isto quer dizer que as espécies, depois que surgem, demoram para se estabelecer no ambiente e que é necessária uma mudança brusca no meio para que possam se dispersar, o que, ocasionalmente, pode gerar novas espécies. Com isso, podemos presumir que a maior parte das espécies é relacionada ao local que vivem (sendo muitas endêmicas) e que a dispersão ocorre com as mais generalistas. Desta forma, diversificar as espécies é um processo, que embora seja complexo, é menos difícil que a dispersão, que demanda obrigatoriamente de espécies que podem se adaptar a mudanças sem alterações. Por isso que a biogeografia estuda obrigatoriamente as origens, porque a distribuição da Vida num espaço geográfico demandou de tantas alterações de espécies como de cenários aos quais se encontram.

Neste sentido, a diversificação, como parte do estudo das origens, é um processo onde há a evolução de diferenças reprodutivas e fenotípicas que representem uma distinta espécie em um clado (Stroud and Losos, 2016 – tradução nossa). A diversificação de cada grupo de organismos é o produto de uma forte relação das taxas de especiação menos a de extinção e isso resulta na biodiversidade (Simpson, 1953, Schluter, 2001). Segundo os mesmos autores, há um grande contraste no número de espécies entre os diferentes grupos de organismos e isto pode ser explicado através da invasão de novas áreas, surgimento de inovações morfológicas e ecológicas, competição entre os indivíduos e bruscas alterações climáticas.

Atualmente, com a genética, sabemos que a diversidade de fenótipos não significa biodiversidade, pois há entre indivíduos da mesma espécie diferenças visíveis de características (e.g. *Canis lúpus familiaris*, popularmente conhecido como cachorro, pode ter vários tamanhos, diversos tipos de pelagens e diferentes morfologias de focinho). Além da genética, mas não totalmente independente dela, a filogenia (que também é ligada à análise da evolução das espécies ao longo do tempo) também é um importante instrumento de estudos da diversidade das espécies, pois demonstra como é a ligação entre as diferentes espécies, possibilitando uma comparação direta entre as características que diferenciam e aproximam os

organismos para sua posterior classificação (ver comentário da relação da biogeografia com a sistemática filogenética no capítulo 1).

A diversificação dos organismos é estudada por grande parte dos autores (desde Darwin – figura 3.5) através da radiação adaptativa ou também chamada de irradiação adaptativa (Schluter, 2000; Ridley, 2006; Losos and Mahler, 2010; Losos, 2011; Stroud and Losos, 2016). O processo de radiação adaptativa diz respeito a proliferação de espécies e diversificação em muitas formas ecológica-mente diferentes a partir de um único ancestral (Stroud and Losos, 2016). Este processo também está relacionado com a separação de uma comunidade, com características exclusivas da espécie ancestral, em vários grupos que podem ocupar simultaneamente diversos nichos ecológicos, desta forma dando origem a cada vez mais espécies diferentes.

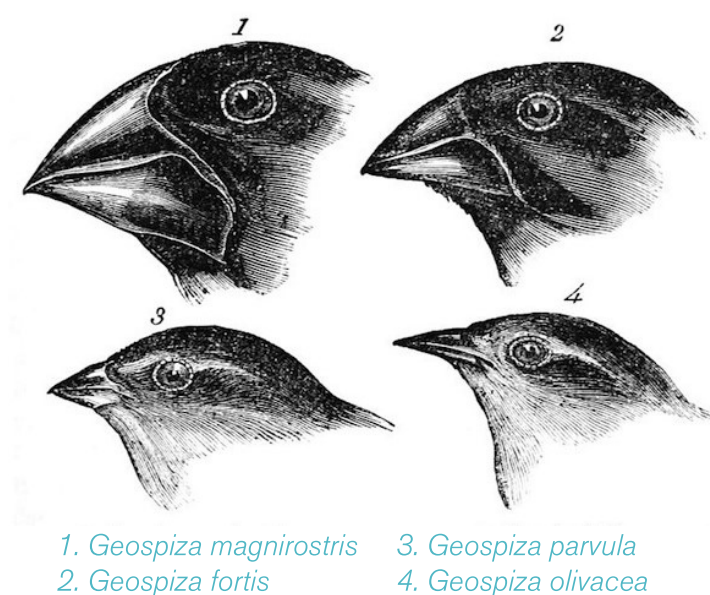


Figura 3.5 – Diversificação de um grupo de pássaros no Arquipélago de Galápagos por Darwin.

Uma situação importante de refletirmos é sobre a capacidade de suporte que o meio possui para uma radiação adaptativa progressiva e até exponencial (no caso de alguns grupos de espécies). A existência desta capacidade limitante da quantidade de vida que pode existir em simultâneo é um debate intenso na comunidade científica, atualmente. O que se sabe, através da análise do registro fóssil, é que sempre após um aumento exponencial da biodiversidade, uma grande extinção em massa ocorre (ver discussão no capítulo 2). Para além disso, a cada extinção, surgem oportunidades para a diversificação de outros grupos e, assim, a

biodiversidade volta a aumentar, tendo a biodiversidade e as extinções uma forte relação cíclica ao longo do tempo geológico.

Veja: as radiações adaptativas estão voltadas para as oportunidades que o ambiente fornece, principalmente no que diz respeito a alimento e proteção abundantes. Desta forma, a conquista de um novo nicho ecológico, sem “inibidores de crescimento populacional”, ou seja, sem competidores, possibilita o domínio e estabelecimento da espécie no local, o que favorece a radiação adaptativa.

Se pensarmos em ir além das espécies e vermos um cenário mais complexo que possibilite a origem de grupos taxonômicos hierarquicamente superiores, segundo Ianuzzi & Soares (2010), alguns estudos apontam que as mudanças não foram tão lentas e graduais como na origem de novas espécies, onde ocorreu uma alteração brusca, em termos de mutação, gerando um novo grande grupo (*e.g.* a origem de um mamífero a partir de um réptil). Desta forma, essa situação, onde são geradas enormes mudanças que possibilitem a classificação em grupos taxonômicos superiores, é chamada de **macroevolução** (figura 3.6). Já no caso da diferenciação dos organismos em termos de origem de novas espécies, chama-se de **microevolução** (Ianuzzi and Soares, 2010; Losos, 2010; Stroud and Losos, 2016 – figura 3.7).



Figura 3.6 – Representação de uma parte da biodiversidade (macroevolução) do planeta na exposição do Museu de História Natural de Nova York, nos Estados Unidos.



Figura 3.7 – Grupo de formigas que pode representar o foco de um estudo microevolutivo.

A biogeografia histórica e sua relação com a dispersão das espécies

No primeiro capítulo desta obra, vimos uma breve definição do que é a biogeografia histórica, como uma subdivisão de estudos da grande ciência Biogeografia. Podemos, agora, aprofundar um pouco mais a definição vista anteriormente, uma vez que já vimos a tectônica de placas no capítulo anterior e a origem das espécies neste capítulo. A biogeografia histórica estuda como os processos históricos, principalmente a evolução⁴ e a tectônica de placas, que ocorrem em enormes quantidades de tempo, podem influenciar os padrões de distribuição dos organismos na Terra. Perceba que as explicações para esta temática envolvem, obrigatoriamente, as causas que existiram num passado distante.

Se pensarmos numa perspectiva macroevolucionária, os valores relacionados a diversificação e dispersão, em uma dada região geográfica, serão o resultado da especiação, extinção e imigração, o que é um processo muito complexo e que, para uma boa parte das biotas, permanece ainda incompreendido. Desta forma, podemos supor que há uma forte e irrestrita relação entre a biodiversidade, a geografia e a paleontologia. Veja as figuras 3.8 e 3.9 a seguir para poder entender o porquê esta relação entre as ciências é fundamental:

⁴ Evolução, neste contexto, é relacionada a evolução da Árvore da Vida, no sentido de englobar a especiação e a origem das espécies, assim como também as extinções.

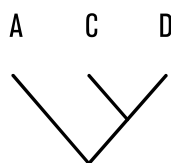


Figura 3.8 – Cladograma, que é visto atualmente numa específica região da relação entre os grupos de organismos.

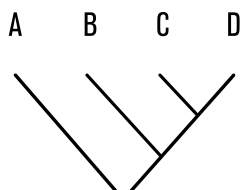


Figura 3.9 – Cladograma, com a reconstituição da posição do grupo B (irmão do A) que possuía características intermediárias entre o grupo A ancestral e os descendentes C e D.

Note que para a reconstituição do grupo B (figura 3.9), que não existe mais na área, foi-se necessário recorrer ao registro fóssil (estudado pela paleontologia). Da mesma forma que para a construção do cladograma atual (figura 08), foi necessária uma análise quantitativa e diferencial de grupos recentes (biodiversidade) e a verificação de quais regiões vive (geografia).

Bem, hoje sabemos de tudo isso (que estas ciências são interdependentes para compreendermos as espécies), mas nem sempre foi assim. As ideias sobre a dispersão das espécies remonta, principalmente, ao século XIX, onde existiam duas correntes distintas de pensamento para explicar a distribuição das espécies⁵ (recorde que não havia ainda explicações para a deriva dos continentes e nem cogitação dela, pelo menos que se saiba): tínhamos de um lado os **dispersionistas**, como é o caso de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace e do outro lado os **extensionistas**, representados por Charles Lyell (1797-1875), Edward Forbes (1815-1854) e Joseph Dalton Hooker (1817-1911), segundo Mayr (1970), Brown & Lomolino (2006) e Lomolino *et al.* (2010).

Os dispersionistas pregavam que a diversificação e a adaptação dos organismos eram o resultado da seleção natural, ao longo de um tempo extenso, após a separação geográfica de um grupo⁶; já para os extensionistas a expansão das espécies em uma área geográfica maior era feita através de “pontes” entre os grandes continentes, sendo que estes “pedaços de terras” estavam submersas a grandes

⁵ Hoje temos muitas mais, principalmente no que diz respeito às subdivisões da biogeografia, mas discutiremos isso a frente.

⁶ Não podemos esquecer que esta época é marcada pela “quebra” do conceito estático da Terra e da Vida com a Teoria da Evolução, que pregava a mudança gradual das espécies conforme as análises do registro fóssil.

profundidades (naquela época) e não tinham como serem vistas (Mayr, 1970; Brown & Lomolino, 2006; Lomolino *et al.*, 2010).

Muitos anos após estas ideias terem surgido, já no século XX, explicações alternativas à dispersão foram divulgadas. Leon Camille Marius Croizat (1894-1982), abriu novas perspectivas para a biogeografia num todo, principalmente a histórica (e sua subdivisão em panbiogeografia), com o princípio da vicariância (Zunino and Zullini, 2003).

Após este histórico das explicações sobre as ideias de dispersão dos organismos, vamos tentar entender como são as análises atuais sobre como ocorre a distribuição dos organismos à luz da biogeografia histórica. Segundo Iannuzzi & Soares (2010, p. 157), é necessário, antes de mais nada, verificar o motivo da distribuição, que pode ter duas explicações:

- a) Os descendentes se encontram no mesmo lugar dos ancestrais e;
- b) A origem dos ancestrais foi em um local diferenciado de onde são observados os descendentes atuais, tendo esses ancestrais ou seus descendentes mais primitivos migrando para esta nova área.

Neste sentido há dois tipos de explicações: uma delas pela dispersão e a outra pela vicariância. Quando falamos em **dispersão** (figura 3.10), estamos nos referindo aos processos que possibilitam com que os indivíduos de uma espécie, surgida em um determinado local, estejam atualmente presentes em locais diferentes daqueles de seus ancestrais mais primitivos ou até de seus progenitores, num geral causado pelo aparecimento de uma barreira geográfica transponível (Brown and Lomolino, 2006).

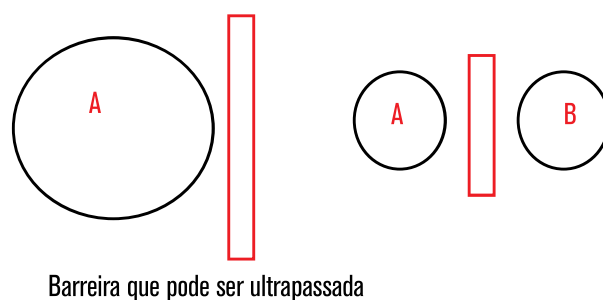


Figura 3.10 – Exemplo de dispersão através do surgimento de barreira transponível.

A dispersão é um termo muito usado na biologia e ecologia, mas neste caso é mais voltado para gerações de indivíduos e não necessariamente para a origem das espécies (como é o caso da biogeografia histórica), muito mais relacionado com

barreiras geradas por competição ou até comportamentais. É natural com que todos organismos na natureza se desloquem de seu centro de origem (isto é, uma forma da ação da seleção natural), até porque caso contrário, haveria muito mais competição entre indivíduos da mesma espécie, pois os pais, irmãos e tios iriam competir pelo mesmo tipo de alimento (a chamada competição intraespecífica); é exatamente por isso que, mesmo em casos de espécies que vivem em manadas, ocorra um líder que não permite mais que um determinado número de indivíduos e até (algumas vezes) de mais machos além dele próprio (e.g. o caso de grupos de leões).

Em relação a **vicariância** (figura 3.11), é um processo em que uma população é submetida, obrigatoriamente, a uma separação espacial, com restrição do fluxo gênico e possibilidade de especiação em ambas as novas populações ao longo do tempo, gerando um rompimento na distribuição de um clado (Ridley, 2006). São exemplos clássicos de eventos de vicariância a deriva continental (num contexto de evento lento) e as erupções vulcânicas (em relação a eventos rápidos).

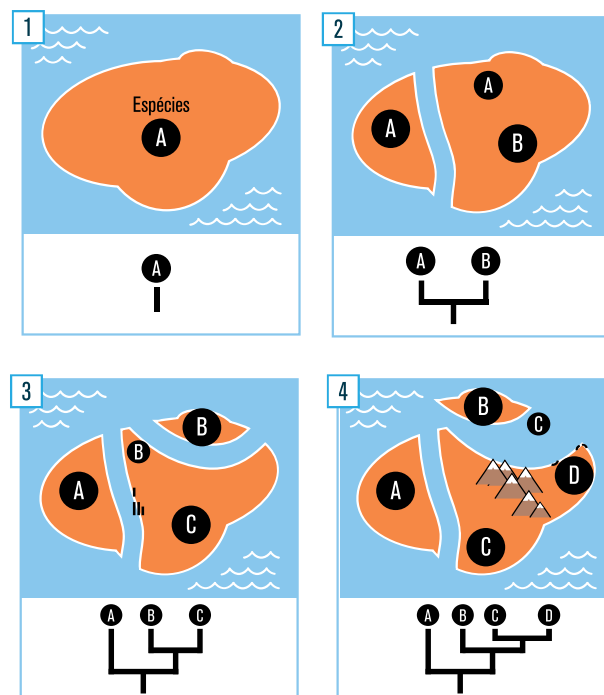


Figura 3.11 – Exemplos de vicariância.

1. espécie ancestral;

2. surge uma barreira geográfica e a espécie A é dividida em duas populações, sendo que em uma destas novas populações, dá origem a espécie B que convive com a espécie A até o desaparecimento da espécie ancestral desta população;

3. uma nova barreira surge e divide a população da espécie B em duas subpopulações, sendo que em uma dessas novas subpopulações a espécie B dá origem a espécie C, que convivem no mesmo local até a espécie B deixar de existir nesta população;

4. a espécie C dá origem a espécie D, que é separada de sua ancestral por uma nova barreira geográfica.

Aprenda mais: No Brasil, no Cretáceo Inferior, muitos ancestrais de uma variedade de espécies passaram pelo processo de vicariância quando o oceano Atlântico invadiu o continente no que hoje é a parte nordeste do país. Isso é provado através de um dos maiores sítios fossilíferos do mundo de peixes fósseis do período em questão, encontrados principalmente no Ceará, Pernambuco e Paraíba.

Quando estamos estudando um grupo em específico, há a tendência em utilizarmos a dispersão como processo de explicação, enquanto utilizamos a vicariância para analisarmos diversos grupos ao mesmo tempo. Isto ocorre devido ao “modo de dispersão” ser importante para os estudos de dispersão, pois uma espécie muda de território de uma forma diferenciada da outra (e.g. um grupo de borboletas se dispersa de forma diferenciada que um grupo de formigas). Já no caso da vicariância, o importante é saber quais os fatores causas que afetam muitos grupos com diferentes modos de dispersão (Iannuzi and Soares, 2010).

Atualmente, a moderna biogeografia histórica (se assim podemos dizer), utiliza a análise filogenética (por muitas vezes) como um poderoso recurso de análise de informações, principalmente se o registro fóssil for escasso, estiver deteriorado ou em alguns casos particulares, inacessível. Alguns chamam esta forma de biogeografia histórica de analisar dados através de filogenia de biogeografia filogenética, mas isto não é consenso (Zunino and Zullini, 2003). Há também autores que chamam este tipo de análise biogeográfica de biogeografia cladística ou biogeografia vicariante.

Porém, apesar dessa discrepante denominação de áreas (que é uma intensa discussão entre vários autores no mundo inteiro), o método de análise filogenética concebe uma hipótese detalhada da história biogeográfica de um grupo (que pode ser espécie, gênero, família, classe etc.) a partir de uma linha evolutiva bem estabelecida (Iannuzzi and Soares, 2010), sendo obrigatória uma análise da evolução histórica dos dados, daí a justificativa em estar sempre relacionada a biogeografia histórica (rever definições no capítulo 1).

O que realmente importa, atualmente, para a biogeografia histórica é que, independente do nome de como será sua subdivisão no uso dos instrumentos para se analisar as informações dos organismos, estas sejam as mais completas possíveis e que tracem um perfil da espécie (ou grupo) desde sua origem até sua condição mais atual (ou até sua extinção, quando for o caso).

Perceba que tudo relacionado a geografia de uma linhagem evolutiva e diversificação da biota está relacionado a biogeografia histórica. Desde os dispersionistas

e extensionistas, a bioeogeografia, como um todo, vem “florescendo” rapidamente e com muito poder (em termos de quantidade de conhecimento). O entendimento da história da biodiversidade, possibilitado por esta grande área de estudos, é fundamental para reconhecermos nosso papel nesse grande cenário de Vida em nosso planeta e vermos que não somos uma espécie superior, eterna e onipresente. Saiba que as discussões de biogeografia histórica podem ser enormes e que este capítulo é uma tentativa tímida de resumir um pouco desse fascinante assunto.



ATIVIDADES

01. Pesquise sobre as várias subdivisões da biogeografia e reflita qual combina mais com sua linha de pensamento. Pontue ideias a favor e contra cada uma para que você chegue a uma tendência de pensamento biogeográfico.

Após feito isso, reflita: Porquê há tanta divergência da comunidade científica sobre as formas como se analisar a distribuição das espécies?

02. Qual das alternativas a seguir está relacionada a um processo em que uma população é submetida, obrigatoriamente, a uma separação espacial?

- | | | |
|----------------|--------------|----------------|
| a) Vicariância | c) Fenótipo | e) Cladogênese |
| b) Dispersão | d) Anagênese | |

03. Qual das alternativas a seguir **não** está relacionada com um tipo de especiação?

- | | | |
|----------------|----------------|-------------|
| a) Alopátrica | c) Simpátrica | e) Extinção |
| b) Peripátrica | d) Parapátrica | |

04. Das alternativas que seguem, qual preenche a lacuna da frase abaixo?

“Os _____ pregavam que a diversificação e a adaptação dos organismos eram o resultado da seleção natural, ao longo de um tempo extenso, após a separação geográfica de um grupo”.

- | | |
|--------------------|----------------|
| a) Dispersionistas | c) Tectonistas |
| b) Extensionistas | d) Ecologistas |
| e) Paleontólogos | |



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, J. M. (2005). Adaptive speciation: the role of natural selection in mechanisms of geographic and non-geographic speciation. **Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**. 36 (2): 303–326.
- Begon M.; Townsend C.R.; Harper J.L. (2007). *Ecologia de indivíduos a ecossistemas*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed. 752pp.
- Berlocher, S. H. (1998). Origins: a brief history of research on speciation". In: Howard, D. J.; Berlocher, S. H. **Endless Forms: species and speciation**. New York: *Oxford University Press*.
- Brown, J.H.; Lomolino, M.V. (2006). **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC. 691pp.
- Cook, O. F. (1906). Factors of species-formation. Washington, D.C.: American **Association for the Advancement of Science**. 23 (587): 506–507.
- Cracraft, J.; Donoghue, M. J. Eds. (2004). **Introduction: assembling the Tree of Life**. England: Oxford University Press. p. 1.
- Craw, R.C., Grehan, J.R., Heads, M.J. (1999). **Panbiogeography: tracking the history of life**. New York: Oxford University Press: 229pp.
- Croizat, L., G. J. Nelson, & D. E. Rosen. (1974). Centers of origin and related concepts. **Systematic Zoology**, n. 23: p.265-287.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray. 502 pp.
- Futuyma, D.J. (1987). On the role of species in anagenesis. **Am. Nat.** 130, 465-473.
- Gould, S. J. (1977). Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered". **Paleobiology**. 3 (2): 115–151.
- Hickerson M.J., Meyer, C.P. (2008). Testing comparative phylogeographic models of marine vicariance and dispersal using a hierarchical Bayesian approach. **Evol Biol.** 8. p.322.
- Iannuzzi, R.; Soares, M.B. (2010). Teorias evolutivas. In: Carvalho, I.S. (Ed.). *Paleontologia*. 3. ed. v.1. Rio de Janeiro: Interciência. 139-162.
- Lomolino M.V.; Riddle, B.R.; Whittaker, R.J.; Brown, J.H. (2010). **Biogeography**. 4th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Losos, J. B. (2010). Adaptive radiation, ecological opportunity, and evolutionary determinism. **The American Naturalist**. 175 (6): 623–39.
- Losos, J.B.; Mahler, D.L. (2010). Adaptive radiation: the interaction of ecological opportunity, adaptation and speciation. In: Bell, M.; Futuyma, D.; Eanes, W.; Levinton, J. (Eds). **Evolution since Darwin: the first 150 years**. Sinauer: Sunderland. 381-420.

- Losos, J.B. (2011). Convergence, adaptation and constraint. **Evolution** 65(7), 1827-1840.
- Mayr, E. (1970). **Populations, species and Evolution**: na abridgment of animal species and Evolution. USA: Harvard University Press. 453pp.
- Mora, C. et al. (2011). How many species are there on Earth and in the Ocean?. **PLoS Biology**. 9 (8).1-8.
- Pough, F. H.; Janis, C. M. E Heiser, J. B. (2003). **A vida dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu.
- Ridley, M. (2006). *Evolução*. Tradução: Ferreira, H.; Passaglia, L.; Fischer, R. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 752pp.
- Schluter, D. (2000). **The ecology of adaptive radiation**. Canada: Oxford University Press. 296 pp.
- Simpson, G. G. (1953). **The major features of Evolution**. New York: Columbia University Press.
- Zunino, M.; Zullini, A. 2003. **Biogeografía**: la dimensión espacial de la evolución. México: Fondo de Cultura Económica. 359 pp.
-

4

**A biodiversidade
atual: distribuição
dos organismos na
superfície da Terra**

A biodiversidade atual: distribuição dos organismos na superfície da Terra

Nenhum organismo vive isolado de outro e este fato é incontestável. Mesmo que de uma maneira breve, porém vital, a vida sobrevive somente por que existe relação entre as espécies. Num geral, a relação entre os organismos é, ao longo de toda sua vida, pois a maior parte dos organismos que temos em proporções macroscópicas, depende de outro para se alimentar, conforme o ciclo de energia existente no planeta: produtor, consumidor primário, consumidor secundário e assim por diante.

De imediato, você poderá pensar que os produtores (vegetais) não dependem de outro organismo para se alimentar, uma vez que os vegetais sobrevivem graças a fotossíntese. Apesar disso, a dependência vegetal dos outros organismos existe, principalmente na constituição do solo (que só existe porque há atividade de organismos microscópicos) e no fator reprodutivo (transporte de pólen e sementes).

Desta forma, um organismo, obrigatoriamente, está associado ao local onde há a disponibilidade de alimento, ou seja, onde estejam os organismos dos quais depende para sobreviver. Se quisermos saber onde encontrar uma determinada espécie, é somente verificar onde podem estar seus potenciais alimentos. Quanto a isso, temos que ter cuidado, pois nem sempre é uma tarefa das mais simples, existem organismos generalistas que se alimentam de qualquer coisa.

Tendo organismos generalistas, outras condições também se tornam fundamentais na busca de sua distribuição, como o tipo de clima e sua relação com ele. Tudo isto é devido a uma forte conexão, ao longo do tempo geológico, entre a deriva genética e a seleção natural, que vimos no capítulo anterior. Desta forma, é imprescindível que tenha compreendido nossas reflexões anteriores para que possamos aprofundar nossa discussão da distribuição dos organismos neste capítulo.

Que tal revisar os conceitos estudados anteriormente nesta obra e retornar aqui para conhecermos um pouco mais sobre a vida dos grupos de organismos na Terra e entendermos o porquê de sua distribuição? Vamos lá?



OBJETIVOS

- Explicar como a biogeografia ecológica trata os padrões de distribuição dos organismos;
- Discutir a distribuição geográfica das espécies e os gradientes de diversidade;
- Descrever as regiões biogeográficas e os biomas existentes na atualidade.

A biogeografia ecológica e os padrões de distribuição dos organismos

Há uma coisa que todos os organismos tem em comum, incluindo o Homem; todos nós dividimos o mesmo planeta, que para a totalidade de Vida é o único lar que conhece (Cox and Moore, 2000 – tradução nossa). Algumas espécies interagem conosco e algumas escapam aos efeitos de nossa atividade em algum aspecto de sua ecologia e distribuição e, por essa razão, nossa espécie possui um papel importante na Terra, que é a de tentar deixar nosso lar um lugar melhor para toda a Vida existente ao nosso redor. Temos que tomar esta responsabilidade para nós, uma vez que, conforme explicam os mesmos autores, “somos uma espécie entre muitas (talvez até 30 milhões de outras espécies) e obedecemos essencialmente às mesmas regras naturais que todos os outros organismos” (p. 01).

Compreender como é a vida de outros organismos, mesmo que pareçam banais para uma ou outra pessoa, nos faz apreciar mais nossa própria posição na ordem das coisas aqui da Terra. Desta forma, a biogeografia ecológica é um poderoso recurso que nos ajuda a conhecer a biodiversidade atual, sua distribuição e a sua variação geográfica em função de suas interações com outros seres e o meio físico (rever definição de biogeografia ecológica ou ecobiogeografia no capítulo 01).

Sabemos que os diferentes organismos habitam quase todos os locais da Terra, inclusive áreas totalmente impróprias para a vida do homem, desde a Antártida e suas planícies, abismos oceânicos e até as águas ferventes dos gêiseres. Porém, nenhuma espécie pode viver em todos os lugares, sendo a maioria dos grupos de organismos restritos a uma área geográfica relativamente pequena, relacionada a determinadas e limitadas condições ambientais e climáticas. Sendo assim, segundo Zunino & Zullini (2003) chamamos de **área de distribuição** de um grupo taxonômico (e.g. família, gênero, espécie) o local/área habitada pelo mesmo, o que corresponde a um mapa que contém o conjunto de localidades dos registros

observados dos indivíduos. Olhe o exemplo de um mapa de distribuição de uma determinada planta na América do Norte (figura 4.1):

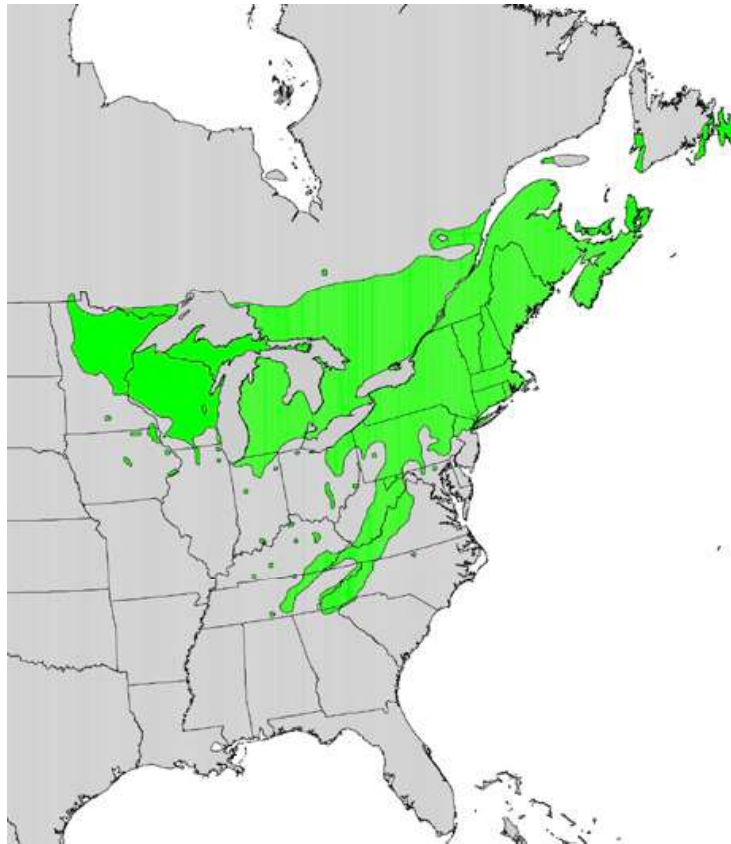


Figura 4.1 – Distribuição de *Betula alleghaniensis* na América do Norte¹.

De acordo com a quantidade de informação que se tem sobre determinado grupo, é possível elaborar vários tipos de mapas, um exemplo seria um mapa de pontos de distribuição, quando somente se possui informação de localidades de onde os indivíduos foram identificados. Independente do tipo de mapa que utilizarmos, percebe-se que a distribuição dos organismos na Terra não é uniforme e nem aleatória, mas há predomínio de espécies viventes em uma região do que em outra. Temos muitas hipóteses para explicar as principais variações geográficas na diversidade dos grupos de organismos, onde muitas destas são complementares.

A biogeografia ecológica estuda os padrões de dispersão dos organismos de várias formas, mas vamos nos focar em quatro, os gradientes de diversidade, a distribuição geográfica das espécies, as regiões biogeográficas e os biomas.

¹ Geopoliticamente o México é considerado parte da América do Norte, juntamente com o Canadá e Estados Unidos, embora geograficamente, alguns o considerem na América Central (Mendonça, 1991).

Os gradientes de diversidade e a distribuição geográfica das espécies

Os gradientes de diversidade são assuntos que intrigam os pesquisadores desde o século XIX, quando os naturalistas europeus intensificaram seus estudos nas áreas tropicais (e.g. Émile Deville, 1824-1853, naturalista francês do Museu Nacional de História Natural da França e Georg Heinrich von Langsdorff, 1774-1852, naturalista russo da Academia Imperial Russa de Ciências; Padoan, 2015). Estes gradientes dizem respeito a variação latitudinal na riqueza das espécies vegetais e animais, que num geral, indicam que há uma brutal diversidade de espécies na região tropical e uma escassez extrema nos pólos.

A variação latitudinal influencia quase todos os indivíduos (plantas, animais e microorganismos) e diz respeito às diferenças de variações nas características físicas da Terra, que é o caso da altura do nível da água (num rio, lago etc.), umidade ou aridez, salinidade, latitude e altitude. Segundo vários autores (Cox and Moore, 2000; Zunino and Zullini, 2003; Lomolino *et al.*, 2005; Figueiró, 2015), podemos classificar os principais gradientes em:

- a) **Gradiente de latitude:** influenciado, principalmente, pela radiação solar e temperatura, demonstra que altas latitudes, como é o caso dos polos, possuem uma diversidade muito menor de espécies do que aquelas áreas equivalentes a latitudes mais baixas, como é o caso das regiões tropicais;
- b) **Gradiente de altitude:** demonstra que a diversidade diminui conforme a altitude aumenta e é semelhante ao gradiente de latitude. Embora careça de mais estudos conclusivos, explica que os grupos de maior diversidade nas regiões temperadas também são bem representados em grandes altitudes (pico de montanhas);
- c) **Outros gradientes:** embora outros fatores possam ser analisados neste item, os principais são a salinidade e a profundidade. Quanto a salinidade, este gradiente demonstra que conforme se altera o teor de salinidade da água do mar (que gira em torno de 35‰), a diversidade de espécies diminui; assim como na água doce (que gira em torno de uma concentração de sais no valor de 2‰). Da mesma forma acontece com a profundidade, que conforme aumenta, menor diversidade se é vista.

Há um termo, conhecido como “*Hotspot*”, introduzido pelo ecólogo Norman Myers em 1988, que é relacionado a áreas que concentram os mais altos índices de biodiversidade e onde há urgência de ações de conservação, ou seja, são locais onde a biodiversidade está sendo fortemente ameaçada (Myers, 1988, 1990). Para ser considerado um *Hotspot*, Myers considera regiões com pelo menos 1.500 espécies endêmicas de plantas com perda de mais de 75% da vegetação original. Esses pontos críticos de biodiversidade estão distribuídos mundialmente, num total de 25 *Hotspot* que, em uma pequena área com cerca de 1,4% da superfície terrestre, contêm 44% de todas as espécies de plantas vasculares e 35% de todas as espécies relacionadas a quatro grupos de vertebrados – anfíbios, répteis, mamíferos e aves (Myers *et al.*, 2000). Podemos perceber claramente que estes *Hotspot* estão relacionados com o gradiente de latitude de diversidade (figura 4.2).

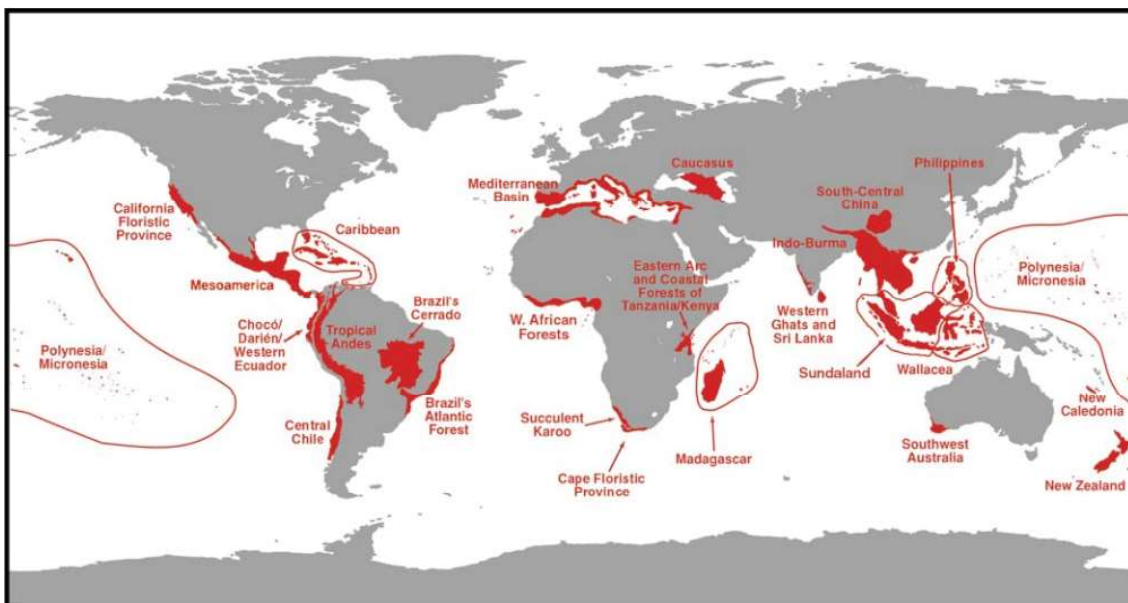


Figura 4.2 – Mapa de distribuição de Hotspots, que na realidade, correspondem a, aproximadamente, 30% das áreas em vermelho. Fonte: Myers *et al.* (2000).

Quanto a distribuição geográfica, podemos dizer que os principais tipos de distribuição de espécies e populações correspondem a (Lomolino *et al.*, 2005; tradução nossa):

- a) **Endêmicos:** são aqueles organismos restritos a uma área particular devido a diversas razões (ecológicas, históricas e fisiológicas), ou seja, quando falamos que a Ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii*) é endêmica da caatinga, estamos dizendo que ela só vive ali (figura 4.3). A área ocupada por uma espécie endêmica pode ser muito pequena (em torno de alguns metros quadrados

somente) ou pode estar relacionada a tamanhos maiores que proporções continentais, além deste endemismo também poder ser recente (sem tempo para a espécie ou grupo se dispersar) ou antigo. Este último, diz respeito ao quesito de, quanto mais tempo de isolamento em uma determinada área uma espécie estiver, maior a possibilidade de um endemismo aumentado;



Figura 4.3 – Ararinha-azul da caatinga.

b) Cosmopolitas: são aqueles organismos de distribuição muito diversa, num geral, em todos os continentes (exceto a Antártida, normalmente). Este é o nosso caso como humanos (*Homo sapiens*; figura 4.4);



Figura 4.4 – Distribuição mundial da população humana.

c) Disjuntas: são aquelas populações que ocorrem somente em determinadas áreas, que em biogeografia e ecologia chamamos ocorrência de forma descontínua. Para a biogeografia em si, esta separação tem de ser ampla, como

é o caso, por exemplo, do surgimento de uma barreira natural como ocorreu na deriva continental, segundo a teoria de Alfred Wegener (figura 4.5);

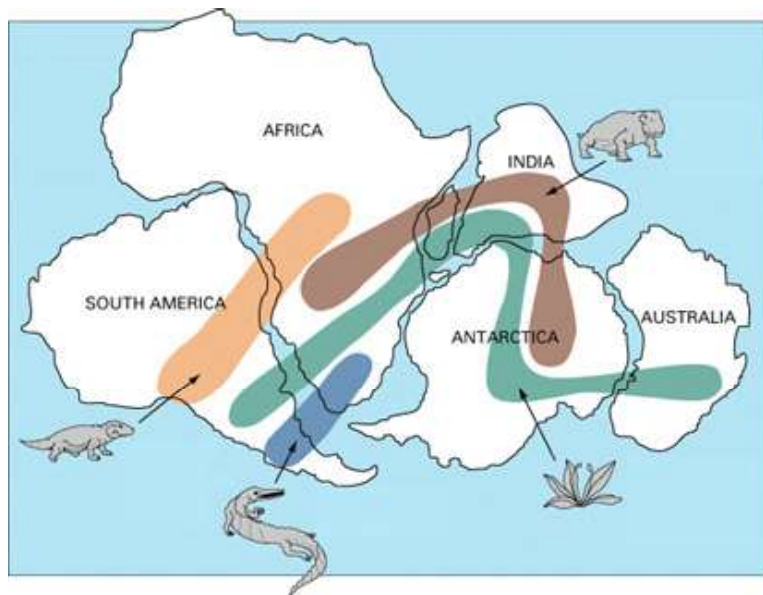


Figura 4.5 – Populações de organismos fósseis separados com a deriva continental conforme Alfred Wegener.

d) Contínuas: é uma população distribuída de forma ininterrupta em uma área de distribuição, como é o caso, mais uma vez, de nossa população humana (figura 4.4).

As regiões biogeográficas e os biomas

As regiões biogeográficas são áreas onde se reconhecem padrões de distribuição de organismos do planeta que, de forma tradicional, foram estabelecidas pelos biogeógrafos através de limites regionais entre grupos diferentes que, coincidentemente, se relacionam com barreiras geográficas e/ou climáticas, as quais impossibilitam a dispersão dos grupos (Cox, 2001). O primeiro mapa completo de diferentes regiões biogeográficas foi elaborado por Adolf Engler (1844 – 1930) em 1879, um botânico alemão que delimitou grandes regiões florísticas distintas (Lack, 2000). Este primeiro mapa completo, elaborado por Engler, pouco se alterou até os dias atuais, o que demonstra que este pesquisador além de grande habilidade e conhecimento da flora, também era um visionário.

Atualmente, temos seis regiões florísticas aceitas (Bond *et al.*, 1984; Takhtajan, 1986; Brown, 1995; Cox, 2001; Zunino and Zullini, 2003, Lomolino *et al.*, 2005 – figura 4.6):

- a) **Holoártica:** a que possui uma diversidade maior de biomas, engloba a tundra, florestas boreais, florestas e campos temperados, desertos e chapparal;
- b) **Neotropical:** embora seja constituída principalmente por florestas tropicais, também possui savanas e desertos;
- c) **Paleotropical:** neste caso, sua principal constituição é por vegetação do tipo savana e desertos, mas também apresenta florestas tropicais;
- d) **Australiana:** apresenta florestas tropicais e savanas, além de possuir uma parte mais central desértica;
- e) **Antártica:** embora o predomínio nesta região seja relacionado com as calotas polares, há esparsas florestas temperadas e tundra;
- f) **Cabo:** esta região é um ponto de discórdia entre muitos autores, porque somente é válida quando unida com outras quatro regiões de clima mediterrâneo (Califórnia, região central do Chile, sudoeste da Austrália e a própria bacia Mediterrânea como um todo (Cox, 2001). Apenas as 5 áreas de forma conjunta poderiam representar uma alta taxa de endemismos, que engloba 20% da flora mundial e 5% da superfície terrestre. Apesar desta discordância da comunidade científica, ainda não há mapas validados em outra configuração florística.

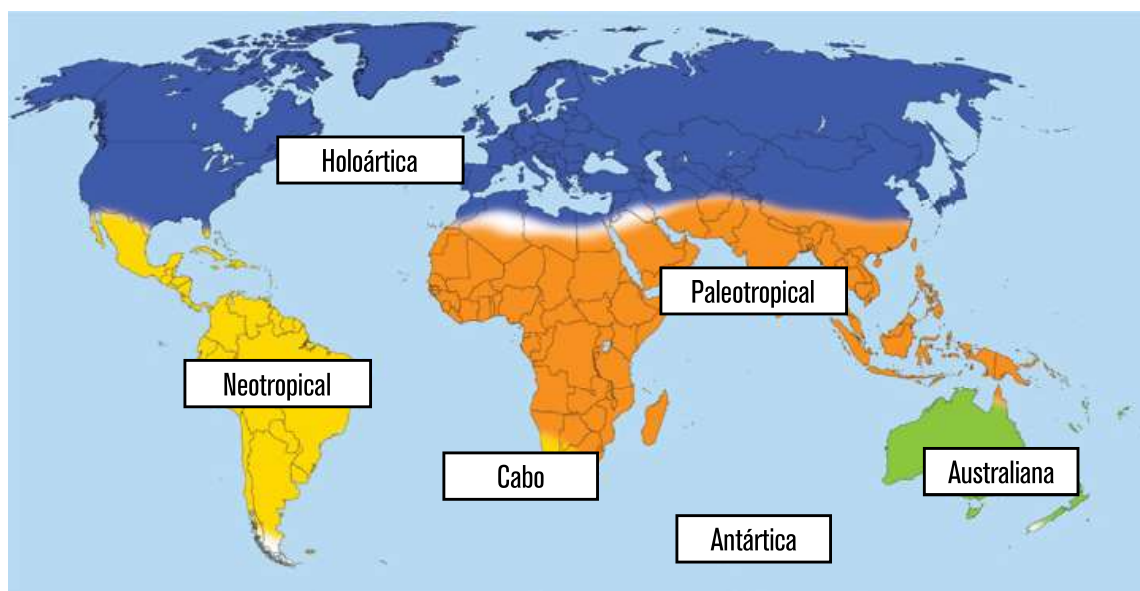


Figura 4.6 – Fito-regiões biogeográficas.

Em termos de fauna, as regiões biogeográficas do planeta ainda utilizam, basicamente, a mesma distribuição sugerida por Wallace há mais de um século (figura

4.7), baseada principalmente na distribuição de mamíferos. Embora também ocorra divergências entre a comunidade científica sobre os limites desta distribuição da diversidade animal, não há outras propostas globais aceitas para regiões zoogeográficas.

Observação: Note que o mapa baseado na fauna possui diferenças (mesmo que pequenas) em relação às regiões biogeográficas propostas para a flora.

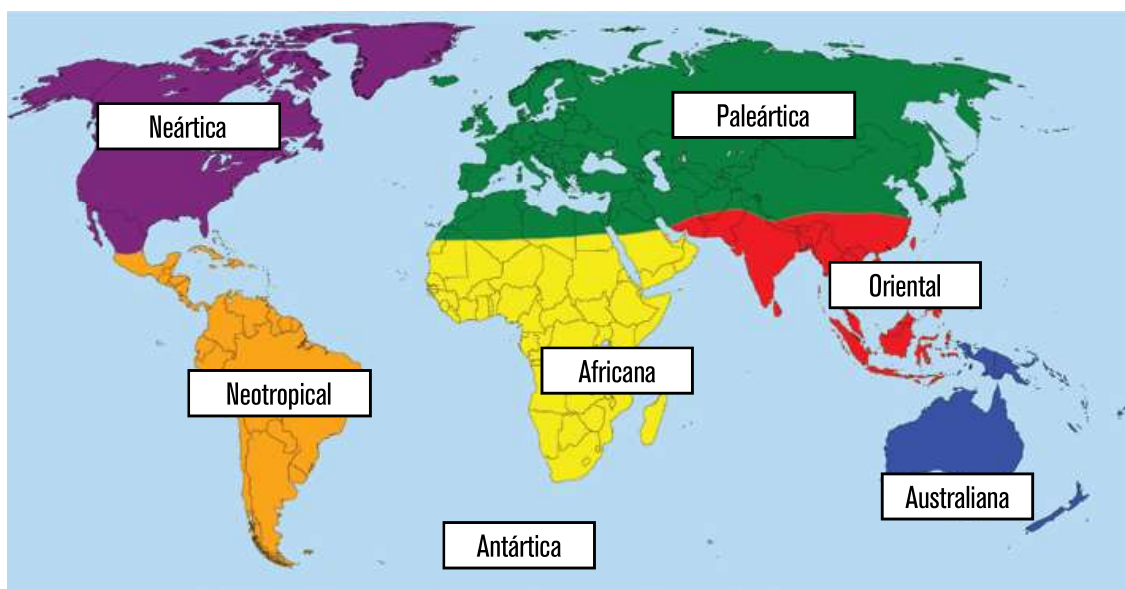


Figura 4.7 – Regiões zoogeográficas.

Temos seis regiões zoogeográficas (Zunino and Zullini, 2003), embora o mapa original de Wallace dividisse uma destas regiões em duas diferentes – a Holoártica que é a união da Neártica e da Paleártica:

a) Holoártica (Neártica e Paleártica): a megafauna endêmica desta região pode-se citar, entre os mamíferos, os grandes ungulados (besontes, veados, carneiros selvagens, cavalos atuais e extintos), castores, ursos, lobos, mustelídeos (e.g. lontras, ariranhas, texugos). Em termos de aves, exemplares de rapina noturnas e andorinhas; os anfíbios são representados por salamandras e tritões (figura 4.8) e, além disto, há uma infinidade de artrópodes, como os caranguejos de rio.



Figura 4.8 – Tritão (subfamília *Pleurodelinae*).

b) Neotropical: possui uma imensa variedade de biota, com mais de 3.000 espécies endêmicas e 1.500 espécies entre serpentes, lagartos e crocodilos, também, são endêmicos desta região. A ausência de herbívoros autóctones² é intrigante,

c) Africana ou Afrotropical: antigamente chamada de Etiópica, tem uma fauna de herbívoros riquíssima, com elefantes, girafas, ocapis (figura 4.9), hipopótamos, rinocerontes, búfalos, antílopes, gazelas e, em relação aos carnívoros, os leões, os guepardos e hienas.



Figura 4.9 – Ocapí, que é um herbívoro endêmico da África e que, ironicamente, parece uma mistura de girafa com zebra.

² Que se origina na região onde é encontrado.

d) Oriental: em relação aos mamíferos endêmicos, pode ser caracterizada por orangotangos e o elefante da Índia; no caso das aves, um representante típico é a irena e, entre os répteis, os gaviais e os lantanótidos (figura 4.10).



Figura 4.10 – Única espécie sobrevivente da família Lanthanotidae, que é a *Lanthanotus borneensis*, cuja redução drástica é relacionada com a ação humana

e) Australiana: possui uma exuberante fauna endêmica com representantes mais conhecidos, entre os mamíferos, de marsupiais (cangurus, koalas, tilacinos), os monotremados (équidnas e os ornitorrincos) e entre as aves, os kiwis, cacatuas e emus.

f) Antártica: é uma região que muitos zoogeógrafos não reconhecem (como é o caso do próprio Wallace, mas esta área possui espécies endêmicas de focas, pinguins, pássaros (como o *Anthus antarcticus*) e, mais de 40 espécies de líquens e musgos, que sustentam muitos grupos de microartrópodes, incluindo os tardígrados³.

³ Esta espécie é a única do planeta que sobrevive em condições de variação de temperatura em mais de 150°C, pressões de cerca de seis mil toneladas, vácuo e de alta radiação (mil vezes maior que o homem suporta). Devido a isso, vários exemplares foram levados ao espaço extraterrestre, retornando vivos mais de um terço dos indivíduos e, dez por cento deles, continuaram a se reproduzir dando origem a descendentes férteis (Jonsson et al., 2008 – tradução nossa).

As regiões biogeográficas são normalmente divididas em áreas menores, chamadas de províncias, que estão relacionadas ao número de endemismos de determinados grupos, tanto de fauna como de flora, coincidentes com grandes barreiras geográficas.

Perceba que as regiões biogeográficas são formas de se estudar condições típicas de flora e fauna de determinadas áreas, influenciadas pelo clima, o que também pode ser feito pelo estudo dos biomas.

Para entender a importância dos biomas para os padrões de distribuição dos organismos, voltemos a uma ideia já comentada neste mesmo capítulo, onde fala-se que nenhuma espécie vive sozinha neste planeta. Justamente por esse fato, a questão de principal interesse dos biogeógrafos é: “Até que ponto as espécies são distribuídas em conjunto como comunidades interdependentes, em vez de distribuídas essencialmente independente umas das outras?” (Lomolino *et al.*, 2005, p. 98 – tradução nossa).

Bem, esta pergunta envolve muitas variáveis que se integram de forma muito complexa, por isso precisamos refletir que, se as comunidades são conjuntos integrados de espécies adaptadas umas às outras e tolerantes a ambientes físicos semelhantes, podemos presumir que estes agrupamentos de organismos sejam distribuídos como unidades mais discretas, onde qualquer pessoa poderá constatar que certos tipos de plantas tendem a ocorrer juntas em climas específicos criando tipos de vegetação distintas. Sendo assim, conforme explicam Lomolino *et al.* (2005) e Cox & Moore (2000), os ecologistas e biogeógrafos referem-se a estes locais como **zonas de vida** e/ou **biomas** – e mais recentemente também por ecorregiões -, reconhecendo que tipos específicos de animais e microorganismos estão associados a estas formações vegetais também específicas.

Desta forma, podemos definir os biomas, em sentido estrito, como sendo um conjunto de ecossistemas, que por ocuparem uma mesma zona climática, estão integrados por formas de vida similares e demonstram certa coerência ambiental, embora formem uma rede trófica relativamente unitária e entram em ciclos biogeoquímicos definidos (Zunino and Zullini, 2003 – tradução nossa). Neste mesmo sentido, vamos recordar o que são os ecossistemas, onde devemos entendê-los como uma unidade ecológica relativamente autônoma ou autossuficiente, uma vez que está integrada por produtores primários, consumidores e detritívoros, todos numa rede de relações de estrita interdependência e dependentes de um mesmo fluxo de energia - solar e química (ibidem, p. 94).

Em termos da relação entre o clima e os biomas, a ligação entre ambos ficará evidente se mapearmos os biomas contra as variáveis climáticas (e.g. precipitação e temperatura - Cox & Moore, 2000). Num geral, de uma forma compilada entre vários autores, podemos falar que os principais biomas terrestres são (Cox & Moore, 2000; Cox, 2001; Zunino and Zullini, 2003; Lomolino *et al.*, 2005 - figura 4.11):

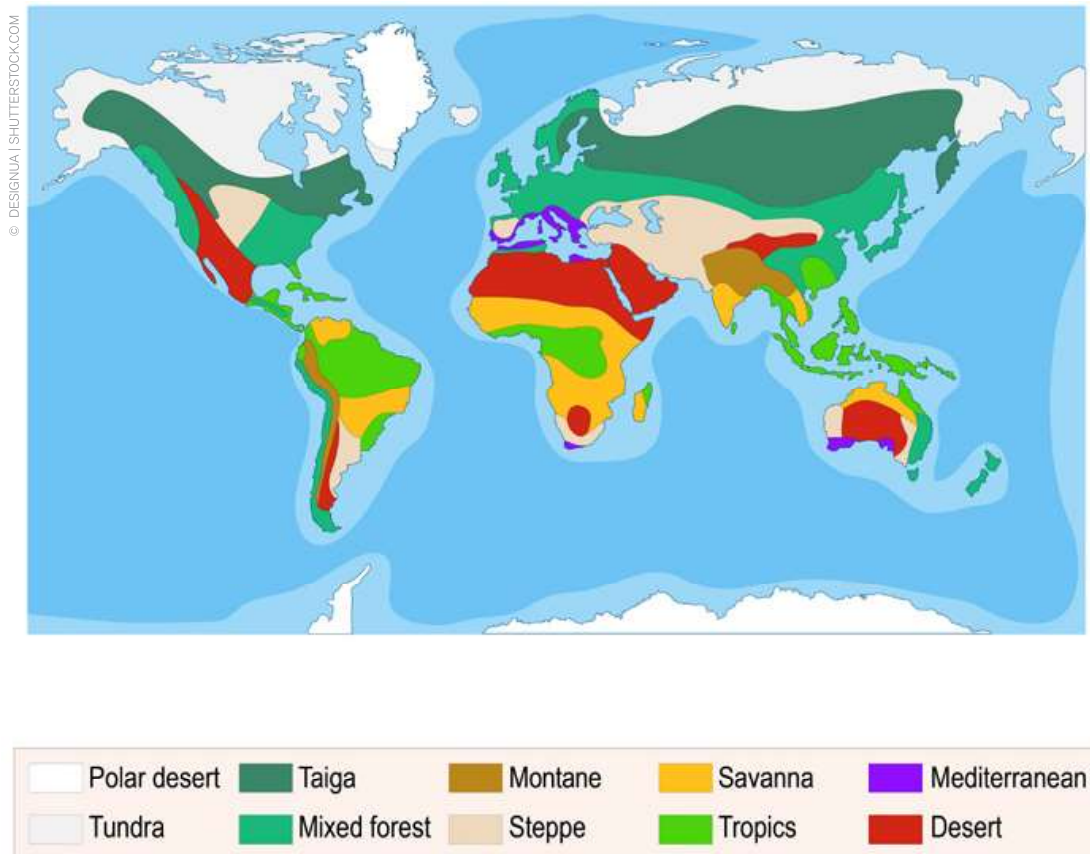


Figura 4.11 – Distribuição dos principais biomas no mundo.

a) Tundra: A maioria dos autores reconhece a tundra como representante, também, da área que alguns chamam de Deserto Polar (polar desert). Se localiza entre a calota polar e as florestas boreais, em volta do Círculo Ártico e justamente por esta extrema condição ambiental, não possui árvores. Embora tenha um índice de precipitação menor que os desertos, seus solos são cheios de água e congelados, porém, mesmo com água, apresenta a menor biodiversidade do planeta.

b) Taiga ou Floresta Boreal: Localizada em regiões de clima frio e úmido, com dias curtos e muito frios no inverno e dias longos e muito quentes no verão (que dura pouquíssimo tempo). É uma floresta com baixa

produtividade e pouca diversidade, num geral composta de coníferas, tendo um solo ácido e pobre em minerais. Apresenta muitas espécies de lobos e ursos.

c) Floresta Temperada (*mixed forest*): Está situado em áreas de clima temperado, que possuem verões quentes e invernos muito frios, além de possuir as quatro estações do ano muito bem definidas. O índice de pluviosidade é distribuído uniformemente ao longo do ano (750 a 1.500 mm) e é mais comum no hemisfério norte. É extremamente variável em estrutura e composição, embora, num geral, possa estar relacionada a duas áreas de características marcantes: a primeira delas é a que possui uma estrutura arbórea que perde suas folhas no outono e permanece dormente no inverno, rebrotando na primavera (floresta decídua) e, a segunda área é constituída por uma mistura de floresta decídua e floresta mista, sendo esta última constituída principalmente por coníferas. No caso das florestas temperadas mistas, possuem invernos muito rigorosos e neve frequente e os animais costumam hibernar (e.g. ursos).

d) Montanha (*montane*): Este é um bioma que gera muita controvérsia entre a comunidade científica, tendo autores que colocam esta região como uma mistura de tundra, floresta boreal e até uma parte de floresta temperada.

e) Campos Temperados (*Steppe*): São conhecidos como estepes (Eurásia), pradarias (EUA) e pampas (América do Sul). Ocorre em locais de clima sazonal, embora com significativa estação seca e taxa de pluviosidade intermediária entre os desertos e florestas temperadas. Tem como característica principal uma vegetação basicamente herbácea (e.g. gramíneas).

f) Savana (*savanna*): embora também ocorra na região tropical, de clima intensamente sazonal (chuvas alternando-se com secas), se caracteriza por um estrato contínuo de gramíneas e ciperáceas (ervas), mas pode possuir também bosques densos, conforme a presença de rios, o que constitui as matas ciliares e as florestas de galeria. Uma característica peculiar da vegetação da savana, é a resistência ao fogo, além da seca, com cascas espessas e/ou espinhos (que neste caso também minimiza a predação).

g) Floresta Tropical (*tropical*): Ocorre numa região onde a luminosidade, a umidade e a temperatura são altas, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio. Está dividida em **florestas pluviais** (regiões com pluviosidade acima de 1.800 mm anuais bem distribuídos ao longo do tempo) que constituem o bioma terrestre mais rico e produtivo do mundo, com

aproximadamente 50% de todas as espécies; e **florestas estacionais** (regiões com pluviosidade entre 1.500 e 1.800 mm anuais, mas com meses secos). As características de uma floresta tropical pluvial se relacionam a uma flora muito diversa, com árvores próximas e de dossel de 25-35 metros de altura e, no caso da floresta tropical estacional, o dossel é mais baixo e aberto e com perda de folhas durante a estação seca.

h) Mediterrâneo ou Chaparral (*mediterranean*): Este bioma está presente em locais com inverno moderado e chuvoso e verão longo, quente e seco. Possui uma vegetação densa e diversas formações arbustivas adaptadas à seca. Porém, como possui uma variação grande na taxa pluviométrica, a vegetação pode se alterar conforme a área a qual este bioma se encontra (Califórnia, nos Estados Unidos da América, também ocorre no México, na região central do Chile, sudoeste da Austrália, sul da África e na bacia do Mediterrâneo). Também está relacionado a um número grande de espécies endêmicas.

i) Deserto (*desert*): Se apresenta, num geral, em latitudes entre 30 - 40 °. E possui um índice de pluviosidade menor que 250 mm ao ano, o que gera um enorme potencial de evaporação, fazendo com que os animais tenham inatividade diurna ou sazonal (e até migração) sendo a maioria nômades, enquanto as plantas possuem caule suculento (fecham os estômatos para não perderem água – e.g. os cactos) e sistema radicular profundo. Nem todos desertos são quentes o ano todo, temos os chamados desertos frios que possuem apenas algumas semanas com altas temperaturas e o resto do ano com temperaturas extremamente frias, porém todos os desertos são secos⁴.

Quanto aos biomas aquáticos, são os marinhos e de água doce. As características principais que os definem são o teor de salinidade, relevo, profundidade (altura da lâmina de água) e tipo de movimento da água. Segundo Lomolino *et al.* (2005), podemos explicá-los:

a) Água Doce: Há diferentes ecossistemas relacionados a este bioma, que são os lagos, rios, poças e brejos. São regiões muito suscetíveis a variações sazonais. Os rios, possuem uma dinâmica diferente dos outros ecossistemas de água doce, uma vez que estão em constante movimento. No caso, os lagos e poças, os mesmos são subdivididos em zonas, que são: 1 - uma área mais rasa e quente localizada próxima às margens chamada de zona

4 Cuidado para não relacionar seco com quente e frio com úmido! Uma coisa está relacionada a temperatura (quente e frio) e outra com umidade relativa do ar.

de litoral; 2 – uma área próxima da superfície, onde o fitoplâncton e o zooplâncton estão presentes numa forma fundamental de sustentação da cadeia alimentar ecossistêmica, chamada de zona limnética; 3 – uma área mais profunda e escura, onde estão o plâncton morto e os animais detritívoros, chamada de zona profunda e, 4 – uma zona intermediária entre a zona profunda e a zona limnética, chamada de zona pelágica.

b) Marinho: Há também uma divisão principal nesse ecossistema em recifes de corais, oceanos e estuários. Os oceanos, são o maior ecossistema da Terra, com uma área de 70% de superfície do planeta e se conecta com o continente em uma região chamada zona entremarés, além de também ser dividido em regiões verticais: 1 – *zona fótica*, que é a que ocorre a fotossíntese e mantém a diversidade marinha e; 2 – *zona afótica*, que não possui penetração de luz e ainda possui muitos mistérios a serem desvendados pela ciência. Além desta subdivisão, o ecossistema marinho também é classificado conforme sua profundidade, sendo a mais profunda chamada de **região abissal**, que é muito fria e de alta pressão, mas que possui variadas espécies de invertebrados e peixes. Os recifes de corais são a parte do bioma marinho que está em águas quentes e rasas, muito próximas à costa. Os estuários, na verdade, são áreas de transição entre o mar e os rios, possuindo características de ambos e até misturadas, mas são considerados parte do bioma marinho.

Os biomas, embora subdivididos em grande parte nos ecossistemas e suas características particulares, ainda podem ser mais limitados em áreas menores chamadas de *ecorregiões*. Conforme Olson & Dinerstein (1998) e Olson *et al.* (2001), as ecorregiões são classificadas pelo caráter distintivo de suas características da biodiversidade – endemismo de espécies (figura 4.12), a raridade de taxa, riqueza de espécies, fenômenos ecológicos ou evolutivos incomuns ou raridade global de habitat, além de também poderem ser classificadas por ameaças à biodiversidade, estado de seus habitats naturais e grau de proteção.

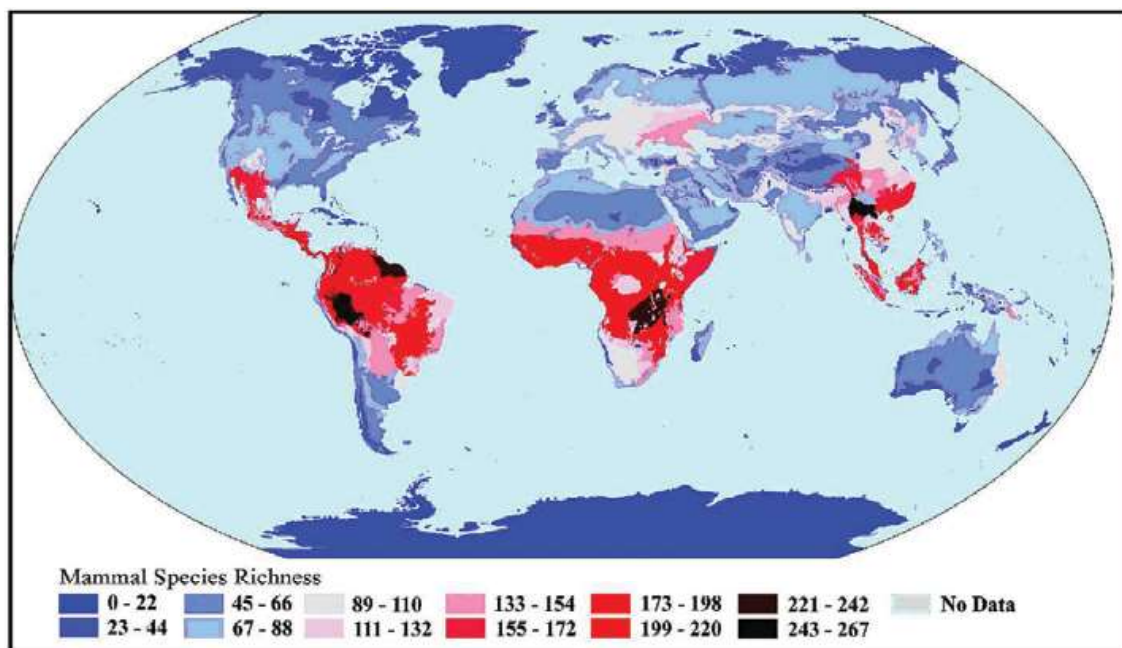


Figura 4.12 – Riqueza relativa de espécies de mamíferos terrestres por ecorregião.

Fonte: Olson *et al.* (2001, p. 936).

Cores quentes representam maior quantidade de espécies.

Para finalizar nosso capítulo, é importante citar a “ausência absoluta de qualquer referência às formas de ocupação humana” (Figueiró, 2012, p. 65) para a discussão de padrões de distribuição na biogeografia. O autor é corroborado por outros, como é o caso de Cox & Moore (2005), que explicam, em sua obra, a importância do componente humano para o entendimento da distribuição dos organismos no planeta.



ATIVIDADES

01. Como podemos explicar a ampla distribuição de Vida em nosso planeta? Faça um resumo sobre os padrões de distribuição comentados neste capítulo.

02. Qual das alternativas a seguir **não** está relacionada a uma região fitogeográfica?

- a) Holoártica
- b) Neotropical
- c) Paleotropical
- d) Antártica
- e) Equatorial

03. Qual das alternativas a seguir não é um dos tipos de biomas terrestres?

- a) Tundra
- b) Floresta Tropical
- c) Savana
- d) Floresta Boreal
- e) Estuário

04. Das alternativas que seguem, qual preenche a lacuna da frase a seguir?

“As _____ são classificadas pelo caráter distintivo de suas características da biodiversidade – endemismo de espécies, a raridade de taxa, riqueza de espécies, fenômenos ecológicos ou evolutivos incomuns ou raridade global de habitat, além de também poderem ser classificadas por ameaças à biodiversidade, estado de seus habitats naturais e grau de proteção.

- | | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| a) Ecorregiões | c) Savanas | e) Áreas paleoárticas |
| b) Zonas pelágicas | d) Populações disjuntas | |



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bond, P.; Goldblatt, P. (1984) Plants of the Cape flora: a descriptive catalogue. **Journal of South African Botany Supplement**, 13, p. 1-455.
- Brown, J. H. (1995). Species diversity. In: Myers, A. A.; Giller, P. S. (eds.). **Analytical biogeography**: an integrated approach to the study of animal and plant distributions. London: Chapman & Hall. p.57-89.
- Brown, J.H.; Lomolino, M.V. (2006). **Biogeografia**. 2. ed. Ribeirão Preto: FUNPEC. 691pp.
- Cox, C. B.; Moore, P. D. (2000). **Biogeography**: an ecological and evolutionary approach. 6th ed. London: Blackwell Science. 298pp.
- Cox, C.B. (2001). The biogeographic regions reconsidered. **Journal of Biogeography**, 28, p. 511-523.
- Figueiró, A.S. (2012). Diversidade geo-bio-sociocultural: a biogeografia em busca dos seus conceitos. **Revista Geonorte**, ed. Especial. Vol.4, n.4, p.57 – 77.
- Figueiró, A. S. (2015). **Biogeografia**: dinâmicas e transformações da natureza. São Paulo: Oficina de Textos. 400pp.
- Jönsson, K. I.; Rabbow, E.; Schill, R. O.; Harms-Ringdahl, M.; Rettberg, P. (2008). Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. **Current Biology**. 18 (17) p.729–731.
- Lack, H. W. (2000). **Botanisches Museum Berlin**: Adolf Engler— Die Welt in einem Garten. München, Germany: Prestel.
- Lomolino M.V.; Riddle, B.R.; Whittaker, R.J.; Brown, J.H. (2010). **Biogeography**. 4th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Mayr, E. (1970). **Populations, species and Evolution**: na abridgment of animal species and Evolution. USA: Harvard University Press. 453pp.
- Mendonça, F. (1991). **Geografia física**: ciência humana? 2.ed. São Paulo: Contexto.
- Mora, C. et al. (2011). How many species are there on Earth and in the Ocean?. **PLoS Biology**. 9 (8).1-8.
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: 'hot-spots' in tropical forests. **The Environmentalist**, 8, p. 187-208.
- Myers, N. (1990). The biodiversity challenge: expanded hotspots analysis. **Environmentalist**. 10, p. 243-256.

- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.A.B.; Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403, 24. p. 853-858.
- Olson, D.M.; Dinerstein, E. (1998). The Global 200: a representation approach to conserving the Earth's most biologically valuable ecoregions. **Conservation Biology**, 12. P. 502-515.
- Omernik, J. M. (2004). Perspectives on the nature and definition of ecological regions. **Environmental Management**. [S.l.: s.n.] p. 34 - Supplement 1, p.27-38.
- Padoan, L.L.F. (2015). Explorando o desconhecido: as contribuições dos viajantes naturalistas para as Ciências Naturais no Brasil do século XVIII e XIX. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, ReGet** (19), n. 1, p.194-201.
- Pough, F. H.; Janis, C. M. E Heiser, J. B. (2003). **A vida dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu.
- Ridley, M. (2006). *Evolução*. Tradução: Ferreira, H.; Passaglia, L.; Fischer, R. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 752pp.
- Schluter, D. (2000). **The ecology of adaptive radiation**. Canada: Oxford University Press. 296 pp.
- Takhtajan, A. (1986). **Floristic Regions of the World**. Berkeley: California Press.
- Zunino, M.; Zullini, A. 2003. **Biogeografía**: la dimensión espacial de la evolución. México: Fondo de Cultura Económica. 359 pp.
-

5

**A biodiversidade no
território brasileiro:
a biogeografia
de ilhas e os
ecossistemas atuais**

A biodiversidade no território brasileiro: a biogeografia de ilhas e os ecossistemas atuais

A biodiversidade no território brasileiro é um assunto recorrente em todos os lugares do mundo, fato este que, não necessariamente, está relacionado com o tamanho continental de nossas terras. Podemos dizer que a biodiversidade está mais relacionada com as peculiaridades do território do que com seu tamanho, pois está concentrada em áreas muito específicas. Prova disso está na denominação de “países megadiversos”, criada pelo Centro de Monitoramento de Conservação Ambiental da ONU (Organização das Nações Unidas) e que significa “o grupo de países que abrigam grande parte das espécies da Terra, sendo extremamente diversos¹”. Dentre os 17 países megadiversos, está o Brasil, assim como também estão países bem menores como Equador, Madagascar e Congo.

Devido a esta gigantesca diversidade de Vida que temos em nosso país, é importante reconhecermos algumas diferenças perante a biodiversidade existente no mundo, uma vez que ainda temos a oportunidade de verificação. Isto é dito, pois apesar de estarmos na lista dos países megadiversos, também estamos na lista de *hotspots* (como visto no capítulo anterior) e pior ainda, estamos no topo desta lista de maiores ameaças à biodiversidade.

Verifica-se que no Brasil há formalmente delimitados seis grandes ecossistemas, que por vezes, mas não de forma correta, são chamados de biomas². Dentre esta delimitação, incluem-se as ilhas, o que pode ser desastroso em termos de similaridade de organismos, uma vez que as ilhas são nichos riquíssimos de endemismos e que possuem particularidades acentuadas quando comparadas com as áreas mais continentais, mesmo por muitas vezes, tendo se originado delas.

Que tal mergulharmos neste nosso último texto, numa leitura crítica às vistas da biogeografia, para compreendermos que tudo de especial que temos pode ser perdido pelas nossas próprias ações (mesmo que de forma não intencional, porém ignorantes)? Vamos lá?

1 Estes 17 países concentram mais de dois terços da biodiversidade total do planeta, em uma área de aproximadamente 10% da superfície da Terra. Disponível em: <<http://www.biodiversitya-z.org/content/megadiverse-countries>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

2 Biomas são áreas mais abrangentes, com classificações mais gerais que os ecossistemas.



OBJETIVOS

- Explicar a biogeografia de ilhas no contexto da construção e evolução das comunidades insulares;
- Conceituar a Teoria dos Refúgios;
- Apresentar a distribuição geográfica dos grupos de espécies no território brasileiro;
- Discutir brevemente o que é a ecologia política, com foco no Brasil.

A biogeografia de ilhas no contexto da construção e evolução das comunidades insulares e a Teoria dos Refúgios

Você já imaginou um mundo sem ilhas? Tente pensar na paisagem que vê quando está numa praia. Num geral, quando pensamos em uma praia bonita, imaginamos ilhas próximas da costa a ponto de as virmos. Mas vamos refletir: será que o significado de ilha é somente o relacionado a uma porção de terra cercada pelo mar? O que você acha?

Na biogeografia costuma-se usar a palavra “ilha” para definir algo mais que um pedaço de terra rodeado por água. Desde o ponto de vista de um peixe de água doce, um lago é uma ilha, ou seja, uma ilha habitável cercada por uma terra inóspita e, se pensarmos no ponto de vista de um besouro alpino (figura 5.1), que vive somente em grandes altitudes, como as das montanhas andinas, cada montanha é uma ilha, com áreas intransponíveis entre estas montanhas (modificado de Dawkins, 2009 – tradução nossa).



Figura 5.1 – Besouro alpino de região montanhosa.

Desta forma, uma ilha pode estar relacionada a um local específico que vivem determinadas espécies, sendo que estes organismos não possuem adaptações para transpor as barreiras que cercam esta ilha (este local). Estes espaços são importantíssimos para a Vida, pois como vimos nos capítulos anteriores, a origem de novas espécies ocorre principalmente quando há uma barreira geográfica, ou seja, quando parte de um grupo de organismos fica isolado em uma área que a outra parte do grupo também não possui acesso.

Vejamos o que comenta Dawkins (2009 – tradução nossa), em um exemplo que nos faz perceber a importância das ilhas: Imagine que toda a Terra estivesse unida, como uma Pangeia, cercada de um mar contínuo, mas sem montanhas, nem lagos, nem bacias ou depressões, sem que nada seja obstáculo para uma paisagem totalmente uniforme e contínua. Se este hipotético mundo existisse, um organismo poderia facilmente ir de um local para outro, onde seu único desafio seria percorrer distâncias. Porém, esta terra descrita provavelmente teria um número muito reduzido de espécies, o que não é ideal para a Evolução da Vida.

REFLEXÃO

Observação importante: Vamos refletir!!! Se a biodiversidade está relacionada com a Evolução das espécies, as ilhas são fundamentais neste processo.

Se pensarmos no sentido clássico de ilha, podemos classificar dois tipos: as oceânicas e as continentais. As **ilhas oceânicas** são aquelas que emergiram do fundo do mar (por uma relação de formação com atividades vulcânicas submersas) e não tiveram contato com o continente em nenhum momento, sendo que algumas delas são parte de placas litosféricas oceânicas, como é o caso de Galápagos, Hawaii; outras ilhas oceânicas estão associadas com as dorsais oceânicas, tendo os Açores como um dos exemplos. As **ilhas continentais** são aquelas que resultam da separação de massas de terra do continente, que podem ser fragmentos grandes ou pequenos e que formavam parte da margem continental em algum momento de sua história, sendo exemplos as ilhas Canárias, Malvinas, Nova Zelândia, Madagascar entre outros.

A Teoria da Insularidade é a que explica a relação da diversificação de espécies com os territórios insulares. Nesta teoria, parte-se do princípio, bastante antigo, de que há uma certa proporcionalidade entre a área de uma ilha – em todos os sentidos do termo – e o número de espécies ali existentes, sendo que vários fatores são responsáveis por esta relação (Zunino and Zullini, 2003 – tradução nossa):

- a) **Efeito de amostragem:** em qualquer território homogêneo, o número de espécies encontradas é proporcional à área explorada. Isto também está relacionado com a regra de que, quanto mais extensa a área de um determinado recurso (organismo, como exemplo uma determinada planta), maior será o número de espécies (exemplo insectos fitófagos) que a exploram;
- b) **Efeito meio ambiente:** quanto maior é uma ilha, maior é o número de ambientes diferentes e, conseqüentemente, maior o número de espécies encontradas;
- c) **Efeito populacional:** a estabilidade das populações é proporcional ao seu tamanho, pelo qual está relacionado com o tamanho da ilha. Sabe-se que quanto menor o tamanho de uma população, mais provável é de se tornar extinta, conseqüentemente, reduzindo a diversidade de Vida no local.

Para cada ilha, há um certo número de espécies que corresponde a uma condição normal de equilíbrio, segundo os autores desta teoria (MacArthur and Wilson, 1967). Os mesmos autores explicam que, os valores reais flutuam continuamente ao redor de um mesmo número, sempre estando relacionados com o tamanho da diversidade e o tamanho da ilha, embora fatores como a variedade de seu meio ambiente, o clima, as competências intra e interespecíficas, também influam no resultado geral.

No caso de ilhas jovens, ou seja, quando se trata de uma ilha oceânica de formação recente, é mais provável que muitos imigrantes tendam a se estabelecer, encontrando um ambiente praticamente desprovido de competidores (Zunino and Zullini, 2003 – tradução nossa).

Os autores também dizem que quando uma ilha já está povoada por uma fauna e flora ricas e variadas, é muito mais difícil que um imigrante possa colonizá-la, sendo que a velocidade de colonização e o número de espécies presentes estão numa relação de proporcionalidade inversa. Além disso, de uma forma similar, ocorre a velocidade de extinção que é proporcionalmente relacionada com o número de espécies presentes na ilha (quanto menor o número de espécies, menor a velocidade de extinção). Isto ocorre devido a que não há estabilidade absoluta para nenhum tipo de vida, pois a chegada de algum competidor mais efetivo ou até a mudança climática, podem provocar o desaparecimento de um grupo de organismos e/ou espécie.

Desta forma, a construção e evolução das comunidades insulares estão relacionadas a uma complexidade de fatores, que dependem não somente do meio biótico e das próprias espécies em si, mas também aqueles relacionados ao meio abiótico e a dinâmica da Terra (na construção de pontes de comunicação entre ilhas e surgimento de barreiras internas).

É importante sabermos que a biogeografia de ilhas não é a mesma coisa que a **teoria dos refúgios**. Esta última diz respeito aos padrões de biodiversidade nas florestas Atlântica e Amazônica, incluindo explicações sobre seus diversos endemismos (o que veremos no tópico a seguir). Foi proposta pelo biogeógrafo alemão Jürgen Haffer (1932 – 2010), que baseou-se nas glaciações do Pleistoceno que causaram grandes períodos de seca e impuseram um isolamento geográfico das espécies florestais, consequentemente, possibilitando um enorme aumento do número de especiações e endemismos (Haffer, 1969 – tradução nossa). O autor continua explicando que quando o período de glaciação acaba, ou seja, quando o clima úmido retorna, há uma tendência dos fragmentos continentais a se reconectarem, possibilitando com que as populações de diferentes refúgios interajam, produzindo hibridação (quando ainda não há o isolamento reprodutivo dos grupos antes isolados).

Embora esta teoria fosse uma explicação plausível para a questão da diversidade das espécies e endemismos que, ocorrem na Amazônia e Mata Atlântica, ela possui, atualmente, muitas críticas, mas ainda continua a ser aceita por grande parte da comunidade científica.

Independente das críticas, esta teoria foi importante para uma melhor compreensão da extinção dos grandes mamíferos do Pleistoceno, onde dados paleontológicos e paleopalinológicos podem ser correlacionados com as flutuações climáticas daquele tempo.

A distribuição geográfica das espécies no território brasileiro

Os estudos biogeográficos estão ligados intimamente com o estudo e a conservação da diversidade biológica. Segundo Crisci *et al.* (2003), a biogeografia, quando analisada no contexto de conservação, é um importante instrumento de descrição dos padrões de distribuição das espécies, possibilitando a identificação das áreas ricas em diversidade e endemismos, que permitem comparações da composição biológica dos diferentes locais, além de identificar as bases evolutivas e até genéticas que podem auxiliar na manutenção da biodiversidade. Desta forma, nada mais sensato que utilizar a biogeografia como ferramenta de base para entender como ocorre a distribuição das espécies no Brasil.

A classificação das áreas relacionadas à distribuição das espécies em nosso país é dada pela divisão em ecossistemas (que como já dito anteriormente também são denominados de biomas por alguns autores). Assim como falado na introdução deste capítulo, há seis ecossistemas diferentes no Brasil (conforme classificação do IBAMA, 2018), onde há uma associação inseparável da área e dos seres vivos

que ali estão em contínua e mútua interação (vide capítulo 01 deste livro). A área ocupada por um ecossistema envolve, principalmente, os fatores de luminosidade, temperatura, pressão, água, umidade do ar e salinidade.

A estrutura de um ecossistema, conforme explicam Odum & Barrett (2013), também pode ser chamada de biogeocenose e é dividida em dois componentes, os **bióticos** e os **abióticos**, sendo que os **bióticos** podem estar relacionados aos seres autotróficos, também denominados produtores ou organismos primários (que sobrevivem da energia direta do sol) e aos seres heterotróficos, também chamados de consumidores (que incluem os decompositores).

O consenso da comunidade científica apresenta os ecossistemas do Brasil como sendo os seis descritos³ a seguir (Figueiró, 2015; Fonseca *et al.*, 2010; IBGE, 2012; MMA, 2002, 2018; Odum and Barrett, 2013; Scarano and Dias, 2011; Wilson, 1997 – figura 5.2):



Figura 5.2 – Ecossistemas (biomas) do Brasil segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

3 Todos os dados apresentados nas descrições dos ecossistemas brasileiros são baseados nas informações publicadas pelo Ministério do Meio Ambiente, no último relatório da área, apresentado em forma de livro "Biodiversidade Brasileira" de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomias.html>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

a) Amazônia:

Esse ecossistema faz parte de uma grande extensão florestal da América do Sul, ocupando 60% de uma área total de mais de seis milhões de quilômetros quadrados. Somente em termos de flora fanerogâmica⁴, este ecossistema detém, aproximadamente, 21 mil espécies.

No que diz respeito aos invertebrados, constituem mais de 95% dos animais existentes ali e pertencem a aproximadamente 30 filos⁵, com uma diversificação concentrada principalmente nas copas das árvores. Um exemplo pontual está relacionado às espécies de borboletas, que dentre 7.500 descritas no mundo, somente na Amazônia há 1.800 espécies.

Em relação a ictiofauna, uma vez que a Bacia Amazônica é a maior do mundo, possui aproximadamente 1.800 espécies, com mais de 40% desse valor representado por espécies novas identificadas, mas ainda não descritas. Dentre os peixes típico deste ecossistema, encontra-se o Piracuru (*Arapaima gigas*), conhecido também como o bacalhau da Amazônia (figura 5.3).



Figura 5.3 – Pirarucu, peixe da região Amazônica.

Os anfíbios possuem registradas 163 espécies, que correspondem a 4% do número mundial e 27% das estimadas para o Brasil. Em relação aos répteis, 550 espécies são relatadas, das quais 62% são endêmicas. Dentre os vertebrados, o grupo das aves é o mais estudado, tendo mais de 1 mil espécies descritas para a região Amazônica, com 32 destas endêmicas exclusivas do local, sendo que deste

4 Plantas com flores como órgãos de reprodução.

5 Mais de 70% das espécies amazônicas ainda não possuem nomes científicos.

total, 15 são ameaçadas de extinção e 11 potencialmente ameaçadas, conforme o “Livro Vermelho” do IBAMA.

Em relação aos mamíferos, a Amazônia possui uma fauna riquíssima, detendo 311 espécies de um total de 502⁶ representadas em todo o Brasil. Somente no que diz respeito aos primatas (figura 5.4), há registros de 57 espécies.



Figura 5.4 – Uacari (*Cacajao calvus*), primata endêmico da Amazônia.

A Amazônia (figura 5.5) é subdivida em 23 ecorregiões, que cobrem uma área de aproximadamente 48% do território brasileiro em 4.105.401 quilômetros quadrados que representam diversos *habitats*, com fisionomias diferenciadas, assim como estruturas e tipos de vegetação muito diversas. Esta diversidade é composta, principalmente, por florestas densas de terra firme, florestas estacionais, florestas de igapó, campos alagados, várzeas, savanas e refúgios montanhosos e, em termos de clima, está relacionada ao equatorial úmido (com muitas chuvas e quente).

6 Dado de 2002 do MMA, já alterado, mas ainda não divulgado.



Figura 5.5 – Paisagem típica da floresta Amazônica.

Este ecossistema possui 30 Unidades de Conservação, embora este número não cubra nem 20% da área total de todas as ecorregiões juntas.

b) Caatinga:

Este ecossistema ocupa uma área de 734.478 quilômetros quadrados e é exclusivamente brasileiro, não sendo observado em outros locais do mundo, sendo devido a isto também denominado de bioma. Possui uma vegetação muito diversificada, incluindo outros 12 ambientes semi-áridos associados, o que permite um registro de 932 espécies vegetais, sendo que destas, 380 são endêmicas e, além disso, os endemismos encontrados na Caatinga ultrapassam o nível de espécie, tendo 20 gêneros endêmicos de plantas.

No que diz respeito aos invertebrados, devido a grande diversidade de ambientes da Caatinga, se infere que este tipo de fauna deve ser muito rica e com espécies endêmicas, porém, como não há estudos concluintes e o conhecimento é superficial do assunto, não se pode falar em dados. O que se sabe ao certo é que, dentre os grupos mais conhecidos - as abelhas, formigas e cupins -, há endemismos e espécies raras, mas sem também quantificações.

Em relação a ictiofauna, que até então pensava-se que era pobre devido a forte relação da Caatinga com a semi-aridez e a maior parte de seus rios serem “temporários”, possui 185 espécies de peixes distribuídas em 100 gêneros, sendo que 57% dos registros de espécies indicam endemismo. Como exemplo, temos a família *Rivulidae*, que é encontrada na parte do rio São Francisco relacionada a este ecossistema.

Os anfíbios possuem registradas 49 espécies e os répteis possuem 117, sendo 15% da fauna reptiliana e de anfíbios endêmica. Apenas uma espécie endêmica é considerada oficialmente ameaçada de extinção, que é a do jacaré-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris* – figura 5.6), embora estudos mais concluintes precisem ser feitos neste ecossistema sobre este tipo de fauna.



Figura 5.6 – Jacaré-do-papo-amarelo e tartarugas da caatinga no zoológico de São Paulo.

No que diz respeito às aves, mesmo sendo um dos registros mais completos, ainda possui muitas lacunas, o que leva o número de 348 espécies registradas na Caatinga a ser questionado. O que se sabe é que dentre este número de espécies, há 15 endêmicas. Estão na lista vermelha do IBAMA o número de 20 espécies ameaçadas de extinção, sendo duas delas as mais ameaçadas em todo o mundo: a ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii* – figura 5.7) e a arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*).



Figura 5.7 – Ararinha-azul da Caatinga.

Em relação aos mamíferos, embora reconhecida como depauperada, possui 148 espécies com o reconhecimento de 10 endêmicas. Estão incluídas na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção 10 espécies, sendo que este número também precisa de maiores confirmações, uma vez que a Caatinga é um dos ecossistemas mais alterados por atividades antrópicas dentre todos os outros. Um exemplo de mamífero característico deste ecossistema é o mocó (*Kerodon rupestres* – figura 5.8), encontrado somente nas formações vegetais mais abertas da Caatinga.



Figura 5.8 – Mocó da Caatinga (*Kerodon rupestres*).

A Caatinga (figura 5.9) possui cerca de 7% do total de seu território sob a forma de unidades de conservação e menos de 1% em unidades de proteção integral (e.g. Estações Ecológicas, Parques e Reservas Biológicas) e, segundo o próprio Ministério do Meio Ambiente (Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/iniciativas-de-conserva%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 30 ago. 2018) “ Estas unidades, no entanto, têm sérios problemas de implementação, pois, de fato, têm que lidar com diversos problemas relacionados com a proteção da sua biodiversidade, como caça, fogo, desmatamento e tráfico de animais silvestres”.



Figura 5.9 – Paisagem típica da Caatinga.

c) Cerrado:

Este ecossistema está relacionado a uma paisagem do tipo savana tropical, localizado no Brasil Central e com uma área de aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados. Em termos de fisionomia (figura 5.10), está tipicamente relacionado a uma formação mais aberta de árvores com arbustos baixos em coexistência como uma camada de gramíneas rasteiras.



Figura 5.10 – Paisagem típica do Cerrado.

Assim como também ocorre com a Caatinga, há a impressão errônea de que o Cerrado é um ecossistema pobre em Vida, o que não faz jus à realidade. Esse ecossistema é uma das maiores biodiversidades do planeta, além de ter uma extensão de mais de 25% do território do Brasil. Estudos preliminares demonstram que há no Cerrado mais de 6.000 espécies de árvores, sendo 40% endêmicas. Um exemplo de árvore típica deste ecossistema é o Ipê-amarelo-cascudo (*Tabebuia chrysotricha* – figura 5.11).



Figura 5.11 – O Ipê-amarelo-cascudo do Cerrado.

No que diz respeito aos invertebrados, sua representatividade em relação ao total nacional é muito grande, detendo mais de 50% de todas as espécies de borboletas e mariposas, além de possuir mais de 14.425 espécies – 47% do total do Brasil - em três ordens de insetos (*Isoptera*, *Hymenoptera* e *Lepidoptera*).

Em relação a ictiofauna, a diversidade de espécies é compartilhada com o ecossistema do Pantanal, devido ao fato de que estes ecossistemas se integram por meio dos sistemas aquáticos, onde a formação do Pantanal depende dos rios que nascem nos planaltos do Cerrado. O número de 1.200 espécies de peixes é estimado para os dois ecossistemas, embora estudos mais recentes precisem ser feitos.

Os dados existentes sobre a quantificação de espécies de anfíbios e répteis do Cerrado não são concluintes, uma vez que somente recentemente muitas espécies foram descritas e com muitas ainda para descrever. A tabela a seguir resume os dados até agora compilados.

	ANFÍBIOS	RÉPTEIS
NÚMERO DE ESPÉCIES	150*	180
NÚMERO DE ESPÉCIES ENDÊMICAS	32	20
NÚMERO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS	3	15

Figura 5.12 – Status de número de espécies de anfíbios e répteis para o Cerrado. Fonte: modificado de MMA (2002, p. 188).

*Dado atualizado pelo MMA em 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

O Cerrado possui 837 espécies de aves, sendo que 29 são endêmicas e 33 estão ameaçadas de extinção conforme a lista do IBAMA. Compartilha com o Pantanal 24% das espécies endêmicas.

Em relação aos mamíferos, este ecossistema possui 199 espécies, sendo 18 endêmicas e, das espécies que possuem ocorrência também no Pantanal (número que não foi divulgado ainda pelo MMA), 16 estão na lista das ameaçadas de extinção.

Devido a uma riqueza exuberante de seu componente biótico e da preocupante ameaça a sua biodiversidade pelas atividades antrópicas, é considerado um dos *hotspots* mundiais. Apesar disso, é o ecossistema que tem a menor área sobre proteção integral, onde somente 8,21% de seu território corresponde a unidades de conservação e, desse valor, somente menos de 3% é de efetiva proteção integral.

d) Mata Atlântica

Esse ecossistema é o exemplo real do que consideramos ser um reflexo da ocupação e exploração desordenada de recursos naturais. Dentre todos os ecossistemas do Brasil, é o que possui a maior concentração de população humana, centros urbanos e polos industriais. Devido a estes fatos, possui, atualmente, menos de 8% do total do que era há menos de 100 anos, quando dominava uma área de 1.360.000 quilômetros quadrados. Em consequência desta drástica redução em um tempo muito acelerado, a maioria dos animais e plantas ameaçadas de extinção no Brasil, se concentram na Mata Atlântica e já tem, em sua história, a extinção de sete espécies nos últimos anos. Com tudo isso, é considerada também um dos hotspots mundiais.

A Mata Atlântica (figura 5.12), é uma complexa associação de vários tipos de formações florestais (ombrófila densa, ombrófila aberta, estacional decidual e semidecidual) e outros ecossistemas associados (manguezais, campos de altitude, restingas).



Figura 5.13 – Paisagem típica da Mata Atlântica.

Apesar de toda a degradação que a Mata Atlântica tem sofrido ao longo dos últimos tempos, ela ainda é um nicho riquíssimo em termos de biodiversidade, inclusive maior que a de alguns continentes inteiros. Isso pode ser comprovado pelo número de espécies vegetais (que somente dentro do Brasil detém mais de

35% de todas as espécies existentes do grupo em relação aos outros ecossistemas), que gira em torno de 20 mil, contra 17 mil de toda a América do Norte e 12,5 mil de todo o continente Europeu.

No que diz respeito aos invertebrados, o relatório do Ministério do Meio Ambiente, de 2002, afirma que: “a grande maioria das coleções de invertebrados não está catalogada nem informatizada; isso se deve a razões históricas, ao tamanho dos acervos, ao grau ainda insatisfatório de conhecimento sobre muitos grupos e à carência de pessoal e equipamento” (p. 226) e até a presente data, a página oficial do ministério não fornece informações a respeito deste grande grupo de seres vivos habitantes da região.

Em relação a ictiofauna, abriga 350 espécies de peixes, sendo que a área com o maior índice mapeado de endemismos é no Rio de Janeiro, especificamente nos riachos litorâneos (e curiosamente os mais degradados de todo o ecossistema). Neste cenário, uma família inteira de peixes está em perigo de extinção, a *Rivulidae*.

Os anfíbios possuem, registradas, 370 espécies, que correspondem a cerca de 65% do número nacional e 80 espécies de anfíbios anuros (pererecas, rãs e sapos) são endêmicas, incluindo famílias inteiras, como a *Brachycephalidae* (sapos – figura 5.13). No caso dos répteis, há 200 espécies reconhecidas na Mata Atlântica, o equivalente a aproximadamente 42% do número de espécies do país.



Figura 5.14 – Sapo *Brachycephalus ephippium* típico da Mata Atlântica.

Em relação aos mamíferos, esse ecossistema possui uma fauna bem representativa no país, detendo 270 espécies, o que significa que tem aproximadamente 55% das espécies de mamíferos de todo Brasil. Os endemismos do grupo giram em torno do número de 55 espécies (*e.g.* mico-leão-de-cara-preta *Leontopithecus caissara* – figura 5.14). Quanto às espécies ameaçadas de extinção, não há estudos isolados da Mata Atlântica, sendo que os dados são em conjunto com o ecossistema Pampa, tendo 38 espécies na lista do IBAMA, que correspondem principalmente aos mamíferos de grande porte.



Figura 5.15 – Mico-leão-de-cara-preta *Leontopithecus caissara*, mamífero típico da Mata Atlântica.

O grupo das aves abriga 850 espécies, sendo que 104 estão ameaçadas de extinção. Da mesma forma que ocorre com o grupo dos mamíferos quanto as espécies ameaçadas de extinção, os dados de endemismos para as aves também estão em conjunto com o ecossistema Pampa, totalizando 200 espécies.

As unidades de conservação deste ecossistema, estão apresentadas em conjunto com a delimitação das terras indígenas no mapa do Ministério do Meio Ambiente (2018), na figura 5.15.

e) Pampa

Esse ecossistema pode ser chamado por alguns autores de Campos Sulinos. Assim como também ocorre na Mata Atlântica, há uma grande concentração de centros urbanos, população humana e grandes polos industriais, o que gera, consequentemente, uma alta taxa de degradação ambiental no ecossistema. Junto com a Mata Atlântica, é responsável por mais de 70% do PIB de todo o Brasil, além de que são os dois ecossistemas que possuem as maiores extensões de solos férteis para a agricultura.

Se localiza no estado do Rio Grande do Sul, mas nem por isso é um ecossistema de pequeno porte, pois ocupa uma área de 176.496 quilômetros quadrados, o que é quase 65% do total do território do estado. É um ecossistema (figura 5.16) composto por diversos tipos de paisagens, dentre elas estão serras, planícies, morros rupestres e dentre todos os outros ecossistemas, é o único que ainda detém uma grande quantidade de campos nativos, embora também possua matas ciliares, de encosta, formações arbustivas, afloramentos rochosos entre outros.



Figura 5.17 – Paisagem típica do ecossistema Pampa.

Em termos de flora, estudos apontam para um número aproximado a 3.000 espécies de plantas, sendo mais de 450 somente do grupo das gramíneas. Uma espécie vegetal típica do Pampa é o algarrobo (*Prosopis algarobilla* – figura 5.17).

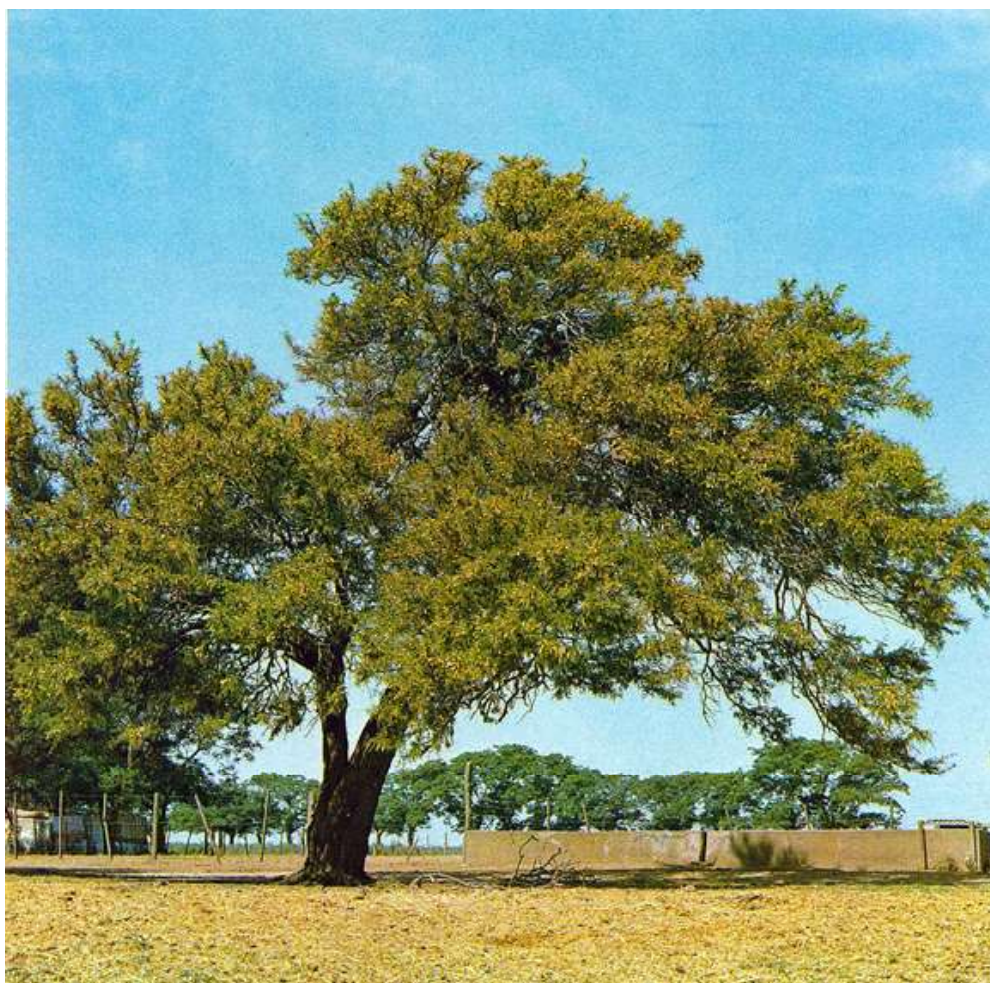


Figura 5.18 – Árvore típica do Pampa, o algarrobo (*Prosopis algarobilla*).

Embora a diversidade faunística seja representativa neste ecossistema, a avaliação dos grupos animais, em separado, ainda é incipiente e isso se deve à vários fatores, mas principalmente a sua pouca representatividade no sistema de unidades de conservação e da forte pressão exercida para a expansão da atividade pecuária na região, que já é muito grande.

Os dados disponíveis, mas ainda incompletos, demonstram que o Pampa possui quase 500 espécies de aves, 102 espécies de mamíferos terrestres. Embora em ambos os grupos ocorra endemismos, somente o dos mamíferos foram mapeados e são em número de 5 espécies. Não há dados concluintes sobre o número de espécies ameaçadas de extinção, mas se sabe que não são poucas, sendo uma delas o veado campeiro (*Ozotocerus bezoarticus* – figura 5.18).



Figura 5.19 – Veado-campeiro, mamífero endêmico da região do Pampa.

Em relação ao grupo das aves, há aproximadamente 200 espécies levantadas, com dez incluídas na lista de ameaçadas de extinção.

No que diz respeito às unidades de conservação, é o ecossistema que tem a menor representatividade no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), onde representa somente 0,4% da área continental brasileira protegida.

f) Pantanal

Este ecossistema (figura 5.19), que é a maior planície inundável do planeta, possui mais de 110.000 quilômetros quadrados, mesmo sendo o menor do Brasil, e é composto de um complexo mosaico de diferentes ambientes, que em conjunto abrigam uma riquíssima biota aquática e terrestre. É influenciado diretamente por outros ecossistemas brasileiros, o Cerrado, a Amazônia e a Mata Atlântica, tanto que muitos dados relacionados às espécies da fauna estão computados de forma conjunta (como já mencionado anteriormente nos outros ecossistemas).



Figura 5.20 – Paisagem típica do Pantanal.

A flora possui mais de duas mil espécies identificadas, sendo que muitas destas possuem potencial medicinal já descritos. Em relação a fauna, os mamíferos estão representados por 132 espécies, sendo duas endêmicas, são 263 espécies de peixes e as aves possuem 463 espécies, não havendo dados concluintes do número de endemismos para estes dois últimos grupos citados. No que diz respeito aos anfíbios e répteis, observe a tabela 5.2:

	ANFÍBIOS	RÉPTEIS
NÚMERO DE ESPÉCIES	41*	113
NÚMERO DE ESPÉCIES ENDÊMICAS	?	5
NÚMERO DE ESPÉCIES AMEAÇADAS	3	15

Tabela 5.1 – Status de número de espécies de anfíbios e répteis para o Pantanal. Fonte: modificado de MMA (2002, p. 188).

*Dado atualizado pelo MMA em 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Um fato interessante sobre o Pantanal é que ele recebe de outras regiões do Brasil espécies ameaçadas e que se tornam populações avantajadas. Um exemplo deste tipo de situação é o caso do tuiuiú (*Jabiru mycteria* - figura 5.20), a ave símbolo do Pantanal.



Figura 5.21 – Ave símbolo do Pantanal, o tuiuiú é uma das espécies com maior população no Pantanal Matogrossense.

Em relação a unidades de conservação neste ecossistema, apenas 4,6% do total de sua área é protegido, onde 2,9% em forma de proteção integral e os outros 1,7% através de unidades de conservação de uso sustentável. Devido a isso, torna-se urgente práticas conservacionistas por parte da população e maiores estudos que contribuam para o desenvolvimento de programas de ampliação deste número reduzido de unidades de conservação do Pantanal. Isto é urgente devido a possuir características muito peculiares de flora e fauna e atuar como “corredor de dispersão de espécies e de integração com outros três biomas circunjacentes e destacada importância no contexto biogeográfico neotropical” (MMA, 2002, p. 204).

Observação: Os seis ecossistemas vistos anteriormente, são continentais, mas considera-se que os ecossistemas costeiros (restingas e manguezais, principalmente) pertencem a Mata Atlântica, por isso não foram abordados em separado nesta obra.

Em teoria a ecologia política é o campo no qual se expressam as relações de poder para a prática de uma racionalidade sustentável, ou seja, é com ela que se tenta desconstruir formas de vida humana que sejam insustentáveis para nós e outros organismos que dependem de nossas atividades para sobreviver. A ideia é que através dessa política se possam ter ações sociais que visem um futuro de qualidade ambiental para todos, a partir do uso sustentado dos recursos naturais.

Por motivos alheios a nossa vontade, vemos que nos últimos anos a crise ambiental no Brasil tem se intensificado, com a desculpa da necessidade de um desenvolvimento financeiro do país, pautado por uma máscara que demonstra um progresso que na realidade não existe e que sustenta uma corrupção sem tamanho por aqueles responsáveis pelo bem comum. Neste cenário, a ecologia política não passa de um mero pretexto para se justificar as grandes somas de dinheiro retiradas dos cofres públicos em prol da elaboração de projetos ambientais que nunca saem do papel, ou quando saem, não levam aos resultados esperados a partir de seus objetivos propostos.

Isso pode ser claramente observado na descrição dos ecossistemas do tópico anterior, onde, na maioria deles, não se há dados concluintes de nossa riqueza biótica por falta de incentivo à pesquisa. Para além disso, também não se investe em conservação, pois não há o estabelecimento de unidades de conservação suficientes para se preservar a biodiversidade ameaçada na maior parte dos ecossistemas.

No entanto, ainda há esperanças, pois a ecologia política já reconhece (após muita luta) que “a manutenção dos processos ecológicos representa a base sobre a qual devem se desenvolver todos os processos produtivos” (Figueiró, 2012, p. 67). O mesmo autor ainda sugere que, como primeiro passo para se ter uma ecologia política efetivamente ativa, é necessário questionarmos o uso do conceito “recursos naturais”, o substituindo por “patrimônio natural”, onde o primeiro conceito caminha numa esteira de um processo antigo de capitalização do meio ambiente, numa lógica econômica de mercado, ainda numa visão de poder e superioridade sobre a natureza.

A partir do momento que incorporarmos a ideia de que o patrimônio natural é de todos (em termos mundiais) e de também reconhecermos nas ações de outros países a prática de modelos a serem seguidos para a conservação da natureza (mesmo daqueles que não possuem nossa riqueza biótica e abiótica), podemos nos dar por satisfeitos com a ecologia política no Brasil. Um passo bem sucedido dado

nesta direção já ocorreu, que é o reconhecimento pelo governo federal dos vários *hotspots* que temos em nosso país.

Para finalizar nosso capítulo, é importante citar que a ausência de informações precisas da biota nos ecossistemas brasileiros, incluindo nisso o grupamento humano e suas atividades, é um fator preocupante e de extrema urgência. Temos em nossas mãos a possibilidade de darmos um futuro melhor para todos, não somente para um futuro longínquo, mas também para nós mesmos. Porém, para que isso ocorra, teremos que sair da inércia e revolucionar não só a política ecológica do país, mas a política como um todo. Já temos um poderoso instrumento de mudança nas mãos, que é o conhecimento da biogeografia. Então, vamos?



ATIVIDADES

01. O que é uma área de proteção ambiental? Pesquise de quando é a lei de seu órgão regulador e se surpreenda!

02. Qual das alternativas a seguir **NÃO** está relacionada a um ecossistema continental brasileiro?

- a) Mata Atlântica
- b) Pantanal
- c) Cerrado
- d) Caatinga
- e) Estuário

03. O efeito de amostragem é um fator, dentre outros, relacionados a qual teoria?

- a) Teoria da Insularidade
- b) Teoria da Tectônica de Placas
- c) Teoria das Ilhas Oceânicas
- d) Teoria das Ilhas Continentais
- e) Teoria da Evolução

04. Das alternativas que seguem, qual preenche a lacuna da frase a seguir?

“O ecossistema _____ faz parte de uma grande extensão florestal da América do Sul, ocupando 60% de uma área total de mais de seis milhões de quilômetros quadrados. Somente em termos de flora fanerogâmica, este ecossistema detém aproximadamente 21 mil espécies.

- a) Amazônia
- b) Mata Atlântica
- c) Cerrado
- d) Caatinga
- e) Pantanal



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crisci, J.V., Katinas, L. & Posadas, P. (2003). **Historical Biogeography**: na introduction. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. 250pp.
- Figueiró, A.S. (2012). **Diversidade geo-bio-sociocultural**: a biogeografia em busca dos seus conceitos. Revista Geonorte, ed. Especial. Vol.4, n.4, p.57 – 77.
- Fonseca, M.; Lamas, I.; Kasecker, T. (2010). **O papel das Unidades de Conservação. Scientific American Brasil 39** (edição especial).
- Jürgen Haffer. (1969). Speciation in Amazonian forest birds. **Science**. vol. 165, p. 131-137.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). **Biomass Brasileiros** <<https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1465-ecossistemas.html?Itemid=101>>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- Lomolino M.V.; Riddle, B.R.; Whittaker, R.J.; Brown, J.H. (2010). **Biogeography**. 4th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- MacArthur, R.H.; Wilson, E.O. (1967). **The Theory of Island Biogeography**. New Jersey: Princeton University Press.
- Ministério do Meio Ambiente (2002). **Biodiversidade brasileira**: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/Bio5.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- Odum, E.P.; Barrett, G. W. (2013). **Fundamentos da Ecologia**. Trad.; rev.; 5. ed. Rio de Janeiro: Cengage Learning. 612 pp.
- Scarano, F. R. (2011). **Recursos naturais e manejos, ecossistemas e seus usos**. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT2/GT2_volume_completo_cap4.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2018.
- WILSON, E.O. (1997; Org.) **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Zunino, M.; Zullini, A. 2003. **Biogeografía**: la dimensión espacial de la evolución. México: Fondo de Cultura Económica. 359 pp.



GABARITO

Capítulo 1

01. O aluno deve comentar que quanto mais distante estamos, em termos de base de cladograma, maiores possibilidades de se encontrar ancestrais em comum. Uma vez que o aluno ainda não possui uma base conceitual maior de cladística é até aqui que pode chegar.
02. A – pois o que se coloca é a forma como os recursos são utilizados pelos organismos e como podem estar acessíveis, configurando a definição ecológica de nicho ecológico.
03. A – pois os dois enfoques explicados como principais em biogeografia pelo nosso texto são o sistemático-descritivo e enfoque causal.
04. B – pois a classe relacionada aos dois exemplos pedidos é Mamalia.

Capítulo 2

01. O aluno deve comentar que em todas as extinções em massa, a associação de muitos eventos é que geraram os desastres, pois eventos isolados tendem a serem muito seletivos e não dizimar grandes grupos ou muitos grupos ao mesmo tempo. Além disso, deve também ver que todas as Big Five possuem mais de um evento de extinção, devido a essas variadas causas, que nem sempre coincidiram em exato no mesmo tempo.

Os comentários referentes a divergência de informações na interpretação nos registros fósseis dizem respeito a uma série de variáveis que podem ter interferido na preservação e/ou alteração do que se é visto. O aluno deve notar também que o número de extinções em massa varia para alguns autores, uma vez que há algumas que são consideradas crises biológicas e não extinções em massa.

02. A – pois as *Big Five*, como são reconhecidas pela comunidade científica, representam cinco grandes eventos de extinção de nosso Éon.
03. C – pois foi a maior, em número de grupos afetados, de todos os tempos.
04. B – pois ele é o responsável pela Teoria da Deriva Continental, aceita somente muito tempo após sua morte.

Capítulo 3

01. O aluno deve comentar que em todas as subdivisões da biogeografia (vicariancista, pan-biogeografia, paleobiogeografia, ecobiogeografia, biogeografia histórica) há a tendência para o uso da filogenética como recurso principal nas análises de dados. Para além disso, haverá dificuldade em apontar diferenças realmente significativas entre algumas delas.

Os comentários referentes a divergência de informações pela comunidade científica dizem respeito, principalmente, a forma que cada grupo de pesquisadores analisa as informações, o que é influenciado pela sua formação e/ou uma visão mais específica da relação entre as várias áreas envolvidas para a interpretação de dados biogeográficos.

02. A – pois a vicariância é o processo que exige uma barreira para que as espécies possam se formar, em populações distantes umas das outras.

03. E – pois a extinção está relacionada a retirada da espécie da natureza, principalmente por processos catastróficos e/ou seleção natural.

04. A – pois este grupo de cientistas prega que as espécies se dispersam devido a uma barreira geográfica, mas ao longo do tempo geológico.

Capítulo 4

01.

02. E – pois não existe esta classificação para a proposta de regiões biogeográficas baseadas em flora.

03. E – pois embora este ecossistema esteja relacionado a uma área intermediária entre continente e mar, ele é classificado como bioma marinho.

04. A – pois é a denominação para áreas menores que os biomas e que podem ser estudadas com mais detalhes, tanto pelos ecólogos como pelos biogeógrafos.

Capítulo 5

01. O aluno deve comentar o conceito da área de proteção ambiental e que a lei relacionada ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que é seu órgão regulador, é a 9.985 de 18 de julho de 2000.

02. E – pois embora este ecossistema esteja relacionado a uma área intermediária entre continente e mar, ele é classificado como ecossistema marinho.

03. A – pois a quantidade da amostra analisada pode interferir numa análise global de diversidade de organismos em uma ilha.

04. A – pois o maior ecossistema do Brasil, em termos territoriais, é a Amazônia.



ANOTAÇÕES



ANOTAÇÕES



ANOTAÇÕES



ANOTAÇÕES



ANOTAÇÕES



ANOTAÇÕES