

## Princípios de Paleontologia

### **I – Introdução**

### **II – Conteúdo, objetivos e habilidades a serem desenvolvidas deste módulo**

### **III – Um pouco de geologia**

### **IV – A Geocronologia**

#### **IV.1 – Definição**

#### **IV.2 – Idade Relativa**

#### **IV.3 – Idade Absoluta**

#### **IV.4 – A História geológica do planeta**

### **V – Paleontologia e fósseis**

#### **V.1 – Definição e importância**

#### **V.2 – Estratigrafia**

#### **V.3 – Tafonomia**

##### **V.3.1 – Condições para a fossilização**

##### **V.3.2 – Processos de fossilização ou fossilização**

##### **V.3.3 – Os icnofósseis**

#### **V.4 – Origem e evolução da vida ao longo da história do planeta**

##### **V.4.1 – O Arqueano e a origem da vida**

##### **V.4.2 – O Eon Proterozóico**

##### **V.4.3 – O Eon Fanerozóico**

###### **V.4.3.1 – A Era Paleozóica**

###### **V.4.3.2 – A Era Mesozóica**

###### **V.4.3.3 – A Era Cenozóica**

#### **V.5 – As extinções**

### **VI – Conclusões**

### **VII – Referências**

## **I – Introdução**

Um homem avança pela mata fechada. Arco e flecha, porrete e lança, você logo vê que este homem pertence à pré-história. Está caçando, procurando algo para alimentar sua família, garantir sua sobrevivência.

De repente, um ruído. O caçador se esconde atrás de uma árvore. Subitamente, um rugido e eis que surge entre as árvores, um monstro quadrúpede, com pelo menos cinco metros de altura e oito de comprimento, um réptil gigantesco que rugindo com toda a força cruza a mata em velocidade e some novamente! Ao caçador resta apenas o susto e o terror.

Bela cena de filme, não é? Com certeza você viu um dos diversos filmes ou documentários sobre dinossauros, especialmente após o milagre da computação gráfica. Ou ao menos viu anúncios, propagandas e tudo o mais que empregam estes incríveis organismos. Ou viu algum desenho animado, especialmente em que seres humanos convivem com dinossauros.

Mas uma coisa... a cena descrita no começo é tremendamente errada, assim como os desenhos animados. Humanos nunca conviveram com estes répteis. Aliás, só estamos aqui, assim como as espécies que nos rodeiam, por que estes dinossauros saíram de cena.

Como nós sabemos que existiram dinossauros? Como sabemos como era a vida há incontáveis anos atrás, mesmo *antes* dos dinossauros? Por que eles não existem mais entre nós? Como isso nos afetou?

E como consigo definir tais idades? Afinal, rocha e esqueleto de dinossauro já vem com carteira de identificação?

Você vê que os dinossauros são citados aqui pois de certa forma eles são as grandes “estrelas” (incluindo no sentido cinematográfico) da vida passada. Mas há muito mais vida além dos dinossauros. Isso envolve questões tão antigas quanto ao próprio ser humano! Por exemplo, como se originou a vida? Crenças religiosas têm nessa pergunta um ponto importante em sua filosofia. Quão velho é o planeta? O tempo nos fascina, queremos saber como vai ser o futuro... e saber como era o passado... mas quão longe podemos ir ao passado?

**Atividade complementar: procure na internet, mais exatamente em sites de vídeos (como o Youtube e Google video), filmes e cenas de filmes mostrando dinossauros. Não procure documentários, mas sim os filmes, especialmente ficção científica. Verifique a existência de filmes que descrevam a cena acima.**

Você pode imaginar o seguinte: “ótimo, sei agora como era a vida no passado e como isso afetou a evolução, a definição dos ecossistemas, etc.. Mas posso utilizar isso para algo mais prático? Algo para o dia-a-dia?” Acredite, conhecer a vida nestes tempos remotos tem relação direta com uma das atividades econômicas essenciais à sociedade moderna, e da qual muito depende o nosso estilo de vida.

Todas estas questões, tantas e tão variadas, estão cobertas pelo manto de uma disciplina que pertence tanto à biologia (pois envolve a vida em suas diversas manifestações) quanto à geologia (ciência que estuda o Planeta Terra em sua história, composição, estrutura e dinâmica), e que é chamada de PALEONTOLOGIA.

Como a Paleontologia envolve a questão de se determinar a vida em tempos remotos, é importante saber o quanto remoto eram estes tempos. Isso implica em saber como podemos conseguir definir as idades dos restos destas formas de vida, das rochas (ou outros materiais) que as contêm, e como pode-se organizar a vida e a história do nosso planeta.

## II – Conteúdo, objetivos e habilidades a serem desenvolvidas deste módulo

Primeiramente será abordada a Geocronologia, ou como é possível obter as idades dos fósseis e das rochas que as contem, e como é dividida a história geológica da Terra. Depois será apresentada uma visão geral da paleontologia, sua importância, e das evidências objeto de estudo da paleontologia, que são os fósseis. No que se refere aos fósseis serão abordados os processos de formação dos fósseis e os tipos principais de fósseis. A evolução da vida, com a caracterização dos principais tipos de formas de vida que aparecem em cada período histórico do planeta.

Suas habilidades serão desenvolvidas com perguntas e atividades complementares, pesquisas bibliográficas e na internet.

Os processos de extinção são apresentados no final, sendo realçada a importância para a evolução geral.

Os objetivos são:

-determinar a importância dos fósseis na identificação dos processos evolutivos que controlaram a vida no planeta e na classificação taxonômica dos animais,

-correlacionar a idéia de que a idade da rocha pode ser definida com o tipo de fóssil,

-entender a idéia de que as mudanças físicas na superfície da Terra podem ser relacionadas com os diversos tipos de fósseis encontrados (por exemplo, saber porque é possível definir que uma região montanhosa já foi fundo de um mar).

-entender que a paleontologia pode fornecer dados de como a vida no planeta pode mudar com mudanças climáticas globais como as que vem sendo experimentadas atualmente, de como o passado pode servir de alerta para o futuro.

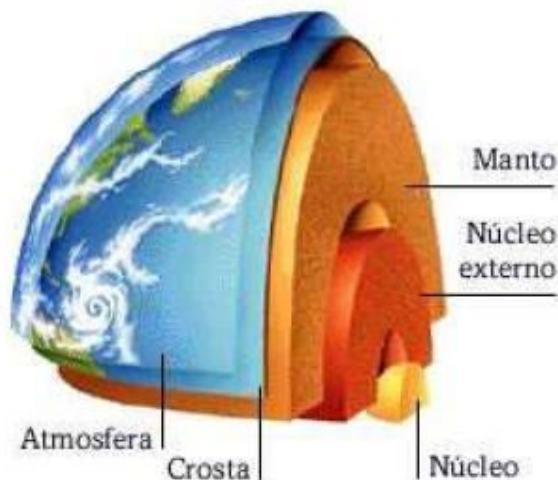
### III – Um pouco de geologia

O que faz este capítulo na apostila? Não é um texto sobre paleontologia?

A razão para se ter este capítulo se deve à necessidade de se dar algumas explicações rápidas sobre a geologia. Afinal, a paleontologia é um ramo também da geologia. E a geologia fornece parte dos fundamentos da paleontologia. Além disso, muito do que entendemos do planeta Terra se deve ao que foi descoberto graças à paleontologia.

Geologia, como descrito por Teixeira e outros autores, é o ramo da ciência que estuda o planeta Terra, em particular sua história, composição, estrutura e dinâmica (funcionamento).

A Terra é, em termos de estrutura, composto por três grandes camadas: **Crosta** (a mais externa e onde nós vivemos), **Manto** (camada intermediária) e **Núcleo** (a mais interna). Esta Crosta está em constante movimento graças a vários fatores, entre eles movimentos no Manto. O movimento da Crosta é chamado de **Tectônica de Placas**, a ela estão associados fenômenos como terremotos e vulcanismo. Também graças à Tectônica de Placas ocorre um fenômeno chamado de **Deriva Continental**, que é o constante movimento dos continentes no nosso planeta (você já ouviu alguma vez que o Brasil e a África estiveram unidos há milhões de anos atrás? ) e que modifica a geografia ao longo das eras geológicas.



Estrutura da Terra. Retirado de

[http://2.bp.blogspot.com/\\_7Z12JSoY5p4/SbP8Z2WIL4I/AAAAAAAAAGs/0cpidJeDkqE/s320/RMEstruturaDaTerra.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_7Z12JSoY5p4/SbP8Z2WIL4I/AAAAAAAAAGs/0cpidJeDkqE/s320/RMEstruturaDaTerra.jpg)

A Crosta da Terra ainda é afetada pela ação da atmosfera, das águas e da cobertura vegetal, sendo que as rochas que compõem a crosta são constantemente destruídas, formando os solos e ajudando a formar, junto com a tectônica de placas, o relevo da Terra.

A Terra é constituída de rochas, que por sua vez são constituídas de minerais. Os minerais são compostos químicos, geralmente sólidos, de origem natural e não orgânica, e que tem uma estrutura interna definida, ou seja, seus átomos estão distribuídos de forma ordeira e organizada, como cadeiras em uma sala de aula recém arrumada.

As rochas são agregados de minerais e existe três tipos básicos: as **rochas ígneas**, formadas a partir do resfriamento e endurecimento do magma (que é a rocha derretida), as **rochas sedimentares**, que são formadas pelo endurecimento de sedimentos (detritos) produzidos pela desagregação de uma rocha (através do vento e das águas, principalmente), e as **rochas metamórficas**, que são rochas formadas por transformações em uma rocha existente, através de mudanças de temperatura e pressão.

Na natureza, as melhores rochas para se procurar fósseis são as rochas sedimentares.

**Atividade complementar: conheça um pouco da geologia da região em que você vive. Quais os tipos de rochas que existem? Será que existe alguma região com rochas portando fósseis?**

## **IV – A Geocronologia**

### **IV.1 – Definição**

Quando precisamos fazer determinadas atividades rotineiras, precisamos comprovar a idade, seja a sua, seja de alguém, ou seja de algo. Vai comprar um carro usado? Verifique o documento e procure pelo campo “Ano”. Você tem o seu RG, que leva a data de nascimento. E por aí vai.

A natureza, entretanto, nem sempre apresenta um documento com o dia, mês e ano do nascimento de algo, seja ser vivo ou um objeto não-vivo. E a determinação da idade é importante, por exemplo, para se determinar quando uma espécie surgiu no nosso planeta, por quanto tempo esta espécie durou e quando ela desapareceu, ou então modificou-se até ficar parecido com o que é hoje.

Esta determinação de idade é importante até para se prever eventos futuros. Certos eventos naturais, como as temperaturas da atmosfera e o nível dos oceanos, hoje são de vital importância para se melhor compreender como o chamado efeito estufa e o aquecimento global afetam e podem afetar as nossas vidas no futuro. Quanto tempo vai demorar para estes fenômenos relacionados ao aquecimento da atmosfera causar algum tipo de problema? Elas persistem por muito tempo?

Tais características da atmosfera e dos oceanos podem ser “registradas” em rochas e em outros materiais, como no gelo ou na madeira de árvores antigas, ou no pólen e sementes que ficaram de alguma forma preservadas. E se for possível obter as idades em que aconteceram estas mudanças, podemos determinar se existem ciclos de frio ou de calor, e verificar que espécies desapareceram ou sobreviveram, assim quanto tempo durou estes períodos de calor ou frio. Com todo este conhecimento pode-se então aplicar para fenômenos futuros.

Para se conseguir estas idades você deve recorrer à um ramo da geologia que nós chamamos de GEOCRONOLOGIA. A Geocronologia, de uma forma ampla, trata

de como se determina a idade das rochas e dos eventos relacionados com a origem e evolução do planeta Terra.

## IV.2 – A Idade Relativa

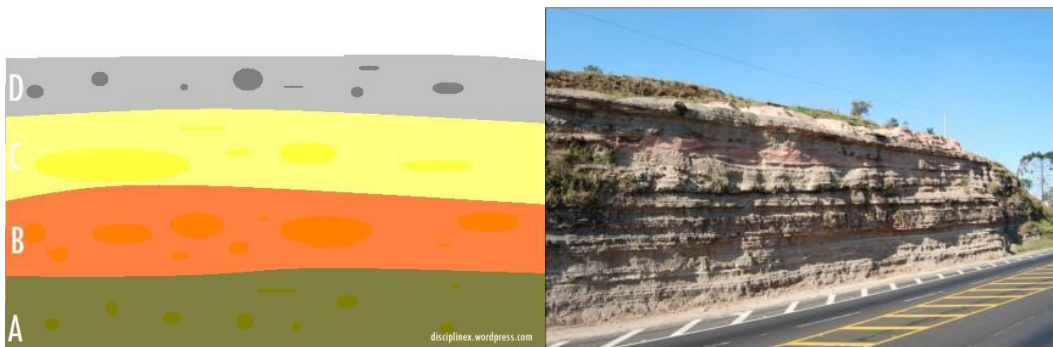
Quando você vai a uma feira de veículos usados, pode-se perceber que nem sempre se precisa de um documento para se conseguir determinar a idade de um veículo. Se, por exemplo, você vê um Fusca e um Corsa, mesmo sem conhecer estes carros anteriormente, sabe que pela diferença de desenho dos carros o Fusca é mais antigo que o Corsa. Ou então, se vai a uma escola, pode perceber, pela diferença de altura, quem é mais velho ou quem é mais novo. Mas não consegue determinar as idades reais, apenas que é “mais”: velho ou novo. E é obtido relacionando-se uma pessoa, ou um objeto, ou o que seja, com outra pessoa, objeto, etc..

Na natureza você pode empregar um método semelhante. No caso mais importante, utiliza-se o chamado **Princípio da Superposição**. Como ela funciona?

Rochas são constantemente destruídas por ação da atmosfera, ventos, animais, etc. O material destruído é transportado e assentado, formado **camadas** de detritos, ou sedimentos, que irão formar novas rochas (denominadas de **rochas sedimentares**). Estas camadas em geral são planas, exceto se forem perturbadas por movimentos na crosta (a camada mais superficial da Terra).

Veja bem: se ocorre a deposição de detrito, formando uma camada (vamos chamá-la de camada “A”), e depois vem mais material que forma uma nova camada (camada “B”) que fica em cima da camada “A”, soterrando-a. Assim, podemos afirmar que a camada “A” é mais antiga (formou primeiro) e fica abaixo da camada “B”, que se formou depois (é mais nova). Se esse processo se repete por anos e anos, você terá um verdadeiro “pacote” de camadas superpostas, uma sobre a outra, tal e qual um pacote de cartas de jogo, sendo cada carta uma camada de rocha formada a partir da deposição de certa quantidade de sedimentos. Mas haverá algo sempre presente: as camadas da parte de cima são sempre mais novas. Entre duas camadas distintas, a camada de cima é mais nova que a de baixo.

Portanto, em um conjunto de camadas planas, horizontais e paralelas de rochas, a camada de cima será sempre mais nova que a camada de baixo. Assim, é possível determinar que é a mais nova ou quem é a mais velha.



À esquerda, o Princípio da datação relativa. Neste “pacote” de camadas horizontais, planas e não perturbadas, a camada “A” é a mais antiga e a “D” é a mais nova. Imagem obtida de <http://disciplinex.wordpress.com/2008/07/14/datacao-relativa/>. À direita, exemplo real deste tipo de “pacote” (Serra do Cadeado, PR). Observe o “empilhamento” de camadas, horizontais e planas. Foto de

[http://www.unb.br/ig/sigep/propostas/Serra\\_do\\_Cadeado\\_PR\\_Fig\\_01.jpg](http://www.unb.br/ig/sigep/propostas/Serra_do_Cadeado_PR_Fig_01.jpg)

Entretanto, este princípio tem suas falhas: e se as camadas foram “viradas de cabeça para baixo”? Isso é geologicamente possível. E se estas camadas forem novamente destruídas pelas forças da atmosfera, água e tudo o mais? Aí fica no mínimo difícil determinar as idades.

Outro procedimento similar pode ser feito relacionando-se os fósseis existentes nas diversas camadas, e que estejam ocorrendo em regiões diferentes. A medida que o tempo passa, os organismos ficam cada vez mais complexos. Assim, é possível também para que você imagine qual rocha possa ser mais velha ou mais nova, bastando para isso ver a complexidade do fóssil existente. É a chamada correlação fossilífera, em que a idade da rocha é dada pelo tipo de fóssil (ou grupos de fósseis) que ele contém.

O problema deste método é que nem toda rocha tem fóssil, e as vezes uma região pode ser afetada por um evento que mate toda a vida de uma região, obrigando a recomeçar com organismos simples...

E há o problema fundamental: todos estes procedimentos só informam quem é mais novo e quem é mais velho, mas não diz o QUANTO é mais ou menos velho. Ou seja, não diz a idade em anos! É um método que relaciona uma coisa com outra. Por isso é chamado de método de Datação Relativa, e a “idade” obtida é dita ser uma idade relativa.

Embora não seja útil quanto à obtenção da idade real, este método foi útil para definir a idéia de que o planeta é muito antigo, e que os processos que mudam a superfície podem levar muitos e muitos anos. Isso é uma idéia que vem desde o século XVII, há cerca de 400 anos atrás!

### **IV.3 – A Idade Absoluta**

Você já deve estar se perguntando: afinal, é possível determinar a idade da rocha de maneira relativa, mas o mais interessante é a idade mesmo! Afinal, nós vemos notícias na mídia sobre a descoberta de um fóssil com tantos milhões de anos, etc... como é feita esta mágica?

Para que a determinação da idade seja possível é empregada uma propriedade que pode ocorrer em determinados elementos químicos e que é conhecido como radioatividade. A radioatividade é a energia emitida quando um átomo se desintegra.

Todo átomo é composto por um núcleo (composto por prótons e nêutrons) e por elétrons que orbitam, isso é, giram ao redor deste núcleo. Certos elementos (ditos elementos radioativos) têm núcleos que podem “quebrar”, formando elementos mais leves (elementos radiogênicos). Por exemplo, o átomo de urânio (elemento radioativo) “quebra” formando átomos de chumbo (elemento radiogênico), e energia (a radioatividade) é emitida nesse processo. A “velocidade” de desintegração é chamada de “meia-vida”.

Com o passar do tempo a quantidade de um dado elemento radioativo decresce, pois ele se transforma (ou desintegra) no elemento radiogênico. É como uma vela acesa: a medida que o tempo passa, ela decresce em tamanho, sendo que a cera é gasta para manter a chama acesa ou é derretida.

Quando nós desejamos determinar a idade de uma rocha que contenha um fóssil, ou do fóssil propriamente dito, nós definimos de antemão um elemento radioativo e seu respectivo elemento radiogênico (existem numerosos tipos à disposição). Através de uma análise química detalhada e demorada determinamos a quantidade de cada elemento. A lógica é esta, essencialmente: quanto maior a quantidade do elemento radioativo, menos tempo decorreu desde que a rocha foi formada, e se há muito do

elemento radiogênico, decorreu tempo suficiente para que o elemento radioativo fosse desintegrado, e assim significa que um intervalo de tempo maior passou desde a formação da rocha.

É claro que existem imprecisões e erros associados. A rocha ou a amostra pode ter sido aquecida, sofreu contaminação ou qualquer outro processo que mexeu com a sua composição química, e por isso a determinação da idade pode acabar dando em erro. Em geral, os geólogos, paleontólogos e geocronólogos procuram escolher amostras que mostrem estar tão preservadas quanto possível.

Assim, pode-se então obter a idade da rocha em anos, que é a chamada **Idade Absoluta**. Este método, mediante alguns tipos de análises, pode também ajudar a determinar quando uma rocha sofreu transformações como aquecimentos.

#### **IV.4 – A História Geológica do Planeta**

A partir dos dados geocronológicos e do registro das rochas, foi possível ter uma visão geral da história do nosso planeta. No entanto, vale lembrar uma coisa: o registro das rochas e dos fósseis não é contínuo, existindo lacunas e limites. Tais lacunas e limites dos registros está ligada a eventos que afetaram a formação das rochas e a existência dos fósseis. Estes eventos são importantes na definição da divisão da história do nosso planeta. Assim, se você divide a sua vida em infância, adolescência e maturidade, é possível também dividir a história do planeta para melhor compreender como o mesmo mudou ao longo do tempo.

Estes eventos podem ser rápidos, violentos e catastróficos, e o catastrofismo é a teoria que procura exatamente explicar as mudanças do planeta desta forma. Outra teoria propõe que as mudanças foram graduais e contínuas, e a teoria da evolução de Darwin segue esta linha de raciocínio. Atualmente admite-se uma mistura de ambas as teorias, pois certos eventos violentos podem ter causado o desaparecimento (extinção) em massa de espécies, como ocorreu com os dinossauros há 60 milhões de anos atrás.

Portanto, é com base no conteúdo de fósseis, na distribuição geográfica dos fósseis, e tipos de rochas, assim como pelas idades determinadas nas mesmas, foi possível determinar uma divisão da história do planeta.

A maior divisão da história geológica do planeta é o Eon. Pode cobrir até bilhões de anos. O Eon pode ser sub-dividido em Eras, que por sua vez são divididas em Períodos, e o Período em Épocas.

Para se ter uma idéia de como foi dividida a história da Terra, vamos ver como foram definidos os Eons.

O Eon Arqueano vai da formação do planeta há 4,6 bilhões de anos, a até a consolidação dos continentes há 2,5 bilhões de anos. O Eon Proterozóico vai desta data (2,5 bilhões de anos) a até 545 milhões de anos, quando surgem os primeiros organismos pluricelulares e inicia-se uma explosão em termos de diversidade de espécies animais nos oceanos do planeta. É quando começa o Eon Fanerozóico, e que dura até hoje. O Eon Fanerozóico é dividido em três Eras, chamadas de Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico, cada uma delas com suas características em termos de fauna, flora e aspectos geológicos do planeta. As duas primeiras destas eras encerraram-se com grandes extinções.

Mudanças biológicas, geológicas e ambientais determinam a sub-divisão destas eras e assim por diante. Nas partes seguintes deste texto você verá, em linhas gerais, as principais características de cada uma, e o que mais as marcaram.

Um ponto importante é que os valores do início e fim de cada divisão podem variar de acordo com o autor. Outro detalhe é que alguns autores ainda dividem o Eon

Arqueano em um eon ainda mais antigo (como citado por T. R. Fairchild), que é o Eon Hadeano. Este Eon se estenderia da formação do planeta até o registro geológico mais antigo, que é de 4,4 bilhões de anos.

Abaixo está indicado um quadro resumido da história do planeta, conforme citado em Teixeira *et al.* (2001).

Eon	Era	Período	Época	Anos
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	Holoceno (ou recente)	0-10 Mil anos
			Pleistoceno	10 Mil anos – 1,8 Milhões de Anos
		Neógeno	Plioceno Mioceno	24 – 1,3 Milhões de Anos
		Paleógeno	Oligoceno Eoceno Paleoceno	65-24 Milhões de Anos
	Mesozóico	Cretáceo		65-142 Milhões de Anos
			Jurássico	142-206 Milhões de Anos
			Triássico	248 – 206 Milhões de Anos
	Paleozóico	Permiano		248 – 290 Milhões de Anos
			Carbonífero	290-354 Milhões de Anos
			Devoniano	354-417 Milhões de Anos
			Siluriano	443-5417 Milhões de Anos
			Ordoviciano	495-443 Milhões de Anos
			Cambriano	545-495 Milhões de Anos



Proterozóico	2,5 Bilhões de Anos – 545 Milhões de Anos
Arqueano (Pode ainda ser sub-dividido em Eon Hadeano, que vai de 4,6 bilhões de anos a 4,4 bilhões de anos)	4,6 bilhões de anos – 2,5 Bilhões de anos

Isso é um bocado de tempo, 4 bilhões de anos! Para se ter uma idéia do que isso significa em uma escala de tempo mais familiar para nós, pode-se citar o “ano-Terra”, como citado em Teixeira *et al.*. No “ano-Terra” toda a história geológica do planeta é comprimida em apenas 365 dias. O Eon Arqueano iria do dia 1º de Janeiro até o dia 16 de Junho. O Eon Proterozóico iria deste dia até o dia 1º de Dezembro, e o Eon Fanerozóico iria deste dia até o fim do ano. A história humana cobriria apenas os últimos segundos do dia 31 de dezembro!

## V – Paleontologia e fósseis

### V.1 – Definição e importância

A Paleontologia, conforme você leu no começo desta apostila, é o ramo da geologia e da paleontologia que estuda a vida em eras passadas através do estudo de suas evidências – os FÓSSEIS.

A paleontologia não se dedica apenas a descrever os fósseis. Ela procura também entender como a vida funcionava nestas eras passadas, quais eram as relações entre os organismos e o meio físico em que eles viviam. É uma espécie de trabalho de perito policial: através das evidências – ou “pistas” – deixadas na cena do crime, um perito investigador pode determinar quando e como um crime ocorreu, e até mesmo determinar algumas características da personalidade do criminoso.

Por isso, a paleontologia está, como toda ciência que se preze, dividida em várias sub-áreas e sub-ramos. Segundo Rita Cassab, a paleontologia pode estudar a vida passada no aspecto de descrição das formas de vida, ou então estudar as leis que controlavam a vida, as relações entre as espécies, etc.. É a Paleobiologia. A Paleobotânica (estudo das plantas fósseis), Paleontologia de vertebrados e de invertebrados (estudo de animais fósseis), Micropaleontologia (estudo de organismos microscópicos fósseis) e a Paleocnologia (estudo dos registros deixados pelos organismos fósseis).

Dentro destes ramos, pode-se definir a relação entre os organismos e o seu meio físico (a Paleocologia), o estudo dos processos que levaram a preservação destes fósseis (a Tafonomia) e a classificação e organização dos organismos (Sistemática).

Já os fósseis são definidos, conforme citado por Josué C. Mendes, como restos preservados de organismos pré-históricos, também incluindo as estruturas de origem biológica deixadas por estes organismos, sejam estes animais ou vegetais, macroscópicos ou microscópicos.

No que se refere aos organismos, podem eles ser de qualquer tipo... incluem os macroscópicos como também os microscópicos. Os microscópicos, por sinal, são muito estudados por serem de ampla distribuição e relativamente abundantes.

E que estruturas são estas? São marcas deixadas pelos animais, no caso as pistas, pegadas, perfurações, escavações, marcas de repouso, coprólitos (fezes fossilizadas) e ovos.

Mas observe: se você acha o osso da coxinha de uma galinha assada, do último churrasco e da semana passada, no quintal de casa... isso já é um fóssil? É claro que não. Segundo citado novamente por Josué C. Mendes, em geral são considerados fósseis aqueles restos ou vestígios com mais de 6000 anos, embora este limite não deve ser considerado de forma rigorosa.

Assim, segundo Rita de C. T. Cassab, a paleontologia tem como finalidades principais o fornecimento de dados sobre a evolução das espécies, estimar a idade das rochas, descrever os ambientes em que os organismos viviam em eras passadas (principalmente em termos geográficos e climatológicos), entender a história geológica da Terra e contribuir para a pesquisa da ocorrência dos chamados combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural.

A paleontologia também está fortemente relacionada a um ramo da geologia que nós chamamos de estratigrafia. A estratigrafia estuda as camadas das rochas (ou estratos), suas características (tipo de rocha, idade, conteúdo de fósseis, espessura e área...) e os processos relacionados com sua formação. Por que esta relação? É que veremos a seguir

## **V.2 - Estratigrafia**

Vamos dar um exemplo: você caminha em uma dada região longe do mar, por exemplo na Serra do Araripe, no interior do estado do Ceará. De repente, olhando em uma das rochas da região, vê o esqueleto de um animal que identifica como sendo de um peixe. Oras, o mar está muito longe dali! Se usar um método de datação absoluta, vai verificar que a idade é do Cretáceo – entre 65 e 142 milhões de anos atrás.

Com isso, pode-se imaginar que neste período a região estava coberta pelo mar, e não era uma área de serras como é hoje. Assim, você já estará começando a montar um cenário possível que existia ali há milhões de anos. Junto com a geologia, que também fornece informações para a paleontologia, pode-se ainda imaginar que desde aquela época, movimentos na crosta da Terra afetaram a região, “levantando-a” para acima do nível do mar.

Os fósseis ocorrem relacionados a rochas sedimentares. O ambiente em que viveu o organismo (que deu origem ao fóssil) vai dar origem a um tipo específico de rocha. Se o ambiente muda (por exemplo, é inundado pelo mar, como no exemplo acima), a rocha muda... e o tipo de fóssil também.

Além disso, há outro ponto interessante. Você sabe que certos animais que vivem no Brasil não podem viver no pólo, por que lá é frio demais, e vice versa: o Brasil é quente demais para animais de climas frios.

Oras, é possível, em alguns casos, identificar certas características em fósseis que indicam adaptações a climas frios ou quentes, continentais ou aquáticos e assim por diante. Além disso, observando a distribuição deste fóssil, vai ser possível determinar qual o tamanho daquela região frio ou quente, continental ou oceânica, que ali existia milhões de anos atrás e que foi responsável pela presença ali daquele fóssil naquela camada de rocha.

**Atividade complementar: Você estuda um conjunto de camadas horizontais, planas e paralelas de rochas sedimentares contendo fósseis, e admite-se que elas não foram perturbadas. Você observa que na camada mais profunda há fósseis de**

**animais marinhos. Nas camadas intermediárias há fósseis de animais terrestres. Nas camadas superiores há novamente fósseis de animais marinhos. Na superfície é uma localidade no continente, acima do nível do mar. O que você poderia inferir sobre o nível do mar na região?**

Isso nos permite determinar, junto com as características das rochas, como era a forma aproximada dos acidentes geográficos (montanhas, lagos, rios) e das linhas costeiras em eras atrás, permitindo assim que sejam desenhados mapas do nosso planeta, em uma verdadeira viagem no tempo. É a paleogeografia. Quando nós utilizamos o conhecimento dos hábitos de vida do organismo, e procuramos relacionar com sua distribuição e a geografia, permitindo assim entender como um organismo ocupa uma determinada parte do planeta ao longo do tempo, temos a paleobiogeografia.

### **V.3 – Tafonomia**

Um dos grandes mistérios do estudo da vida foi como ocorreu o desaparecimento relativamente súbito de um enorme número de espécies em terra e mar em pelo menos duas épocas – há cerca de 300 milhões de anos atrás e há cerca de 60 milhões de anos. É o que se chama de extinção em massa, e algo que será explicado mais adiante.

Como isso pode acontecer? Como citado no item anterior, o que vai ser feito pelo especialista, ou paleontólogo, é estudar as evidências tal como um detetive estuda as evidências de um crime. Começa vendo, por exemplo, a distribuição no mundo de determinados tipos de fósseis, assim como tenta determinar as relações entre uns e outros e com o meio físico em que viviam, assim como a forma que seus restos estão preservados e as características da rocha em que os fósseis são encontrados.

Tudo isso é então reunido para que cada dado permita montar um grande “cenário” em que é possível entender como os organismos viviam e como era o ambiente em que habitavam, que tipo de evento ocorreu para que eles fossem mortos em tão grandes quantidades, como foi possível preservar seus restos e porque determinados restos ficaram “para contar história” nos nossos dias.

Tais informações que se procura no estudo que acabou de ser descrito é que se chama de **tafonomia**, que é, segundo Marcello G. S. M. Holz, estudo dos processos de preservações dos fósseis e de como estes processos podem afetar a informação que queremos extrair das rochas e fósseis. A tafonomia pode ser dividida em dois grandes ramos, sendo que um ramo é chamado de **bioestratinomia**, que estuda a morte, decomposição e soterramento de um organismo, e o outro ramo é a **diagênese de fósseis, ou fossildiagênese**, que trata exatamente de entender qual tipo de processo transformou os restos em fósseis.

A descrição de como o aspecto das chamadas de assembléias fósseis (grupos de fósseis, relacionados ou não) pode permitir a interpretação da vida em eras passadas é muito extensa e detalhada, de forma que deixamos claro apenas que as feições, ou aspectos, dos fósseis (como sua orientação, quantidade e qualidade, relação com as rochas) são elementos importantíssimos para dar uma boa idéia de como era a vida e de como foi a morte de um ou mais tipos de organismos.

#### **V.3.1 – Condições necessárias para a fossildiagênese**

Agora, como é possível sobrar algum tipo de resto ou resíduo de um organismo que morreu há milhares ou milhões de anos atrás?

Conforme citado por Josué C. Mendes, quando um organismo morre, sua morte pode ser causado por sua idade, ou por doença, ou então por ferimento causado por fatores não-biológicos (como ser intoxicado por gases vulcânicos), ou então por ataque de um predador.

Se você puxar pelo senso comum, saberá que um organismo, ao morrer, seus restos sofrerão um processo de decomposição, se não forem antes comidos por animais necrófagos (comedores de carniça) causado principalmente pela ação de microorganismos. Mesmo partes duras que irão sobrar, como os ossos e carapaças, podem ser depois dissolvidas por ação das águas, dos gases atmosféricos, etc..

Por exemplo, nos restos do famoso navio naufragado Titanic, milhares de metros no fundo do oceano, não há nem esqueletos das 1513 vítimas que faleceram neste pavoroso acidente em 1912. Cem anos depois, nada sobrou, mesmo no frio das profundezas. Em outros casos de naufrágios, restos mais antigos ainda puderam ser preservados de alguma forma.

Assim, você pode observar que, embora as partes duras são mais propensas a sobreviver, mesmo estes podem ser destruídos.

Neste caso, sua posterior preservação pode depender de um soterramento rápido para isolar os restos mortais de organismos necrófagos, microorganismos decompositores, das águas e dos gases atmosféricos. O ambiente também deve ser pouco oxigenado, para evitar a ação dos mesmos decompositores, ou ser livre da ação de dissolução química. Isso indica ambientes secos ou anóxidos, como fundos de lagos e oceanos. Os restos podem ainda ser transportados, por exemplo por correntes marinhas ou de rios, fazendo com que os restos se fragmentem. A tudo isso você deve considerar a natureza do próprio esqueleto ou carapaça.

### **V.3.2 – Processos de fossilização ou fossilização**

Estes restos então, uma vez em condições de não serem destruídos rapidamente, irão interagir com minerais que são transportados pelas águas que percolam o solo. De onde vêm estas águas e estes minerais? O processo, como descrito por Manuel A. Medeiros, são águas provenientes de chuvas, que acabam por interagir com as rochas após serem acidificadas por meio de ácido carbônico ou ácidos orgânicos (resultado da interação com o dióxido de carbono na atmosfera e com restos orgânicos). Esta água acidificada por sua vez “ataca” os minerais e elementos químicos das rochas, dissolvendo-os e formando soluções ricas em substâncias, principalmente o carbonato de cálcio, fosfato de cálcio, sílica e compostos de enxofre, como a pirita (o “ouro dos tolos”).

Assim, esta água rica em compostos minerais vai interagir com os restos do organismo que morreu, e a maneira como vai interagir e o tipo de material envolvido pode determinar os diversos tipos de processos de fossilização ou fossilização.

Preservação sem mudanças na composição química e composição mineral – é, segundo Josué C. Mendes, um caso não muito freqüente, relacionado a simples sobrevivência de partes duas desde seu soterramento até os dias de hoje, sem nenhuma alteração química nem mineral.

**Silicificação** – A silicificação é o preenchimento e substituição da estrutura do organismo por compostos de sílica (compostos com silício e oxigênio). Estes compostos podem ser a opala (que é uma gema, ou seja, uma pedra semipreciosa) ou o quartzo. Como, segundo Manuel Medeiros, a sílica tem uma afinidade química com compostos orgânicos em decomposição, a sílica pode substituir com perfeição as estruturas,

gerando cópias exatas até em nível celular! Como a sílica é bastante estável, é um processo que pode formar fósseis resistentes à ação do tempo.

Outro ponto interessante é que fósseis podem ser formados de opala, que como foi dito é um mineral semiprecioso e apreciado em joalheria. Neste caso, o valor do fóssil pode ir às alturas.



Madeira fossilizada por silicificação. Fonte:

<http://pdphoto.org/PictureDetail.php?mat=pdef&pg=7983>

**Minerais de ferro** – semelhante à silicificação, sendo que neste caso ocorre a precipitação e substituição das partes constituintes dos fósseis por minerais de ferro, como a pirita (um mineral formado pela combinação de ferro e enxofre e chamado de “ouro dos tolos”).

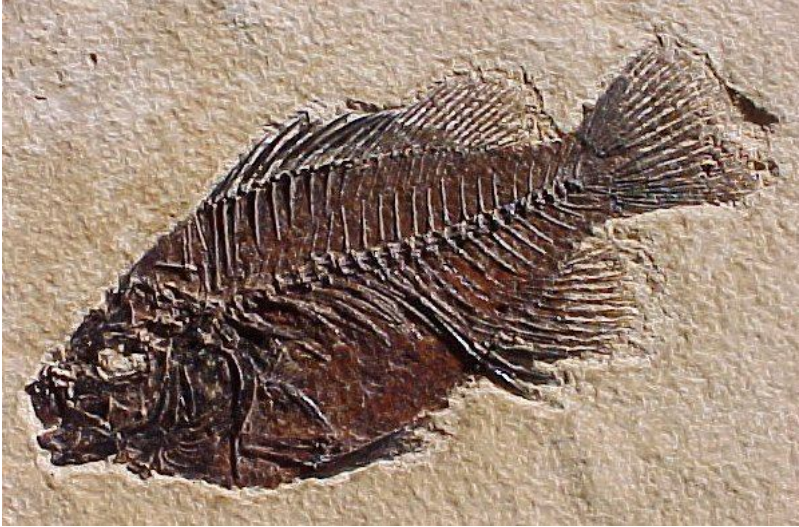
O micro ambiente onde ocorre a decomposição do organismo é pobre em oxigênio e permite ao ferro permanecer em solução, mas então (o ferro) reage com o enxofre liberado pela decomposição da matéria orgânica precipitando a pirita. Alguns fósseis assim formados são bonitos, devido ao brilho metálico e cor dourada da pirita.

**Fosfatização** – Semelhante à dos minerais de ferro e da silicificação, sendo que neste caso o material que substitui e modela as partes externas e internas do fóssil são compostos de fósforo, ou fosfatos. Útil para preservar estruturas que se decompõem muito rapidamente e em ambiente ricos em oxigênio, pois as bactérias que “comem” os tecidos podem liberar compostos de fósforo que vão preservar os tecidos do organismo morto.

**Concreções** – é um processo causado pela decomposição dos tecidos do organismo, que gera a precipitação de minerais que formam concreções protetoras a partir do próprio tecido em decomposição. Isso permite preservar, em forma mineralizada, tecidos mais moles. O material mais comum é o carbonato de cálcio, na forma do mineral calcita.

O calcário é uma rocha bem conhecida, e provavelmente você tem um contato mais comum do que imagina com esta rocha: ela é matéria-prima para o cimento, e é uma das rochas para fabricar a brita utilizada para construção civil ou em estradas não-asfaltadas.

A silicificação, minerais de ferro, fosfatização e as concreções podem ser agrupadas como sendo um processo denominado de substituição, em que de uma forma geral tem-se a substituição do material que compõe o organismo por outro.



Fóssil de peixe preservado como concreção. Idade: Paleógeno (entre 60 e 20 milhões de anos atrás). Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Priscacara-liops.jpg>

**Recristalização** – ocorre quando partes do fóssil sofrem uma reorganização das suas moléculas, sem necessariamente ocorrer dissolução e substituição. Isso acontece quando um fóssil é submetido a pressão e calor, o que pode transformar partes minerais do fóssil, constituídos, por exemplo, por carbonatos de cálcio. Em altas pressões e temperaturas o carbonato de cálcio, na forma de aragonita, pode virar um outro tipo de carbonato, a calcita. A recristalização pode ocorrer também com o fóssil formado por outros processos, como da silicificação, quando a opala se transforma em quartzo.

**Incrustação** – este processo forma películas minerais protetoras ao redor de partes do organismo. É comum com o composto carbonato de cálcio formando as películas.

**Permineralização** – processo em que há o preenchimento dos poros por minerais.

**Fossilização em ambientes estagnados** – representam os processos que ocorrem em áreas como pântanos, fundos de lagos e dos mares. Estes ambientes são formados por uma lama muito fina e penetrante, com pouca circulação de água e deficiência em oxigênio.

Quando um organismo morre em um ambiente destes, ele afunda na lama fina e demora para se decompor. Por isso a fina lama pode facilmente penetrar e modelar as partes internas do organismo. Quando a lama endurece, ela forma um molde perfeito, até mesmo dos menores detalhes, do organismo e de seu interior.

Outro processo associado a este ambiente é a **carbonificação**, também chamado de **carbonização ou destilação**, que é o mesmo processo que leva a formação do carvão mineral. Você já deve ter visto, quando vai a um churrasco, pacotes vendidos em lojas do ramo, mercados e postos de gasolina, com o carvão vegetal. Qual a semelhança do carvão vegetal com o mineral e qual a relação com o processo de fossilização?

O carvão vegetal é feito queimando-se madeira em um forno. A madeira “queima” e perde todos os seus elementos químicos no calor, exceto o carbono, ficando uma massa de carbono quase puro, o carvão vegetal. No processo de carbonização que ocorre em ambientes estagnados, o organismo soterrado na lama se decompõe muito

lentamente, de forma que vai progressivamente perdendo os elementos mais voláteis (entenda-se os que são gasosos em condições superficiais da Terra), e deixando para trás uma massa de carbono (carvão mineral), com a forma do organismo que morreu.

Este processo é importante na preservação de fósseis de organismos que não tem partes rígidas como conchas, carapaças e esqueletos internos.

**Fraturas e deformações** – o organismo, ao morrer, pode ser soterrado por processos naturais. Agora, você pode imaginar que o material que soterra o organismo vai pesar, e muito, sobre os restos. Mesmo os esqueletos podem acabar “amassados” pelo peso dos detritos e sedimentos acima dele.

Isso pode causar rachaduras nos restos, o que pode facilitar a entrada de fluidos contendo silício, ferro, fosfatos ou carbonatos de cálcio, promovendo assim a fossilização. Mas também pode atrapalhar! Imagine você tentando entender um organismo todo deformado por ter sido amassado...efetivamente a identificação de um organismo “amassado” pode ser difícil.

**Âmbar** – O âmbar é o produto do endurecimento e preservação de resinas eliminadas por árvores como os pinheiros. A resina recém saída da árvore é pegajosa e pode atrair insetos e prendê-los, ou mesmo prender folhas e partes de outras plantas trazidas pelo vento. Convém lembrar que é necessário que após aprisionar o organismo e endurecer, a resina deve ser soterrada para que possa ser protegida das chuvas, da atmosfera, etc..

O organismo é preservado em sua forma original, e como o âmbar é transparente, é possível vê-lo em sua forma tridimensional, podendo mesmo ocorrer, segundo Manuel A. Medeiros, a preservação de algumas moléculas orgânicas, mesmo partes de DNA.



Insetos em âmbar. Idade estimada entre 40 e 60 milhões de anos. Fonte:

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Insects\\_in\\_baltic\\_amber.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Insects_in_baltic_amber.jpg)

O âmbar é muito apreciado como gema (pedra semipreciosa) pela sua cor dourada, e com fósseis passa valer mais ainda. É apreciado desde a antiguidade (como indica Schumann) e ficou com mais fama ainda depois do filme “Parque dos Dinossauros” embora deva ser ressaltado que ainda não se encontraram pedaços de DNA preservados nestes restos.

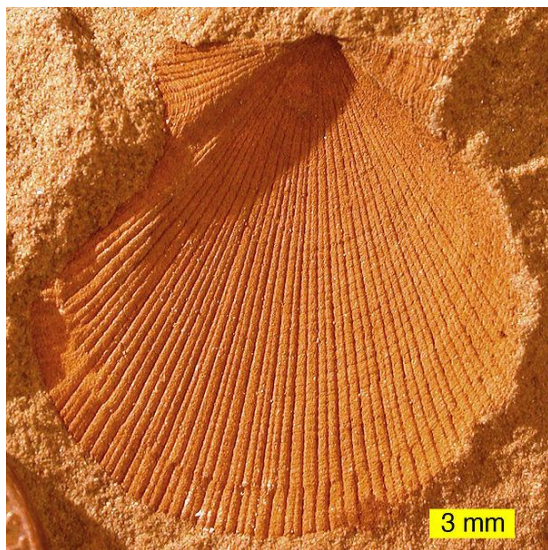
**Asfalto natural ou betume** – O asfalto natural ou betume é um material formado quando petróleo, através de fissuras nas rochas, alcança a superfície. Aí o petróleo se mistura com areia para formar o asfalto natural ou betume. Em alguns lugares do mundo especialmente em um local chamado Rancho La Brea, na Califórnia

(Estados Unidos), esta asfalto natural forma lagoas ou poços que são cobertos por uma fina folha de água das chuvas. Animais que vão aí beber água afundam e ficam presos nestes poços, e seus ossos acabam preservados pelo asfalto quando este endurece.

**Solo congelado ou permafrost** – o *permafrost* é o nome dado ao solo congelado que ocorre no norte da Rússia, Europa e América do Norte. Foram encontrados neste tipo de solo restos bem preservados de mamutes, um tipo de elefante que já é extinto. Acredita-se que estes animais afundaram na lama e ficaram congelados, sendo que o grau de preservação era extraordinário, com tecidos (pele, músculos, pêlos) quase intactos. Estes casos são mais recentes, na faixa de 10 a 6 mil anos.

**Cinzas vulcânicas** – Este processo pode ocorrer quando, perto de regiões vulcânicas, ocorre a súbita queda de fina cinza vulcânica, extremamente quente, que misturada com os gases expelidos pelo vulcão, vão matar os organismos por ação do calor, sufocamento e envenenamento por gases. As cinzas podem então formar películas protetoras ao redor dos organismos, de onde poderão ocorrer outros processos de preservação do fóssil.

**Modelagem** – Um organismo, ao ser enterrado, pode ser atacado por microorganismos decompositores e ser totalmente destruído, mas o meio que o soterrou, qual cimento, pode ter secado e endurecido, e deixa a marca do organismo que estava aí soterrado. Neste caso chamamos a este processo de modelagem, e se o vazio for preenchido por algum material, formará um contra-molde.



Molde de *Aviculopecten subcardiformis*. Cerca de 360 a 325 milhões de anos atrás. Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aviculopecten\\_subcardiformis01.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aviculopecten_subcardiformis01.JPG)

**Estromatólitos** – segundo Narendra K. Srivastava, é difícil ainda definir exatamente um estromatólito, mas de forma geral é uma estrutura, de textura e aspecto laminar (em camadas finas empilhadas) formada pelo acúmulo de detritos e sedimentos em mares rasos. Estes acúmulos ocorrem devido à presença de “tapetes” de algas e bactérias no leito marinho.

Podem ter vários formatos (como colunas e cones) e ainda se formam nos dias de hoje, em algumas praias no mundo. São importantes pois algumas das evidências mais antigas de vida são estromatólitos.

**Fósseis químicos** – é o nome dado às moléculas orgânicas (moléculas que contém carbono) que tenham algum tipo de relação com atividade biológica. Um



exemplo pode ser o petróleo, que é formado pela decomposição de microfósseis marinhos. Sua presença em uma rocha pode indicar que houve ocorrência de atividade biológica, ou seja, vida, que permitiu o acúmulo daquele composto. A matéria orgânica degradada também recebe o nome de querogênio.

**Atividade complementar: procure na sua cidade algum museu ou instituição que tenha fósseis em seu acervo. Tente imaginar que processos puderam formar aquele fóssil.**

### V.3.3 – Os icnofósseis

Há um livro clássico, chamado “Robinson Crusoe”, escrito por Daniel Defoe, em que conta a história de um marinheiro náufrago que vai parar em uma ilha que considera desabitada. Em certo momento, “dá de cara” com pegadas humanas na areia da praia, o que lhe causa enorme susto. Isso porque, reconhecendo o formato das pegadas, sabe que existem seres humanos na ilha, mesmo que ele não os tenha visto nem a qualquer produto da atividade dos mesmos.

Na paleontologia nós temos algo equivalente. São produtos da atividade de um organismo e que ficam preservadas. Não são os restos mortais, mas registros de certa forma indiretos, como uma pegada à beira-mar.

Estes produtos são os **icnofósseis**.

Mas para que servem, afinal, se são produtos da atividade?

Segundo Ismar S. Carvalho e Antonio C. S. Fernandes, os icnofósseis são úteis pois são um registro de animais de corpo mole (invertebrados) que não seriam preservados de outra forma, mostram o comportamento e atividades dos fósseis, permitem identificar certas características ambientais e climáticas em eras passadas, entre outros usos. Também têm vantagens sobre os demais tipos de fósseis pois indicam a atividade do fóssil vivo, e não do fóssil propriamente dito (que reflete a sua morte), são abundantes em certos tipos de rochas onde os outros fósseis são mais raros e ao invés dos restos mortais de um organismo, os icnofósseis ficam cada vez mais visíveis com os processos de “endurecimento” da rocha.

E quais os tipos de icnofósseis?

As **bioturbações** são escavações, túneis e pistas, provocadas pelo movimento (seja arrastando, seja andando), alimentação, descanso ou habitação. Um exemplo típico são as pegadas. De certa forma, a pegada vista por Robinson Crusoe está nesta classe.

A **bioerosão** são buracos causados pela ação de um organismo em algo duro, seja camadas de rochas duras, ou em partes duras de organismos, como furos em conchas, ossos ou madeira. Se você já viu um buraco aberto num tronco por um picapau ou por um cupim, estes são exemplos de bioerosão.

Os **coprólitos** são fezes fossilizadas. Nem sempre é fácil para nós identificarmos o responsável pela sujeira... mas mesmo assim fornece informações importantes sobre os hábitos alimentares e a presença de parasitas intestinais em organismos pré-históricos.

Outros icnofósseis incluem os **ovos fossilizados** e **ninhos**.



Foto obtida pelo professor Manfredo Winge de icnofósseis em um argilito proveniente de Santa Catarina. Idade permo-carbonífero (248-354 milhões de anos atrás). As linhas e os “pontilhados” são rastros deixados por espécies marinhas. Foto disponível em [http://www.unb.br/ig/glossario/fig/IcnoFossilTarare\\_foto0302B22.htm](http://www.unb.br/ig/glossario/fig/IcnoFossilTarare_foto0302B22.htm)

## **V.4 – A origem e evolução da vida ao longo da história do planeta**

Agora que você já viu como nós podemos determinar a idade de uma rocha, o que é paleontologia e o que são fósseis, então como é que se caracterizou a vida no nosso planeta, desde que ela surgiu? E quando ela surgiu? Como foi possível?

Nem temos respostas totalmente satisfatórias a todas estas respostas pois muito do registro fóssil está perdido, pois as atividades geológicas no planeta Terra destruíram muitas rochas que possuíam fósseis que poderiam ter nos dado alguma resposta. Porém, com o pouco que sobrou, experimentos de laboratório e até com estudos feitos em outros corpos celestes, foi possível ter uma idéia geral de como a vida surgiu e como ela evoluiu na Terra.

### **V.4.1 – O Arqueano e a origem da vida**

O Eon Arqueano se estende entre 4,6 e 4,4 bilhões de anos até aproximadamente 2,5 bilhões de anos, quando os continentes estão estabilizados na crosta da Terra. É nesse intervalo de quase dois bilhões de anos que se originou a vida no nosso planeta.

As teorias sobre a origem da vida são muitas mas podemos resumir em duas grandes teorias: a vida “importada” do espaço (ou panspermia) e a vida gerada através de reações químicas na atmosfera e nas águas da Terra primitiva.

Na teoria da panspermia, meteoritos (meteorito: corpo celeste formado de rocha, metal ou gelo que atravessa a atmosfera da Terra e atinge o solo. Se o corpo se desintegra na atmosfera, forma o meteoro) podem ter dado “carona” a microorganismos primitivos (como bactérias) ou pedaços de moléculas importantes para a vida, como o RNA e o DNA. Uma vez “instalados” na Terra primitiva, estes organismos começaram a multiplicar-se.

A outra teoria foi sugerida inicialmente por cientistas como o russo Oparin no início do século XX e desenvolvidas nas décadas seguintes. Em linhas gerais, sugere que na atmosfera da Terra, nos oceanos e em lagoas formadas pela maré alta, ocorreram reações químicas entre os compostos químicos que existiam na atmosfera da Terra primitiva, como dióxido de carbono, nitrogênio, vapor de água, metano (CH<sub>4</sub>) e amônia

(NH<sub>3</sub>). Estas reações químicas foram iniciadas graças a fontes de energia como descargas elétricas na atmosfera, calor vulcânico e o calor do próprio sol.

Com o passar do tempo, as moléculas mais simples foram combinadas formando moléculas mais complexas, que por sua vez também se combinavam para formar moléculas cada vez maiores e mais complexas, até chegar as moléculas essenciais a vida tal como nós conhecemos, como os ácidos nucleicos, lipídios, açúcares e proteínas. Acredita-se que minerais podem ter ajudado a fazer as combinações “certas” para formar estas moléculas.

Os primeiros organismos poderiam ter sido “bolhas” de lipídios ou proteínas que englobaram moléculas de ácidos nucleicos, formando assim as primeiras protobactérias. Que tipo de evidência nós encontramos destes organismos primitivos? Segundo os professores T. R. Fairchild e Paulo C. Boggiani, são moléculas orgânicas em rochas antigas, esferas de carbono, microfósseis de bactérias, estromatólitos (ver em Tafonomia) e minerais que podem ter sido acumulados devido a presença de bactérias, como o enxofre.

Quando a vida apareceu, de acordo com estas evidências? De acordo com T. R. Fairchild e P. C. Boggiani, os registros confiáveis mais antigos são de estromatólitos, microfósseis e fósseis químicos em rochas da Austrália e África do Sul com cerca de 3,5 bilhões de anos.

Como era essa vida? Ela se constituía de microorganismos unicelulares procariotos, ou seja, organismos unicelulares, microscópicos e simples (sem organelas ou núcleo), também chamadas de bactérias ou arqueobactérias (tipo de bactéria extremamente primitiva). Eram muito resistentes às condições de temperatura, radiação e química existentes naqueles tempos. Inicialmente eram heterótrofas, ou seja, tinham de tirar seus nutrientes, seu alimento, do meio, e não o produziam a partir de substâncias mais simples.

Os organismos autotróficos capazes de fazer fotossíntese vão surgir mais tarde, no fim do Arqueano, por volta de 2,7 bilhões de anos. São as bactérias verde-azuladas ou cianofíceas. O sub-produto de sua atividade, o oxigênio gasoso, começa a se acumular na atmosfera e nos oceanos da Terra.



Estromatólitos modernos, fotografados na Austrália. Autor: Ruth Ellison. Licença: [Creative Commons Atribuição 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/). Site: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Lake\\_Thetis-Stromatolites-LaRuth.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Lake_Thetis-Stromatolites-LaRuth.jpg)

Você pode imaginar que o ferro vira ferrugem por se combinar com o oxigênio da atmosfera. Fenômeno semelhante ocorreu naquela época, pois o ferro existente no meio não era oxidado, mas passou a se “enferrujar” com o oxigênio liberado pelas cianofíceas, formando grandes depósitos de ferro por todo o mundo, incluindo os

depósitos de ferro do estado de Minas Gerais, como é citado pela professora Maria L. Salgado-Laboriau.

#### **V.4.2 – O Eon Proterozóico**

Este eon começa em cerca de 2,5 bilhões de anos e termina em torno de 545 a 570 milhões de anos. Segundo a professora Maria L. Salgado-Laboriau, é marcado por grandes movimentos dos continentes e pela ocorrência de duas grandes glaciações, ou seja, períodos marcados por baixas temperaturas globais e grandes coberturas de gelo nos continentes.

No limite entre o Arqueano e o Proterozóico (há cerca de 2100 milhões de anos) ocorre o aparecimento de uma nova classe de organismos microscópicos, os eucariontes (ou eucariotos). São essencialmente organismos dotados de núcleo e organelas, ou seja, possuem divisões internas com funções específicas.

Uma possível razão para surgir este tipo de organismo é que foram formados pelo englobamento de uma bactéria por outra. A bactéria, ao invés de ser “comida”, ou digerida, foi incorporada à bactéria maior e passou a conviver dentro dela, especializando-se em uma determinada função.

Há outro ponto importante. Muitos dos eucariotos são respiradores de oxigênio. Isso nos leva a crer que quando eles pareceram já havia oxigênio bastante nos oceanos, mares e atmosfera para sustentar este tipo de organismo.

Mais para o final do Proterozóico, após uma grande glaciação, surge as primeiras algas verdadeiras, ou seja, eucariontes capazes de fazer fotossíntese.

Também é no final deste eon, há cerca de 590 milhões de anos, que surgem os primeiros organismos pluricelulares, respiradores de oxigênio e capazes de fazer reprodução sexuada. Nós chamamos estes organismos, de forma coletiva, de **fauna Ediacara**.

Mas como era esta fauna? Eram predominantemente organismos desprovidos de partes rígidas como carapaças. Como então nós sabemos como eles eram? Porque, segundo Fairchild e Boggiani, apesar de serem organismos moles, ainda permitiram a formação de moldes e contramoldes, e em alguns casos deixaram rastros no solo marinho (iconfósseis). Eram organismos predominantemente flutuantes ou presos ao fundo do mar (mais raramente se deslocavam no fundo marinho) e tinham formas variadas, como semelhantes às medusas (também as vezes chamadas de “caravelas” e “águas-vivas” que ocorrem nas praias brasileiras), ou de folhas de samambaia (embora não fossem vegetais...), ou de vermes. Para o fim do Proterozóico surgem algumas espécies dotadas de carapaças rígidas com forma de cone.



Na segunda metade do Paleozóico inicia-se um passo evolutivo importantíssimo, que é a colonização dos continentes, ou seja, a vida sai dos oceanos e vai para a terra firme, sai da água. Afinal, você, leitor, não está vivendo dentro da água! Acredita-se que isso foi possível por vários fatores, como a alta taxa de oxigênio na atmosfera e a formação de uma camada de ozônio, na atmosfera, que protegia o planeta dos perigosos raios ultravioletas solares. Outra possibilidade é que as condições climáticas eram suficientemente amenas para que isso fosse possível, pois a rotação da Terra (o dia) era em um período superior a 20 horas, e isso permitia que as tempestades fossem menos violentas, como sugere Maria L. Salgado-Laboriau..

Segundo vários autores (como Maria L. Salgado-Laboriau) isso teria ocorrido há uns 420 milhões de anos. Inicialmente eram algas, e evoluíram para musgos e depois para plantas vasculares (ou seja, aquelas dotadas de um sistema circulatório), chegando a desenvolver plantas do tipo pteridófitas (samambaias) e depois as gimnospermas (sem flores), como os pinheiros. Estes vegetais logo formaram imensas florestas que deram origem a uma parte importante do carvão dos dias de hoje (daí um dos períodos do Paleozóico ser chamado de Carbonífero), e estas florestas são típicas de climas quentes e úmidos, para que possam se desenvolver em todo o seu tamanho (você pode comparar com a floresta Amazônica, por exemplo). É interessante observar que se hoje se encontram grandes camadas de carvão, com esta idade, em países de clima mais frio ou temperado (na Europa e América do Norte, por exemplo) indica-nos que o clima destas regiões era bem mais quente no Paleozóico.



Floresta no Carbonífero. Imagem disponível em <http://www.palaeos.com/Paleozoic/Carboniferous/Carboniferous.htm>

Logo depois da “entrada” dos vegetais vasculares nos continentes também ocorre a aparição de invertebrados (como os artrópodes) adaptados para a vida fora do mar.

Dentre os animais surgem os primeiros peixes (indicando a presença dos vertebrados) em cerca de 400 milhões de anos atrás, havendo um período no Paleozóico (chamado de Devoniano) em que estes peixes apresentaram grande desenvolvimento.

Mais tarde surgem os anfíbios e répteis (380 a 350 milhões de anos), que representam o início da presença de vertebrados na superfície continental, fora das águas.

#### V.4.3.2 – A Era Mesozóica

O Mesozóico inicia-se, arredondando os números, a cerca de 250 milhões de anos e termina há 60 milhões de anos atrás, e se divide nos períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo (ver tabela). Esta era é talvez uma das eras mais “glamourosas”, pois tem uma estrela que nunca cansa de aparecer na mídia: são os dinossauros. Para muitos, talvez mesmo a você, falar de Mesozóico é falar em dinossauros. Mas o que teve nesta Era, além dos dinossauros?

Para começar, esta Era marca o início da separação das grandes massas de continentes que compõem a Pangéia. Essa separação vai posteriormente formar a configuração geográfica do mundo tal como nós conhecemos, com seus continentes e oceanos. Isso provocou ao longo do tempo grandes mudanças climáticas a todo o planeta.

Como você acabou de verificar, esta é a Era em que os dinossauros alcançaram seu grande desenvolvimento e estiveram entre as espécies dominantes no planetas. Mas é preciso deixar claro: todo dinossauro era réptil, mas nem todo réptil, mesmo os grandes, eram necessariamente dinossauros! E para se ter uma idéia de como eram grandes, basta citar o ictiossauro, com forma de golfinho e que chegava a ter 15 metros de comprimento, ponta a ponta!

Mas o que vai definir os dinossauros? Conforme se lê de vários autores, como Eliseu V. Dias, os dinossauros são descendentes de uma ordem de répteis chamados de Arcossauros, que surgem no fim do paleozóico, e os primeiros dinossauros propriamente ditos aparecem bem dentro do Mesozóico, no Período Triássico.

Eram terrestres ou voadores, sendo divididos em duas grandes ordens caracterizados pelos ossos da cintura, sendo uma denominada de “cintura de lagarto” (Saurischia) e a outra “cintura de ave” (Ornithischia). Da primeira ordem deu origem a dinossauros como o famoso *Tyrannosaurus rex*, e que evoluiria para as aves; da segunda incluiria o anquilossauro, um dinossauro blindado.



*Tyrannosaurus rex*. Foto de Mrcin Floryan. Disponível em [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Tyrannosaurus\\_model\\_at\\_NHM.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Tyrannosaurus_model_at_NHM.jpg)

Como dito acima, a ordem Saurischia deu origem às aves, que também surgem no Jurássico para o Cretáceo (do meio para o fim do Mesozóico). Os mamíferos também surgem no Mesozóico, derivados de uma linha de répteis (não relacionados com dinossauros) chamados de cinodontes.

Dentre os invertebrados, podemos citar as amonitas, um ramo de moluscos marinhos que são abundantes durante parte do Mesozóico, enquanto que nos continentes ocorre uma grande expansão dos insetos. Uma das razões para esta expansão você vai ver logo adiante: é o surgimento das plantas dotadas de flores, que promovia a expansão de organismos polinizadores, como as borboletas.

Quanto a flora, além da abundância de espécies como samambaias, coníferas (como os pinheiros) e cícadas, mas a grande novidade é a aparição das **angiospermas**, ou seja, das plantas dotadas de flores. Isso ocorre no Cretáceo, sendo que os primeiros indícios são amostras fossilizadas de pólen (já que flores são frágeis e difíceis de se preservar), mas os fósseis propriamente ditos de flores aparecem a cerca de 90 milhões de anos atrás.

Nos oceanos, há a expansão de um microorganismo chamado de diatomáceas, que é envolvido por uma carapaça de carbonato de cálcio. Os restos destes microorganismos podem formar grossas camadas, que depois de consolidadas, dão origem ao diatomito, um material que é muito útil nos dias de hoje, sendo utilizado para fazer filtros, devido a sua leveza e porosidade.

### V.4.3.3 – A Era Cenozóica

Esta é a era geológica que se estende até os nossos dias. Antigamente era dividida em Terciário e Quaternário, mas o Terciário foi re-dividido em Paleógeno (de 65 a 23 milhões de anos) e Neógeno (23 a 1,8 milhões de anos), cada um englobando um dado conjunto de épocas. Por quê? Pelos restos fósseis e dados geoquímicos, foi possível determinar que o clima do planeta era bem mais quente no Paleógeno que no Neógeno, conforme indica a professora Maria L. Salgado-Laboriau. No Neógeno, por exemplo, nós temos a ocorrência de grandes glaciações, sendo que a última terminou a cerca de 10 mil anos atrás.

Esse era geológica é marcada pelo posicionamento dos continentes na forma tal como nós conhecemos hoje, mas também é caracterizada pela formação de grandes cadeias montanhosas em todos os continentes. Essas cadeias montanhosas permitiram, entre outras coisas, a formação de “pontes” ligando os continentes e permitindo a passagem de animais de um lado para o outro.

É considerada a Era dos mamíferos e a Era das Angiospermas. Com o desaparecimento dos dinossauros e outros grandes répteis, ficou o “terreno livre” para que os mamíferos e outros animais de sangue quente (as aves) passassem por uma grande expansão, aumentando em número e complexidade.

As aves, é bom lembrar, são descendentes dos dinossauros, e durante o cenozóico chegaram a ter exemplares enormes, como a *Diatryma*, um monstro carnívoro de dois metros de altura, já extinto. Também entre os mamíferos ocorreu uma enorme diversidade de espécies, muitas extintas, como os tigres dentre-de-sabre, os mamutes e gliptodontes, um tatu gigante pré-histórico.



A mesma expansão acontece com as Angiospermas. É nesta Era também que surgem e se expande dramaticamente as gramíneas. Acredita-se que isso foi causado pelos períodos mais frios do Paleógeno, quando ocorrem grandes glaciações.

Estas glaciações teriam retido muita água, na forma de gelo, junto aos pólos, e por isso o clima ficou mais seco também. Com menos chuvas e mais frios, as florestas deram lugar à imensas pradarias. Isso forçou muitos animais a se adaptar a uma dieta de grama ou sair de uma vida de selvas e árvores. Animais onívoros (que comem tanto carne como vegetais), animais com altas taxas de reprodução, predadores capazes de cobrir grandes distâncias nos campos e animais capazes de comer capim (alimento pobre e de difícil digestão) foram os maiores beneficiados.

Acredita-se que os ancestrais dos humanos atuais teriam sido forçados a descer das árvores e desenvolver deslocamento no solo e bipedal com o resfriamento do planeta e retração das árvores. Os ancestrais mais antigos que se tem notícia, segundo Bergqvist *et al.*, teriam idade em torno de sete milhões de anos. No entanto, ainda existe muita discussão de como surgiu e evoluiu a raça humana, mas é certo que o *Homo sapiens* tem seus registros mais antigos por volta de 100 mil anos atrás.

## V.5 – As extinções

Agora que você viu como é possível ter evidências do passado e quais formas de vida (em suas linhas mais gerais) existiram no nosso planeta, agora pode-se perguntar: porque nós não temos dinossauros? Ou trilobitas? Ou pássaros gigantes carnívoros, que fariam a festa em qualquer filme de aventura? A resposta é ao mesmo tempo simples... e com um monte de complicações também: nós não temos estes animais entre nós pois eles já desapareceram, ou foram **extintos**. Assim, a extinção representa o desaparecimento de uma ou mais espécies em um dado intervalo de tempo.

Porém existem extinções e extinções. Existe a chamada **extinção filética** ou **pseudoextinção** (“falsa extinção”) em que uma dada espécie desaparece apenas porque esta evoluiu para uma espécie nova. Há a **extinção causada pela interação entre duas ou mais diferentes espécies de organismos**, em que estas disputam um mesmo recurso (água, comida ou espaço), ou uma é presa da outra, ou uma provoca algum tipo de prejuízo (como uma doença). De certa forma a ação do ser humano tem provocado extinções deste tipo.

Já as extinções em massa são as que mais atraem nosso interesse, pois elas determinaram o início e o fim de eras geológicas. Por exemplo, o fim do Paleozóico e o fim do Mesozóico foram marcadas por eventos de extinções em massa. Segundo C. L. Schultz, já é considerado por alguns como sendo extinção em massa quando acima de 10 ou 20% das espécies existentes desaparecem. Ao longo da história geológica da Terra ocorreram vários “picos” de extinção em massa, dos quais se sobressaem os já citados eventos de extinção do Paleozóico e do Mesozóico, com perdas acima de 40% das espécies existentes. O Paleozóico é um caso especial, pois pode ter atingido 75% das espécies, um verdadeiro massacre! Para se ter idéia, significa que de cada quatro espécies de organismos vivos, três não sobreviveram com a extinção do fim do Paleozóico!

Mas o que pode causar tantas e tantas perdas?

Esta é uma pergunta que existe desde que se desenvolveu a pesquisa paleontológica. São muitas as teorias, sendo que atualmente se acredita que pode ser na realidade uma combinação de vários fatores ou várias causas. Nós podemos agrupar estas causas para a extinção em dois grandes grupos: as **causas terrestres** e as **causas extraterrestres**.

As causas terrestres são relacionadas principalmente à tectônica de placas, à mudanças climáticas e a mudanças no conteúdo de sal nas águas dos mares e oceanos. Estas causas podem estar relacionadas entre si. As mudanças na posição dos continentes, na profundidade dos oceanos e a atividade vulcânica, que lançam gases na atmosfera, podem causar mudanças no clima da Terra, aquecendo-a ou esfriando-a. Outras conseqüências seriam alterações na composição da atmosfera da Terra, aumento ou redução da área dos habitats marinhos, redução de nutrientes ou envenenamento do meio ambiente.

As causas extraterrestres são associadas ao impacto de corpos celestes com o nosso planeta ou com aumento das radiações cósmicas. No primeiro caso, o impacto de um asteroide ou de um cometa com o planeta Terra poderia causar enormes danos na forma de grandes incêndios globais, nuvens de poeira que bloqueariam a luz do sol (deixando a superfície congelada por anos), enormes tsunamis e tudo o mais. É um quadro apocalíptico, tão ao gosto dos filmes de ficção, como “Impacto Profundo”. No caso das radiações cósmicas, acredita-se que a Terra pode ser periodicamente bombardeada por radiações vindas do espaço, radiações estas causadas por explosões de estrelas, por exemplo. Este excesso de radiação pode matar por destruição de células, causar câncer ou esterilidade (por isso é que os técnicos de raios-X trabalham atrás de paredes de chumbo, e os que tiram radiografias usam coletes com chumbo).

A **taxa de extinção** é a velocidade com a qual ocorre uma extinção. Segundo César L. Schultz, ainda existe alguma discussão sobre a velocidade com a qual a extinção ocorria, pois não se sabia exatamente se ela se processava lentamente ou rapidamente ao longo do tempo geológico, mas descobertas recentes indicam que a extinção em massa pode ocorrer em um tempo **geologicamente** curto (por geologicamente curto entenda-se até 8 milhões de anos, provavelmente bem menos do que isso).

Por isso, é possível que em um processo de extinção em massa, ocorra um evento importante que pode acelerar a mortandade e causar uma perda enorme de espécies em um curto espaço de tempo.

**Atividade complementar: Pesquise sobre o atual ritmo de extinções causadas por impactos ambientais causados por atividade humana. Ela poderia ser também considerada uma extinção em massa?**

## **VI – Conclusões**

A Paleontologia é uma ciência que vai muito além de uma sucessão de nomes de espécies e datas de eventos geológicos. É uma ciência extremamente dinâmica por ser multidisciplinar, pois envolve grande quantidade de dados provenientes da geologia e da biologia, e tenta montar um quadro do passado em uma verdadeira “viagem no tempo”.

Ver como as coisas funcionavam, e não apenas como eram estaticamente, é um dos objetivos da paleontologia. É como você ver uma foto, estática, e uma imagem de vídeo, com movimentos e sons. Também é ter uma visão do todo – o planeta Terra – tal como era no passado.

Além disso, estudar o passado é uma poderosa ferramenta para se entender o futuro. Como toda a biosfera terrestre pode responder a uma mudança climática como é indicada por alguns estudos recentes? Como um ecossistema pode responder a uma mudança na sua biodiversidade? Questões como estas, importantes para o futuro da humanidade, podem ter suas respostas indicadas por acontecimentos passados.

Estes acontecimentos podem estar até mesmo relacionados a grandes extinções. Pense nisso! Será que a espécie *Homo sapiens* não estará a risco também?

## VII – Referencias

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (organizadores). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 558 p.

FAIRCHILD, T.R.. Planeta Terra: Passado, Presente e Futuro. In: TEIXEIRA, W. *et al.* (orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001, p. 493-516.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H.. **Para entender a Terra**. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2006. 656 p.

CASSAB, R. C. T.. Objetivos e Princípios. In CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 3-11.

CARVALHO, I. S. (Editor). **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1. 861 p.

MENDES, J. C.. **Paleontologia Básica**. São Paulo: T. A. Queiroz / Editora Universidade de São Paulo, 1988. 347 p.

HOLZ, M. G. S. M.. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 19-45.

MEDEIROS, M. A.. Fossildiagênese. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 47 - 59.

SCHUMMAN, W.. **Gemas do mundo**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1985. 254 p.

CARVALHO, I. S. e FERNANDES, A. C. S.. Icnofósseis. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 143-169.

SRIVASTRAVA, N. K.. Estromatólitos. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 171-195.

FAIRCHILD, T. R. e BOGGIANI, P. C.. A Vida primitiva: do criptozóico (pré-cambriano) ao início do Fanerozóico. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 221-233.

SALGADO-LABORIAU, M. L.. **História ecológica da Terra**. 2ª ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1994. 307 p.

DIAS, E. V.. Répteis. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 763-816.

BERGQVIST, L. P.; ABUHID, V. S e GIUDICE, G. M. L.. Mamíferos. In:  
CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de  
Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p. 833-861.

SCHULTZ, C. L.. Extinções. In: CARVALHO, I. S.. **Paleontologia**. Rio de  
Janeiro: Ed. Interciência, 2004. Vol 1., p.115-128.