

## Tempo geológico e evolução da vida

[José Tadeu Garcia Tommaselli](#)

Para falarmos de vida sobre a Terra, temos antes que falar um pouco sobre a **biosfera**. Ela é o sistema terrestre onde ocorre toda a vida no planeta Terra e é o que torna o nosso planeta único dentre todos os demais do sistema solar. Sem nenhuma sombra de dúvida, na ótica humana, a biosfera é a característica mais marcante do nosso planeta.

O entendimento de todos os fatores que controlam os processos associados à vida é o principal esforço conjunto de todos os cientistas do mundo que estejam envolvidos com as questões geológicas, biológicas e paleontológicas. Na realidade, muitas perguntas precisam ser respondidas e muitas outras surgirão, como sempre acontece no processo científico.

As pesquisas que trabalham com esses assuntos incluem abordagens sobre o funcionamento e estabilidade dos ecossistemas do passado mais remoto da Terra, devem entender a dinâmica da biodiversidade, em escalas de tempo extremamente longas e, dentro da base de conhecimento adquirida, prever o vigor da futura biosfera. Todos esses itens estão inexoravelmente amarrados e exigem um esforço multidisciplinar de toda a gama de cientistas que trabalham com disciplinas que envolva a natureza. Esses cientistas precisam atuar em todas as escalas espaciais: micro, local, regional e global.

Considerando-se a escala de tempo antrópica, a proteção da biosfera no nosso tempo é responsabilidade que não pode ser delegada e manterá o patrimônio natural da humanidade bem como alavancará o avanço da sociedade humana, rumo a um mundo menos perverso e mais harmônico, onde o capital seja colocado a serviço do ambiente e não para explorá-lo.

A manutenção de uma ecologia global em estado saudável (ou em perfeito funcionamento) é um dos problemas mais urgentes das sociedades atuais do planeta. Não é difícil avaliar, mesmo que superficialmente, o cenário estarrecedor que pode nos ser apresentado se o sistema biosfera falhar e deixar de fornecer os elementos essenciais da humanidade: nutrição e recursos que movimentam a economia. Esse panorama aterrador já mostra seus primeiros sinais, especialmente em relação à água potável.

Os cientistas da natureza compreendem, embora de modo ainda rudimentar, os processos bióticos e abióticos (ou também ditos físico-químicos) que são o pano de fundo do cenário da evolução da

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

vida. O papel dos paleontólogos é único nesse cenário. Somente eles podem estimar os processos envolvendo a vida na biosfera, através de uma volta a um passado muito remoto, avaliar as condições do presente e, por fim, prever o futuro. Neste processo é fundamental a presença de todas as disciplinas do conhecimento humano, pois em última instância, todas dependem do ambiente e podem servir de base aos procedimentos de gestão e gerenciamento de todos os sistemas globais que sustentam a vida.

Assim, os cientistas da natureza (dentre eles os geógrafos) são responsáveis, perante a sociedade, pela avaliação espaço-temporal da biodiversidade e do vigor dos ecossistemas. Esse é um fato que justifica o espaço reservado às pesquisas sobre a biosfera, ao redor de todo o planeta; a sua relevância para o sistema mais amplo Terra-vida, ou o “lar da humanidade” e, também, por que dedicamos algum tempo a ensinar esses conceitos nesse e em outros cursos. *O papel do geógrafo é fundamental nesse processo, pois as categorias de trabalho da Geografia estão intimamente relacionadas às questões do espaço e suas dinâmicas envolvendo os aspectos sociais e do meio físico.*

#### **Definição de evolução**

O conceito de evolução pressupõe as mudanças, ou transformações, que ocorrem nos seres vivos, ao longo tempo e que podem gerar novas espécies. A evolução dos organismos vivos é processo de escala de tempo muito lenta e é, também, um processo gradual. Apenas a título de curiosidade, existem, atualmente, cerca de dois milhões de espécies catalogadas, sendo que ainda há vários locais do planeta que não foram verificados, como por exemplo, as profundezas oceânicas e os interiores mais profundos das florestas tropicais.

O melhor registro disponível sobre a evolução são os fósseis, pois eles fornecem muitas informações a respeito desse processo além de ser testemunha da presença de organismos vivos nos tempos mais remotos da Terra e que viveram sob condições ambientais bem diferentes das atuais e podem ter sido os predecessores das espécies atuais. As impressões deixadas pelos organismos em épocas passadas (pegadas, por exemplo) também fazem parte dos registros fósseis.

#### **As teorias sobre a evolução**

##### **A teoria de Lamarck**

O cientista francês Jean Baptiste de Lamarck desenvolveu uma primeira teoria da evolução ainda no século XIX. A teoria de Lamarck dizia que as influências do meio ambiente, através de suas

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

alterações, são responsáveis por mudanças estruturais nos organismos e estas são herdadas por seus descendentes. O exemplo clássico das idéias de Lamarck é o caso da girafa, que teve seu pescoço alongado, pois costumava esticá-lo constantemente para alcançar o alimento nas copas das árvores. Estas características, com o passar dos tempos, foram transmitidas para as proles subseqüentes, que também nasceram com o pescoço mais longo.

Atualmente essa teoria não tem aceitação, pois de acordo com os biólogos, há um erro fundamental: as características adquiridas não poderão ser herdadas, pois as alterações ocorridas nas células somáticas não poderão alterar as informações genéticas nas células germinativas. Em síntese, só serão transmitidas alterações para os descendentes se elas estiverem codificadas nas células germinativas, ou mais detalhadamente, na estrutura do ácido desoxirribonucléico (DNA). Se quisermos avançar mais no assunto, veremos que no atual momento do conhecimento humano, já se apregoa que o grande responsável pela evolução e pelas mutações genéticas repentinas, que criam novas espécies, é o ácido ribonucléico (RNA), que é o responsável pela “cópia” do DNA para as novas células.

#### **A teoria de Darwin**

Em 1859, o naturalista britânico Charles Robert Darwin, desenvolveu uma teoria evolutiva que é base da moderna teoria sintética: a teoria da seleção. Em seu livro "A Origem das Espécies" (do original, em inglês, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*), ele introduziu a ideia de evolução a partir de um ancestral comum, por meio de seleção natural. Esta se tornou a explicação científica dominante para a diversidade de espécies na natureza. Na idéia de Darwin os organismos melhor adaptados ao meio têm maiores chances de sobrevivência do que os outros que menos adaptados, deixando um número maior de descendentes.

Atualmente foi proclamada a teoria sintética da evolução, que engloba os conceitos sobre as idéias essenciais de Darwin e as noções mais atuais de genética. Assim, é considerada a população como unidade evolutiva, ou seja, um agrupamento de populações naturais, potencialmente inter-cruzantes e reprodutivamente isoladas de outros grupos de organismos.

#### **A biodiversidade da Terra**

Os estudos científicos feitos até os dias de hoje demonstram que a evolução da vida e da biosfera ocorreram conjuntamente e teve início já nos primórdios da formação do planeta, algo em torno

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

de 4,6 bilhões de anos atrás. Os primeiros preparos para a criação da vida começaram há 3,8 bilhões de anos, quando se iniciou o resfriamento e estabilização da crosta terrestre.

O aparecimento da vida na Terra foi precedido por um período de evolução química em que as moléculas orgânicas simples se agregaram gradualmente para formar macro-moléculas complexas, e a partir disso surgiu a primeira vida.

Em linhas gerais podemos dizer que a maior parte das espécies surgiu em qualquer uma das seguintes situações: (1) isolamento geográfico, quando há separação de sub-populações de uma espécie; (2) diversificação genética, quando há uma diferenciação progressiva do conjunto genético das sub-populações isoladas e (3) isolamento reprodutivo, quando há incapacidade de fomentar a reprodução com os demais membros da mesma espécie.

Os primeiros vestígios de vida foram algumas camadas de sedimentos capturados e aglutinados por seres unicelulares (procariotas), bactérias e cianofíceas. Estes organismos se acumularam em pilhas imensas quando eram soterrados pelas marés que provocavam mudanças na composição química da atmosfera e da superfície terrestre.

Contudo, foi somente há pouco mais de 2,7 bilhões de anos que a vida, representada pelos seus organismos vivos, passou a influir de modo significativo na atmosfera, nos oceanos e na litosfera. A vida teve origem no mar e depois da diversificação dos organismos marinhos houve a invasão do meio terrestre. Esse ambiente favoreceu o desenvolvimento, mas também colocou enormes dificuldades, gerando os processos de competição contra as adversidades do ambiente, o que proporcionou o surgimento e o desaparecimento de várias espécies, no decorrer dos milênios.

A imensa biodiversidade existente sobre a face da Terra só pode ser explicada através da evolução que ocorreu durante períodos de tempo muito longos (tão longos que são difíceis até de imaginar). A evidência da evolução dessa biodiversidade está registrada nas rochas, na forma de fósseis, com idades oscilando de milhões a bilhões de anos, de vários tipos de organismos, incluindo bactérias, algas minúsculas, plantas muito antigas e animais de um passado muito remoto.

Quando surgiram os primeiros organismos não havia nenhum oxigênio livre, como há agora, mas uma atmosfera primitiva composta, principalmente de metano (CH<sub>4</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>), e hidrogênio (H<sub>2</sub>). Estes microorganismos tinham um metabolismo baseado no metano ou no hidrogênio (sem oxigênio), ou seja, eram organismos de metabolismo anaeróbico (metabolismo sem oxigênio). Por exemplo, o processo de fermentação é anaeróbico. Os primeiros organismos eram "heterótrofos", apenas tempos depois apareceram os organismos autótrofos, ou seja, produziam a sua própria comida,

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

alimentavam-se de luz solar e produziam oxigênio a partir da *fotossíntese*. A vida continuou a existir, pois esses organismos foram fundamentais para a mudança da composição atmosférica para o padrão atual. Esses organismos eram formas primitivas de algas, similares às algas verde-azuladas atuais.

No estado atual do conhecimento científico a respeito da Terra, as evidências mais antigas de vida são fósseis de algas. Estes organismos eram capazes de produzir oxigênio livre, que não existia nos tempos anteriores a 2,7 bilhões de anos. Assim, há cerca de 2 bilhões de anos, no início do eon *proterozóico*, a atividade dessas algas gerou uma atmosfera rica em oxigênio, que foi essencial para o desenvolvimento de outras espécies.

Na realidade, as algas e bactérias foram os tipos dominantes de vida durante quase todo o *proterozóico*, por durante cerca de 2 bilhões de anos. Foi há 600 milhões de anos que apareceram os primeiros indícios de vida organizada com o surgimento de organismos multicelulares. Esses fósseis foram encontrados nas colinas Ediacara, no Sul da Austrália, e foram denominados de *fauna Ediacara*. Esse evento é o divisor entre o eon *Proterozóico* (do grego: *proteros* = que vem antes + *zoicos* = animal) e o *Fanerozóico* (do grego: *phaneros* = visível + *zoicos* = animal).

Estes organismos tinham o corpo completamente esponjoso, sem conchas ou qualquer parte mineralizada (exo-esqueleto). Alguns lembravam as medusas, outros, pequenos bastões e também alguns parecidos com minhocas ou vermes. Entretanto há muita resistência em colocá-los como base dos animais atuais e a maior parte das tentativas de classificá-los em um grupo que tivesse sido minimamente coerente foi por água abaixo. Provavelmente a maior parte dos organismos de Ediacara seja formas de vida sem descendentes conhecidos. Porém, independentemente disso, eles representam os mais antigos espécimes de vida animal multicelular, até o presente momento.

A explicação mais bem aceita pelo aparecimento repentino dos organismos de Ediacara, após dois bilhões de anos de reinado das algas, está intrinsecamente ligada à presença, em boa quantidade, de oxigênio livre na atmosfera da Terra.

A “explosão do Cambriano”, há cerca de 542 milhões de anos, é considerada a maior ruptura dos padrões da vida animal na etapa moderna do tempo geológico. É um evento marcante. Ocorre o desaparecimento dos organismos de Ediacara, há o desenvolvimento muito rápido de animais de padrão mais complexo e com estruturas similares a esqueletos e parece ter ocorrido uma aceleração do ritmo do processo de evolução. Todos esses eventos parecem ter relação direta com o surgimento dos primeiros animais escavadores (roedores) e, de modo muito mais significativo, com os predadores.

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

A aparição dos predadores, sobre a face da Terra, deu início a uma corrida evolucionária sem precedentes que, em síntese, levou a uma “corrida armamentista”, pois boa parcela dos animais predados adotou estratégias de autodefesa baseadas no uso de materiais rígidos e contundentes, como por exemplo, conchas calcárias e depois armas mais elaboradas como porretes e machadinhas, que evoluíram para o arsenal de caça dos humanos primitivos. Estes aspectos permitiram, aos organismos que deles faziam uso, operar de modo mais eficiente nas atividades que dependiam de correr, nadar (ou navegar) e outras formas de caça.

Há que se lembrar, também, que esses “equipamentos” rudimentares eram muito resistentes e a sua preservação foram fundamentais, pois forneceu aos pesquisadores do passado, muitas pistas para os estudos envolvendo aspectos de diversificação, adaptação e função da vida.

E assim alguns organismos especiais foram se desenvolvendo com o passar do tempo.

Durante o período Cambriano (de 542 a 488 milhões de anos atrás) todas as formas de vida estavam restritas aos ambientes aquáticos e, também, os primeiros organismos semelhantes aos vertebrados não apresentavam, efetivamente, esqueletos ósseos. Na realidade, somente no período Ordoviciano (período geológico posterior ao Cambriano) é que aparecem os primeiros peixes com uma blindagem óssea extremamente rígida.

A partir desse ponto, a marca referencial mais clara do processo de evolução foi a invasão da terra, feita em primeiro momento pelos vegetais, seguidas por organismos semelhantes aos atuais escorpiões e pelos milípedes (tipo de centopéia) que conquistaram as porções de terra mais próximas às águas, que normalmente eram estéreis.

Há cerca de 360 milhões de anos atrás, no final do período Devoniano, os primeiros organismos anfíbios começaram a se deslocar para terra. São esses anfíbios que deram origem aos tetrápodes modernos cuja evolução gerou linhagens de répteis, pássaros e mamíferos.

Todas as evidências geológicas atuais indicam que os mamíferos se originaram há cerca de 210 milhões de anos, ao final do período Triássico. Nesse tempo eles eram, predominantemente, animais noturnos do tamanho de ratos ou camundongos e como tinham que evitar os mais temíveis predadores, tais como os dinossauros, desenvolveram olhos, narizes e ouvidos extremamente sensíveis, assim como uma inteligência acima da normal, em função da melhoria dos processos perceptivos.

Os restos fósseis de todos esses organismos mostram a formação característica dos ecossistemas do passado e de como faziam parte da biosfera terrestre. A interação entre esses organismos e as demais componentes dos ecossistemas e da biosfera, foi fundamental para acelerar os

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

processos de evolução, mas também levou ao colapso de algumas populações e, até mesmo, ecossistemas completos.

Durante as épocas de irradiação das espécies, os processos de evolução eram mais acelerados e aumentava de forma significativa o número de novas espécies, ou seja, aumento de biodiversidade, em função da habilidade das espécies em ocupar e até mesmo criar novos nichos ecológicos. Por exemplo, durante o período entre 250 a 65 milhões de anos atrás, compreendendo os períodos geológicos do Triássico, Jurássico e Cretáceo ocorreram eventos impressionantes, principalmente em relação à expansão dos dinossauros, que se tornaram os maiores vertebrados, herbívoros ou carnívoros, que pisaram nesse planeta.

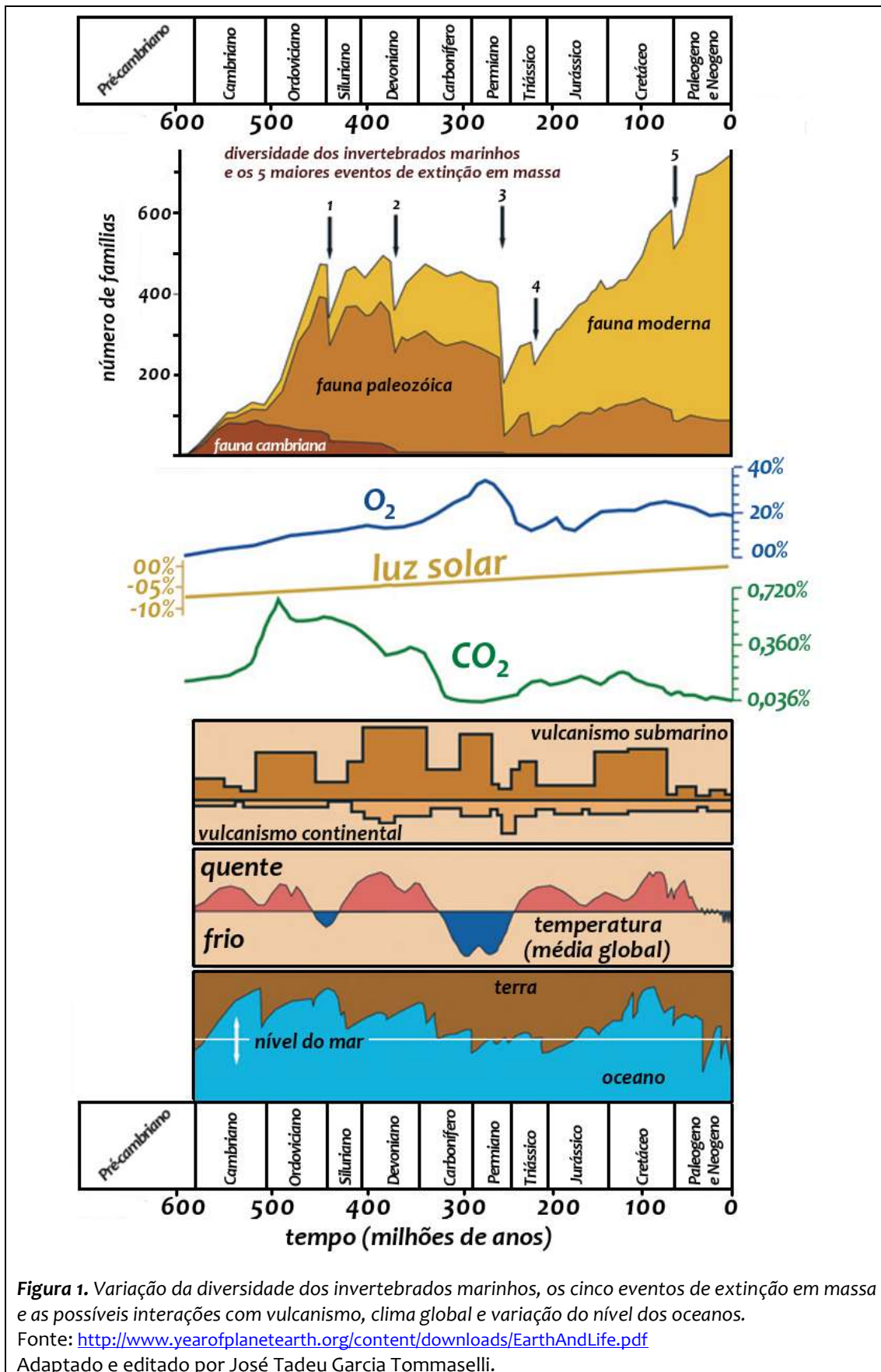
As contraposições aos tempos de expansão do número de espécies são os tempos de extinção em massa das espécies, e isso aconteceu várias vezes no período geológico da Terra. Esses *eventos de extinção em massa* (**figura 1**) restringiram de modo muito significativo a biodiversidade e, aconteceram em períodos de alguns milhares de anos apenas, o que em escala geológica é um tempo extremamente curto. Alguns desses eventos foram tão radicais que algumas espécies de plantas e animais jamais se recuperaram (o exemplo mais conhecido é a extinção dos dinossauros), mas o mais catastrófico desses eventos aconteceu há cerca de 250 milhões de anos, no final do período Permiano, quando cerca de 90 por cento das espécies marinhas e 70 por cento das espécies terrestres foram dizimadas.

Há uma concordância, em linhas gerais, sobre os períodos de extinção, entretanto há dúvidas sobre o que levou às extinções, principalmente a dos dinossauros, pois estes animais possuíam grandes dimensões e “governavam” a Terra. Uma das hipóteses mais veiculadas para explicar esta extinção é a queda de um meteorito que gerou maremotos, terremotos, incêndios e muita poeira, que obscureceram o sol, mergulhando o planeta num inverno que durou vários anos. Como os dinossauros portadores de sangue frio e necessitavam de radiação solar para elevar a sua temperatura corporal, acabaram por morrer de frio. Com esta extinção, os animais mamíferos que anteriormente não podiam evoluir devido à força de predador dos dinossauros, ocuparam o meio ambiente podendo assim evoluir livremente.

## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli



**Figura 1.** Variação da diversidade dos invertebrados marinhos, os cinco eventos de extinção em massa e as possíveis interações com vulcanismo, clima global e variação do nível dos oceanos.

Fonte: <http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/EarthAndLife.pdf>

Adaptado e editado por José Tadeu Garcia Tommaselli.



## Módulo 2 - Disciplina 3

### Tempo geológico e evolução da vida

Autor: José Tadeu Garcia Tommaselli

Os dados paleontológicos que se tem em conhecimento mostram que houveram várias extinções em massa, sendo que dez delas foram menores e mais localizadas e cinco delas foram bem mais intensas. São essas extinções que deram a tônica da história da vida na Terra, desde o seu início até a atualidade. De modo genérico, estas extinções podem ser resultado de mudanças ambientais drásticas devidas a muitos outros fatores: algumas interações mais sutis das mudanças climáticas, tectônicas das placas litosféricas, níveis globais de atividade vulcânica, alterações do nível dos oceanos, mudanças nos ciclos biogeoquímicos e impactos cataclísmicos periódicos resultantes das colisões de cometas ou meteoros contra a Terra.

Apenas para nos localizarmos, as principais extinções que aconteceram ao longo da história terrestre foram:

- no final do Cambriano, com redução de 50% das famílias animais;
- no final do Siluriano, com redução de 25% das famílias animais, incluindo os recifes;
- durante o Carbonífero (cerca de 345 milhões de anos), com redução de 30% das famílias animais, incluindo os peixes primitivos;
- em meados do Triássico (cerca de 230 milhões de anos), com redução 50% das famílias animais, incluindo 95% das espécies marinhas;
- no Jurássico (180 milhões de anos), com redução de 35% das famílias animais, incluindo muitas espécies de répteis;
- no final do Cretáceo, com extinção dos dinossauros e 50% das espécies marinhas;
- no Neogeno (há cerca de 10 mil anos), com redução de grandes mamíferos e aves.

A maioria das extinções marca o final de um período ou era geológica e, na seqüência, aparecem muitas novas espécies.

#### Referências consultadas

Press, F.; Siever, R.; Grotzinger, J.; Jordan, T. H. Para entender a Terra. Tradução Rualdo Menegat (coord). 4ª. Edição. Bookman Companhia Editora. Porto Alegre (2006) 656 p.

<http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/EarthAndLife.pdf>