

Nº 7

Para colecionar
(Destaque e guarde)

HISTÓRIA

em perspectiva

* Este caderno foi elaborado para que o educador possa evidenciar aos alunos o diálogo entre passado, presente e futuro.

GEOLOGIA E O TEMPO

Estude os meandros da história da Terra por meio dos rastros que a própria natureza deixou ao longo dos milênios

Coordenação:
Dr. Mario Alberto Cozzuol





RELÓGIO JURÁSSICO

Entenda como
funciona a escala
geológica de tempo

POR CLARISSA DE MIRANDA E SILVA
E DR. MARIO ALBERTO COZZUOL

Nosso planeta sempre fascinou diferentes povos ao redor mundo. Algumas civilizações antigas tinham uma enorme admiração pelas manifestações naturais resultantes do movimento terrestre pelo Universo, como os eclipses, e praticamente todas coordenavam a agricultura com as fases lunares. A dinâmica interna da Terra muitas vezes era representada por deuses irados que congelavam regiões, provocavam dilúvios ou que possuíam forjas nas entranhas do mundo. O fato é que eventos como alterações climáticas, variação no nível do mar e vulcanismo deixam marcas nas rochas que podem ser lidas pelos geólogos. Muitas delas são divisoras de intervalos de tempos remotos, que começaram a ser descritos no século 18. Daí nasceu a necessidade da construção de uma Escala Geológica de Tempo, que começa com a idade da formação da Terra.

Há muitos séculos especula-se a idade do planeta. Em 1549, foi publicada na Inglaterra a *Crônica do Mundo*, iniciada pelo cronista Thomas Lanquet (1521-1545) e finalizada pelo bispo Thomas Cooper (1517-1594). Dentre outras informações, ela continha um cálculo para a idade da Terra de acordo com os eventos bíblicos. Os autores somaram: quanto tempo se passou desde a Criação do Mundo até o Dilúvio, do nascimento de Abraão até o Êxodo do Egito e assim por diante, até o ano da publicação. Concluiu-se que a Terra teria exatamente 5.520 anos. No século 17, o bispo irlandês James Ussher (1581-1656) fez um cálculo semelhante e estabeleceu até a data da criação do planeta: do sábado para o domingo, em 23 de outubro de 4004 a.C. Mas esses cálculos foram refutados tempos depois, principalmente com as primeiras descrições coerentes de fósseis e estratigrafia, quando se percebeu que a Terra deveria ser mais antiga.

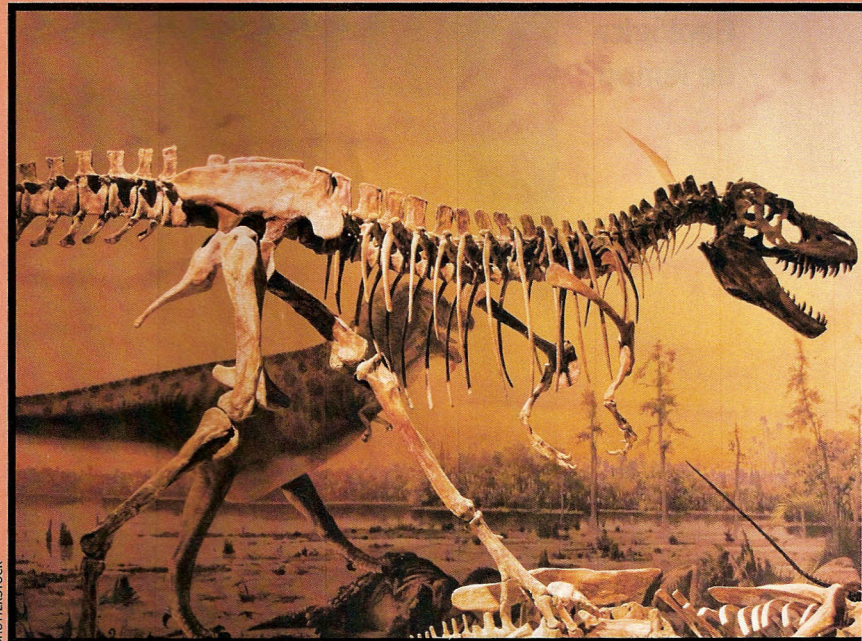
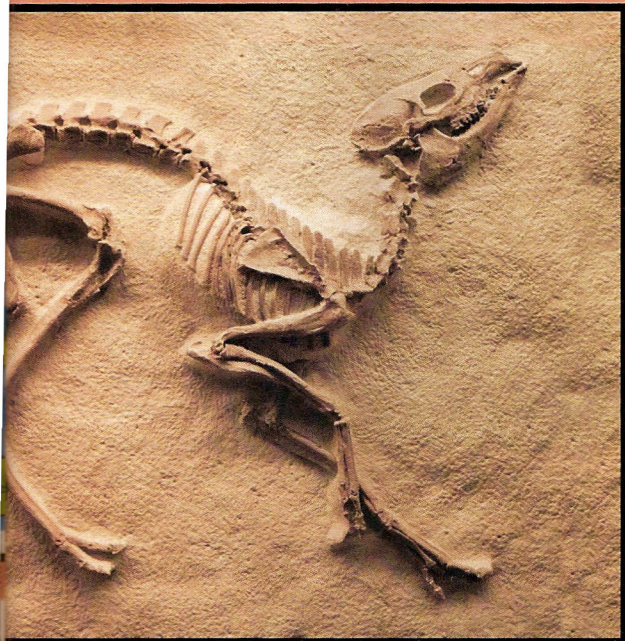


SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK

As rochas são importantes fontes de estudo sobre a idade do Planeta



OS PRIMÓRDIOS DA ESCALA GEOLÓGICA DE TEMPO

Durante os séculos 18 e 19, a Escala começou a ser esboçada. Em 1774, Giovanni Arduino (1714-1795), geólogo italiano, foi um dos primeiros a publicar uma classificação temporal para as rochas. De acordo com suas características, elas poderiam ser chamadas de Primárias ou Primitivas, Secundárias, Terciárias ou Quaternárias. No entanto, a maioria das pessoas pensou que Arduino propusera uma classificação bíblica e relacionaram as rochas Primárias com a época pouco antes do Dilúvio; as Secundárias, acreditavam, foram depositadas durante os 40 dias do Dilúvio e assim sucessivamente. Apesar desse engodo, a publicação de Arduino abriu portas e os nomes “Terciário” e “Quaternário” são oficialmente dois Períodos da Escala de Tempo atual.

Os fósseis começaram a ser utilizados como ferramentas indicativas da ordem estratigráfica das rochas em 1796, com o geólogo inglês William Smith (1769-1839). A partir de 1812, Smith começou a traçar um mapa geológico do País de Gales e da Inglaterra a partir dos fósseis presentes nas colunas estratigráficas desses locais. Apesar de o mapa ter sido publicado em 1815, somente em 1831 o trabalho de Smith foi reconhecido e ele

recebeu a primeira Medalha Wollaston, pela Sociedade Geológica de Londres.

Em 1822 foi proposto pela primeira vez um Período para a Escala Geológica. Os geólogos ingleses William Conybeare (1787-1857) e William Phillips (1775-1828), cofundador da Sociedade Geológica de Londres, deram o nome de “Carbonífero” ao estrato impregnado de carvão que estudaram na região central da Inglaterra. No mesmo ano, o geólogo belga Jean-Baptiste Julien d’Omalius d’Halloy (1783-1875) chamou as rochas de giz da Bacia de Paris de Terrain Cretace. *Cretaceus*, do latim, significa “de greda”, “composto por greda”, ou seja, giz. Este foi o nome adotado para o último Período do Mesozoico, porque muitos países europeus possuem um estrato calcário impregnado por sílica e argila, que nada mais é do que giz.

Em 1834, o geólogo alemão Friedrich August Von Alberti (1795-1878), identificou uma sequência de estratos na Alemanha Central: o Buntsandstein, o Muschkalk e o Keuper. Ele batizou esse grupo de Trias, nome latino que significa “trindade”. Mais tarde, quando estratos semelhantes foram identificados em outros locais, o nome foi adotado para um novo Período, o Triássico. *Icus*, do latim, é um átomo de referência, logo, “Triássico” é tudo aquilo que remete

É por meio de fósseis que os cientistas descobrem informações importantes para calcular o ciclo de tempo da Terra



Escala Geológica de Tempo

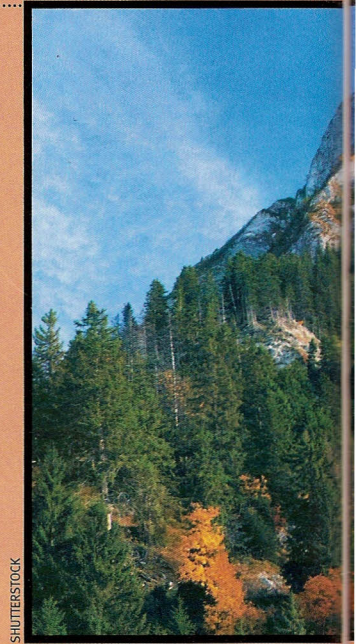
ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA		
FANEROZOICO	CENOZOICO	QUARTENÁRIO	HOLOCENO	0,01 m.a.	
			PLESTOCENO	2,6 m.a.	
		NEOGENO	PLIOCENO	5,3 m.a.	
			MIOCENO	23 m.a.	
			OLIGOCENO	33,9 m.a.	
		TERCIÁRIO	PALEOGENO	EOCENO	55,8 m.a.
				PALEOCENO	65,5 m.a.
	MESOZOICO		CRETÁCEO	145,5 m.a.	
			JURÁSSICO	201,6 m.a.	
			TRIÁSSICO	251 m.a.	
			PERMIANO	299 m.a.	
			CARBONÍFERO	359 m.a.	
			DEVONIANO	416 m.a.	
	PALEOZOICO		SILURIANO	444 m.a.	
			ORDOVICIANO	488 m.a.	
			CAMBRIANO	542 m.a.	
			PROTEROZOICO	2,5 b.a.	
			ARQUEANO	3,8 b.a.	
			HADEANO	4,55 b.a.	

ao grupo Trias. Um ano depois, o geólogo inglês Sir Roderick Impey Murchison (1792-1871) propôs um Período para a Era Paleozoica, após identificar um estrato com fósseis distintos (como trilobitas) no sul do País de Gales. Essa região foi habitada no século 1 d.C. por descendentes celtas, os silures, então Murchison batizou o Período de “Siluriano”. Adam Sedgwick (1795-1873), que trabalhou muito tempo com Murchison, sugeriu, no mesmo ano, o Período “Cambriano”, baseado em um estrato que encontrou no centro do País de Gales. *Cambria* é a latinização da palavra “Gales”. Dois anos depois os dois pesquisadores, estudando a geologia de Devonshire, Inglaterra, definiram mais um Período para a Escala, o “Devoniano”.

O segundo Período do Mesozoico, o Jurássico, deriva seu nome das Montanhas Jura, na fronteira entre a França e a Suíça. Alexander Von Humboldt (1769-1859), no final do sécu-

lo 18, chamou de Jura Kalkstein a camada de calcário que observou nas Montanhas. O geólogo francês Alexandre Brongniart (1770-1847), em 1829, deu o nome de Terrains Jurassiques à camada mais inferior de um estrato das Montanhas, mas somente em 1839 o geólogo alemão Christian Leopold Von Buch (1774-1853) formalmente batizou as rochas de “Sistema Jurássico”, o nome padronizado na Escala.

O próximo Período a ser nomeado foi o Permiano, pois em 1841, na cidade russa de Perm, nos Montes Urais, Murchison observou que um dos estratos estudados por ele continha sedimentos marinhos que não eram observados em outros estratos. Mas Murchison e Sedgwick desentenderam-se, em seguida, quanto à idade de uma das amostras do solo do País de Gales. Cada um dizia que ela pertencia ao Siluriano e ao Cambriano, respectivamente. Então, em 1879, o geólogo inglês Charles Lapworth



SHUTTERSTOCK

(1842-1920) colocou um ponto final às desavenças, criando um Período entre o Siluriano e o Cambriano. Assim nasceu o Ordoviciano (488 a 444 m.a.), que tem seu nome derivado de ordovices, um dos povos que habitaram o País de Gales antes da invasão romana.

A RADIOATIVIDADE E A PRIMEIRA ESCALA DE TEMPO

As pesquisas com radioatividade realizadas pela física polonesa Marie Curie (1867-1934) e seu marido Pierre Curie (1859-1906) contribuíram imensamente para a datação de rochas e fósseis. Eles perceberam que os materiais emitem radiação, mas alguns o fazem em quantidades relativamente mais fáceis de serem detectadas, como é o caso dos célebres Urânio 238 (U_{238}) e Césio 137 (Cs_{137}).

Átomos altamente radioativos podem levar milhões ou bilhões de anos para pararem de emitir radiação, que nada mais é que a emissão de ondas e partículas dos átomos. No caso dos átomos utilizados em datações, sua radiação é proveniente, em geral, da emissão de prótons. Então, com o passar do tempo o U_{238} se transforma em Pb_{206} e o Th_{228} em Ra_{226} , por exemplo. Esse fenômeno é chamado de meia-vida, ou seja, é o tempo necessário

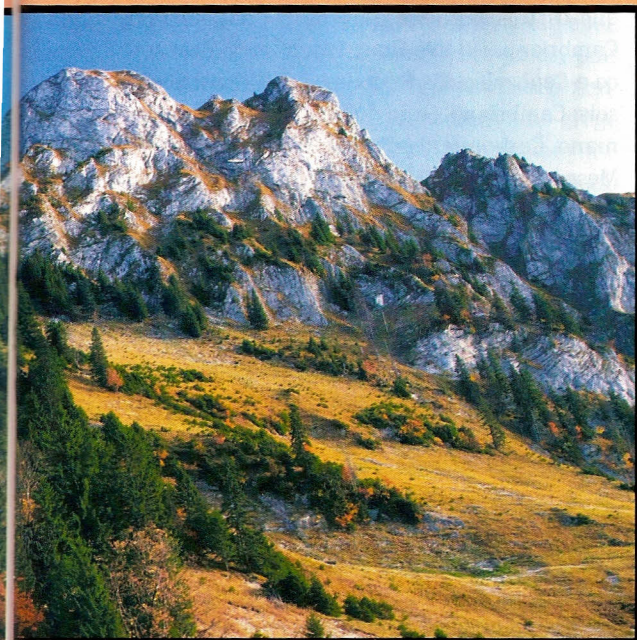
para um átomo perder metade de sua massa originando outro átomo. O U_{235} , por exemplo, tem uma meia-vida de 713 milhões de anos, na qual decai para o Pb_{207} . Como é uma meia-vida longa, o U_{235} é muito utilizado para indicar a idade de rochas. Outros indicadores são o próprio U_{238} , o Po_{214} , o Ar_{40} , o K_{40} e o famoso C_{14} , além de muitos mais.

Foi assim que, em 1913, o geólogo inglês Arthur Holmes (1890-1965) calculou a idade da Terra a partir do decaimento de uma amostra de rocha e propôs a primeira Escala Geológica de Tempo. Essa Escala não era como a atual, pois muitas divisões ainda não tinham sido propostas (o Éon Hadeano, por exemplo, só foi sugerido em 1972). Mas a metodologia de Holmes tornou-se referência e em 1956, o geoquímico americano Clair Patterson (1922-1995) descobriu que uma amostra de meteorito possuía $4,55 \pm 0,07$ bilhões de anos, devido à presença de isótopos de chumbo, idade que foi confirmada por estudos posteriores de outros pesquisadores e que hoje é tida como a idade do nosso planeta.

A ESCALA É OFICIALIZADA

A Escala Geológica de Tempo continua sendo aperfeiçoada e hoje é um padrão internacional de

As montanhas proporcionam aos pesquisadores a descoberta de dados para determinar o passado do local em que estão situadas



SHUTTERSTOCK

OS FÓSSEIS NA CULTURA POPULAR ANTIGA

Fósseis são registros de qualquer tipo de vida que tenha, pelo menos, aproximadamente 11.000 anos. Podem ser pegadas, coprólitos, troncos transformados em rochas, impressões de folhas e conchas, animais preservados em âmbar ou no gelo, esqueletos petrificados e mais uma infinidade de tipos. Eles são conhecidos há pelo menos 3.000 anos, idade de um túmulo encontrado na Inglaterra, em que havia os esqueletos de mãe e filho rodeados por ouriços do mar fósseis, dispostos de forma organizada. Alguns povos antigos faziam colares com poríferos do Cretáceo; outros, como os chineses até hoje o fazem, utilizavam chás do pó de braquiópodes, invertebrados com duas valvas que formam uma concha, à semelhança das ostras, existentes desde o Cambriano, para curar distúrbios de saúde. Na Grécia Clássica alguns pensadores, como Pitágoras, chegaram a supor que animais marinhos petrificados encontrados em lugares afastados das praias seriam indicadores de que esses locais, há muitos anos, poderiam ter sido o fundo de um oceano. Essas ideias foram suprimidas, por muitos séculos, pelo conceito de que os animais petrificados eram, na verdade, “brincadeiras da natureza” ou, no caso dos fósseis marinhos, animais carregados pelo Dilúvio bíblico para o alto das montanhas. Então, no Renascimento, Leonardo da Vinci (1452-1519) questionou essa crença, pois concluiu que os moluscos petrificados não foram levados para esses locais pelo Dilúvio, nem migraram até lá por conta própria, e chegou a mesma conclusão dos pré-socráticos: de que o mar avançou para dentro

do continente europeu e por lá permaneceu tempo suficiente para que os animais marinhos ali se estabelecessem durante um longo período.

Na Idade Média, segundo a crença popular europeia, os fósseis de ouriço do mar, eram considerados itens mágicos expelidos por serpentes marinhas. Outros fósseis eram utilizados na Medicina, como os dentes do *Lepidotes sp.*, um peixe do Mesozoico que possuía dentes arredondados. Acreditava-se que eram “bolas” retiradas das cabeças de sapos velhos ou mesmo expelidas por eles, caso o animal fosse colocado sobre uma superfície vermelha. As “pedras de sapo” eram utilizadas como tratamento para epiléticos e como antídoto para venenos. Uma semelhança com esse último uso pode ser encontrada no livro “Harry Potter e o Enigma do Príncipe”, em que o bezoar, uma pedra extraída do estômago de bovinos, é administrada para inibir a ação de venenos.

Também na Europa, acreditava-se que os amonites, moluscos extintos desde o final do Cretáceo aparentados com o atual *Nautilus sp.* (nome também encontrado na Literatura, referente ao submarino do Capitão Nemo, no livro de Júlio Verne “20.000 Léguas Submarinas”), eram serpentes espiraladas e petrificadas. Steno (1638-1687), famoso médico dinamarquês e grande estudioso de Geologia, percebeu que as “línguas de pedra”, ou *glossopetrae*, tidas como formações rochosas naturais ou dentes de serpentes marinhas, eram muito semelhantes aos dentes de tubarões. Mais tarde descobriu-se que realmente eram dentes de esqualos do Cenozoico.

medida de tempo geológico, estabelecido pela Comissão Internacional de Estratigrafia a partir de 1977. Contudo, como as pesquisas sempre avançam, muitas divisões e correções de datas são propostas continuamente e a Comissão sempre atualiza a Escala padrão. No entanto, como cada nova divisão, em geral, recebe o nome do local onde foi descrita a rocha para o período, nem todos os países adotam os mesmos nomes. Há intervalos, como o Wuchiapingiano (uma subdivisão do Permiano asiático), que dificilmente são considerados em trabalhos com rochas brasileiras, por exemplo.

A Escala atual é uma tabela que deve ser lida de baixo para cima, na mesma ordem da estratigrafia de um solo, portanto, os períodos mais inferiores são os mais antigos. Ela é dividida em Éons, Eras, Períodos e Épocas. As Eras são divisões dos Éons; os Períodos, subdivisões das Eras e as Épocas compõem os Períodos. Para evitar possíveis confusões de nomenclatura, quando a palavra “período” for grafada aqui com “P” maiúsculo, corresponderá à subdivisão de uma Era; quando for grafada com “p” minúsculo, corresponderá a um intervalo de tempo qualquer.

Na Escala básica (sem as subdivisões de cada país, chamadas de Idade) os Éons (do latim *aeon* = “tempo”, “duração da vida”) são quatro, nesta ordem cronológica: Hadeano, Arqueano, Proterozoico e Fanerozoico, sendo que os três primeiros são agrupados no Pré-Cambriano. Há três Eras: Paleozoico, Mesozoico e Cenozoico. Os Períodos do Paleozoico são seis: Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero e Permiano; os Períodos do Mesozoico são três: Triássico, Jurássico e Cretáceo; e os Períodos do Cenozoico são o Terciário (que é dividido em Paleogeno e Neogeno) e o Quaternário. Nessa Escala, só existem Épocas nos Períodos do Cenozoico, sendo que o Paleogeno possui três: Paleoceno, Eoceno e Oligoceno; o Neogeno possui duas: Mioceno e Plioceno; e o Quaternário também possui duas: o Pleistoceno e o Holoceno, também chamado de Recente.

A idade dos limites de cada intervalo da Escala é colocada do lado direito, geralmente prosseguido pelas abreviaturas “b.a.” (bilhões de anos) e “m.a.” (milhões de anos). Esses números também podem estar em uma coluna adicional em algumas Escalas.



Com os fósseis podemos saber que tipo de vida existiu no local

O INÍCIO DE TUDO

O Éon mais antigo, o Hadeano, muitas vezes não aparece nas Escalas Geológicas de Tempo, pois sua estratigrafia é baseada na datação de rochas lunares, com algumas raras exceções. Então muitos autores não o consideram um Éon terrestre.

Como as rochas da Terra se formaram somente no fim desse período, com o surgimento da crosta, às vezes o Hadeano é chamado de “período pré-geológico”. Ele corresponde ao intervalo entre a formação do Sistema Solar e o aparecimento das primeiras rochas do nosso planeta (encontradas no Canadá), ou seja, de $4,55 \pm 0,07$ b.a. a aproximadamente 3,8 b.a..

O Hadeano foi batizado, em 1972, pelo geólogo americano Preston Cloud (1912-1991), que foi o primeiro a encontrar e datar as rochas mais antigas da Terra. O planeta, nesse período, era frequentemente bombardeado por meteoritos de vários tamanhos e possuía uma superfície constantemente coberta por lava. Então, o nome “Hadeano” se refere ao Hades, da Mitologia Grega, que mais tarde foi traduzido como “Inferno”.

O resfriamento da lava que fluía sem cessar vinda do interior do nosso planeta, durante o Hadeano, possibilitou a formação da superfície sólida que conhecemos hoje como Crosta Terrestre. Para isso, a temperatura global deve ter caído abaixo dos 1.000 °C. Provavelmente, a crosta começou a se formar nos polos, pois eles se resfriaram antes dos trópicos. Esse é o início do Arqueano, cujo prefixo deriva do grego (arché, pronuncia-se “arquê” = “princípio”).

O Arqueano (3,8 a 2,5 b.a.) foi o período de máxima formação continental, durante o qual aproximadamente 70% dos continentes se constituíram. A Escandinávia, o Canadá, a Austrália e a África do Sul são alguns dos locais mais antigos da Terra, pois se estabeleceram nesse Éon.

As rochas do início do Arqueano sofreram tantas alterações em sua composição que são raras as que podem ser datadas com tal idade. Contudo, isso foi possível com algumas amostras e hoje se sabe que o metamorfismo de tais rochas foi causado, principalmente, pela chuva de meteoritos que continuaram bombardeando a nova superfície sólida do planeta. Essas rochas são muito semelhan-

tes àquelas formadas atualmente embaixo d'água. Por isso, presume-se que nesse Éon já existia um oceano fluindo na Terra.

Para que a água se mantivesse em estado líquido, a média da temperatura terrestre não poderia ser tão alta quanto no Hadeano. De fato, durante o Arqueano nosso planeta recebia 80% (alguns autores consideram 70 a 85%) da insolação atual, o que poderia levar a uma glaciação mundial. Mas isso não ocorreu (ver quadro) e a manutenção do calor dentro da Terra possibilitou o surgimento e a continuidade da vida.

Os fósseis de estromatólitos, colônias de organismos unicelulares semelhantes às cianobactérias, encontrados na Austrália, conhecidos também como “Fauna de Ediacara”, são considerados por muitos paleontólogos como o registro mais antigo de vida na Terra, com 3,5 b.a.. Outros contestam, alegando que essas rochas não indicam a presença de microrganismos. O que é certo é que os estromatólitos existem até hoje, na costa oeste da Austrália, em águas tão salinas que não há predadores para eles.

Em 2009, foi encontrada na África do Sul uma rocha de 3,2 b.a. que, segundo seus des-



Lago Thetis, Austrália

RUTH ELLISON

cobridores, indica claramente que abrigava uma colônia de microrganismos, mas até hoje não foi possível determinar a espécie ou outra categoria taxonômica a qual pertencem. Os autores da descoberta reivindicam que este sim é o fóssil mais antigo encontrado até agora.

Outro ponto controverso relativo ao Arqueano é sobre o registro mais pretérito de organismo fotossintetizante. Muitos cientistas creem que fósseis moleculares de 2,7 b.a. encontrados na Austrália Ocidental, são evidências de procariontes semelhantes às cianobactérias. Mas um grupo de pesquisadores de algumas universidades australianas questiona que as moléculas indicadoras da presença de cianobactérias e eucariotas devem ter migrado para o interior da rocha em questão. Portanto, esse não é um fóssil “válido”. O grupo sugere que os fotossintetizantes podem ter surgido no Proterozoico, o Éon ulterior ao Arqueano.

O PARADOXO DO JOVEM SOL FRACO

Com a porcentagem de insolação menor que a atual, durante o Arqueano a Terra poderia ter passado por uma glaciação. No entanto, a temperatura média global se manteve alta o bastante para o aparecimento dos primeiros seres, o que é chamado de “paradoxo do jovem Sol fraco”. A questão que intriga os cientistas até hoje é: por que esse calor não escapou? Em 2009, Colin Goldblatt e colaboradores, pesquisadores de uma divisão da NASA na Califórnia, descobriram que o manto e a crosta terrestres continham duas vezes mais nitrogênio atmosférico que hoje. Esse volume extra de gás pode ter causado um aumento de pressão que reteve o calor dentro dos limites do planeta, evitando sua glaciação. Então, há 2,5 bilhões de anos, a interação entre a maior quantidade de gás carbônico e nitrogênio atmosféricos provavelmente tenha sido responsável pelo aumento de 4,4°C na temperatura média global, o que explica o paradoxo.

O sol também tem sua porcentagem de participação na evolução do planeta

A BIODIVERSIDADE AUMENTA

Proterozoico (2,5 bilhões a 542 milhões de anos) significa aproximadamente “vida primitiva”. É o Éon que marca o estabelecimento dos continentes e o início de sua movimentação sobre as placas tectônicas. Acredita-se que o primeiro supercontinente foi formado há 1,1 b.a. e se fragmentou há 750 m.a.. Esse supercontinente foi proposto na década de 1970, mas seu nome só tornou-se definitivo no início dos anos 90. Foi batizado de “Rodínia”, nome derivado do russo e que significa “pátria”. Outros nomes foram propostos, como “Proto Pangea”, mas não se firmaram.

No Arqueano predominavam gases atmosféricos como o metano [CH₄(g)], o dióxido de carbono [CO₂(g)] e a amônia [NH₃(g)]. Mas os produtos do metabolismo dos primeiros eucariotes fotossintetizantes e das cianobactérias inseriram oxigênio [O₂(g)] nesse cenário, contribuindo para a mudança da biodiversidade do período. O “Evento da Grande Oxigenação” (do inglês Great Oxygenation Event), como é conhecido esse aumento de O₂(g) na atmosfera, foi um fator de seleção natural, pois muitos procariontes eram anaeróbios e foram extintos nesse paleoambiente.

Dentre os eventos mais importantes ocorridos no Proterozoico estão, além dos já citados, o início da reprodução sexuada, o surgimento da mitocôndria e cloroplasto nos eucariotes e o aparecimento dos primeiros animais, no final do Éon. Muitas formas de vida são difíceis de identificar, mas algumas se assemelham a poríferos, cnidários e fungos.

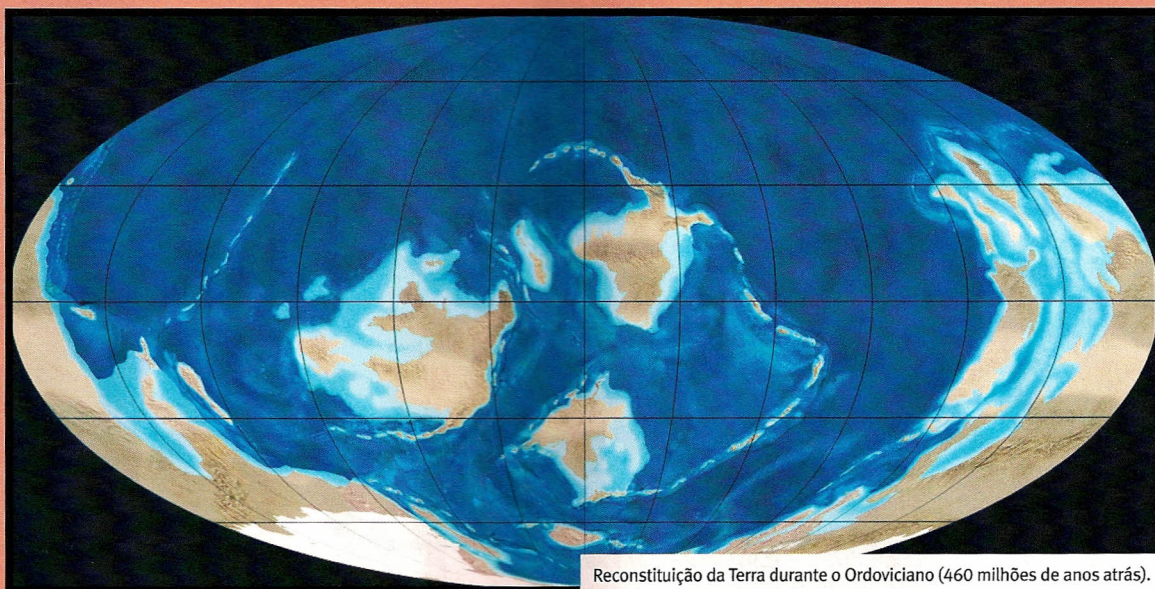
O ÚLTIMO ÉON

Fanerozoico é um substantivo derivado do grego (“phaneros” = “evidente”) + (“dzoé” ou “zdoé” = “vida”) + (“oikos” = “casa”). Como há outros nomes na Escala que possuem o mesmo sufixo, “zoico”, a etimologia será considerada a mesma.

Além de ser o último Éon, o Fanerozoico é também o de menor duração (iniciou-se há 542 m.a. e estende-se até a atualidade) e o que possui o maior registro fóssilífero. Dentre as formas de vida que surgiram nesse Éon estão todos os fungos, plantas e vertebrados.

A primeira Era do Fanerozoico é o Paleozoico. Seu nome deriva do grego (“palaios” =





Reconstituição da Terra durante o Ordoviciano (460 milhões de anos atrás).

DR. RON BLAKEY

“antigo”) e compreende o intervalo entre 542 e 251 m.a.. O Paleozoico experimentou vários eventos decorridos da Deriva Continental, como a formação da Pangea e, posteriormente, da Laurásia e Gondwana, além de algumas glaciações e dias mais curtos que os atuais. Em 1996, Sonett, e outros pesquisadores de universidades americanas, calcularam que os dias terrestres, entre 395 e 345 m.a., duravam aproximadamente 18 horas e o ano, 400 dias.

A “explosão do Cambriano” marca o aparecimento de milhares de espécies de invertebrados em um intervalo de tempo relativamente curto, como poríferos, cnidários, animais com conchas e artrópodes, que dominam os mares até hoje. Dos animais, os trilobitas e equiúros se destacam, pois os primeiros tornaram-se fósseis guia (ou index) do Cambriano e os segundos podem ter sido os carnívoros predominantes do Período.

Durante essa “explosão”, havia dois supercontinentes, Gondwana e Laurência, e duas grandes massas de terra: Sibéria e Báltica, todos resultantes da fragmentação de Rodínia. Como a superfície desses continentes era desprovida de plantas, todo o fornecimento de oxigênio para a atmosfera e os mares era feito por bactérias e algas. Além disso, o clima era quente, pois o Cambriano ocorreu entre glaciações.

Talvez, por isso houve uma extinção em massa no final do Período, depois do qual se iniciou o Ordoviciano, sob a neve.

OS PRIMEIROS PEIXES

A atmosfera do Ordoviciano (488 a 444 m.a.) continha entre oito e 20 vezes mais $\text{CO}_2(\text{g})$ que atualmente e favoreceu a permanência, em terra, das plantas que começaram a conquistar as superfícies continentais, acompanhadas por alguns artrópodes. Estes se diversificaram muito nos oceanos recém-formados, como o Jápeto, e assistiram à redução de aproximadamente 50 m no nível dos mares causada pela glaciação. Mas, tal evento não impediu o aparecimento dos Conodontes, cordados semelhantes a peixes, e dos Ostracodermos pteraspidomorphi, uns dos mais antigos fósseis de vertebrados.

O Ordoviciano também é conhecido como a “Idade dos Graptólitos”, hemicordados fósseis utilizados como fósseis guia do Período. Muitas dessas espécies foram extintas na glaciação do final do Ordoviciano, mas algumas conseguiram transpor esse evento e evoluíram no Siluriano (444 a 416 m.a.), que iniciou com uma extinção em massa na qual desapareceram 60% das espécies marinhas.

Os continentes continuaram se movendo e fragmentando, eventos esses que originaram o supercontinente da Laurússia.

Grandes ilhas se concentraram nos polos e no Equador, descansando sobre mares mais profundos, pois no Siluriano o gelo da última glaciação estava derretendo.

Foi nesse Período que os corais se aglomeraram em recifes e os gnatostomados surgiram, mas a predominância de peixes ainda era dos Agnatha. Alguns, como Osteotracos, passaram a habitar lagos e rios de água doce. Também datam do Siluriano as melhores evidências da colonização da terra por animais, como os Aracnídeos. Eles presenciaram a evolução das plantas vasculares sem folhas, que eram alimento para muitos Milípedes, e a decomposição dos organismos feita pelos novos fungos terrestres. Todos esses seres transpuseram o “Evento Lau”, como é chamada a última extinção em massa do Siluriano, na qual a maioria dos Conodontes foi extinta. Esse evento marca o início do Devoniano.

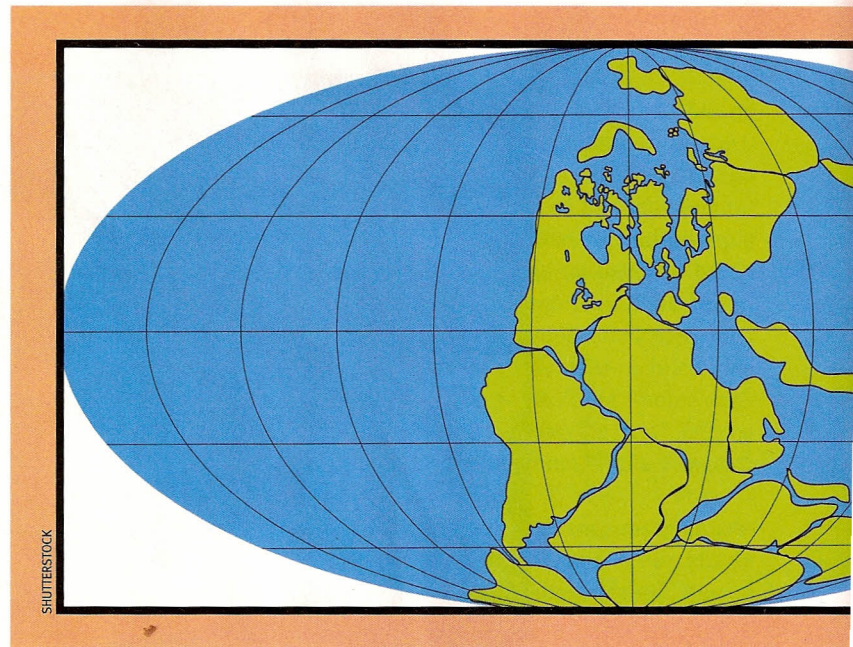
O Devoniano (416 a 359 m.a.) é conhecido como a “Idade dos Peixes”, na qual ocorreu a grande diversificação dos gnatostomados: os Placodermos e os Sarcoptrérgios apareceram, sendo que os últimos originaram os tetrápodes (representados por grandes anfíbios) ainda no Devoniano. Mal conquistaram a terra, esses animais enfrentaram uma glaciação, a redução do nível oceânico e frequentes impactos de meteoritos.

As plantas do início do Devoniano eram pequenas e não possuíam sementes nem raízes e caules verdadeiros. Mas, no final do Período, as “Progimnospermas” e as plantas com sementes começaram a surgir. Essa “explosão do Devoniano” foi acompanhada pela rápida diversificação dos artrópodes, que atingiram tamanhos colossais em meio às novas florestas.

Os mares eram dominados por Braquiópodes e recifes habitados por peixes cartilaginosos. No entanto, os seres marinhos não mais nadavam pelo Jápeto, pois os oceanos intercontinentais estavam desaparecendo com a convergência das massas de terra. Assim se formava a “pré-Pangea”.

A PANGEA SE FORMA

O Carbonífero (359 a 299 m.a.), logo no início, teve que superar a extinção do final do Devoniano, na qual 70% das espécies totais (aquáticas e terrestres) desapareceram.

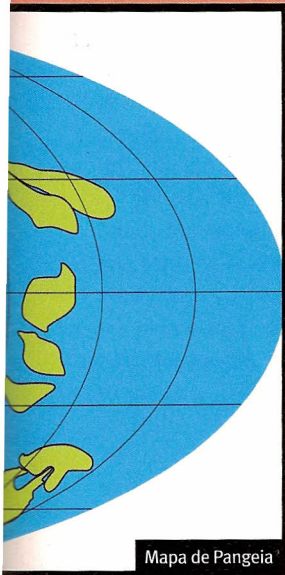


Um dos eventos mais importantes do Carbonífero foi o aparecimento do ovo amniótico produzido pelos primeiros répteis. Contudo, os anfíbios eram os vertebrados terrestres dominantes e muitos se assemelhavam às Salamandras, como os grandes Temnospondyli que poderiam chegar a 5 m de comprimento.

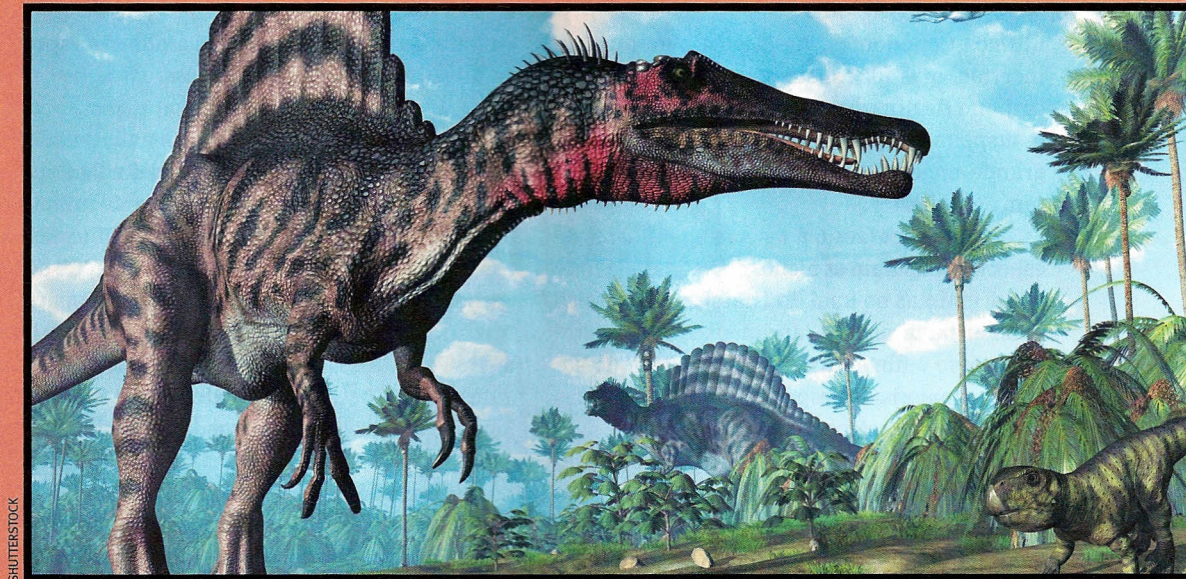
Nas florestas, cresciam enormes plantas que captaram grandes quantidades de CO₂(g) atmosférico. Este pode ter sido um dos fatores para o nítido acúmulo de carvão nos estratos carboníferos. Como a taxa de fotossíntese era alta, os níveis de O₂(g) atmosférico atingiram patamares que nunca mais foram alcançados nos períodos posteriores. Muitos pesquisadores acreditam que o O₂(g) disponível tenha sido responsável pelo aparecimento de gigantes artrópodes, como escorpiões de 70 cm e animais parecidos com os Milípedes, que atingiram 1,8 m de comprimento. Uma gama desses animais continuou evoluindo e atingiu o próximo Período: o Permiano.

O Permiano foi palco de grandes eventos, como a formação da Pangea, seus oceanos (Pantalassa e *Tethys*) e duas grandes extinções em massa, uma no meio e outra, a maior de todas até hoje, no fim do Período, em que foram extintas 96% das espécies marinhas e 70% das terrestres.

Ainda não se sabe ao certo o que causou esta catástrofe.



Mapa de Pangeia



SHUTTERSTOCK

No início, os continentes se encontravam sob a neve. Com o derretimento do gelo, o interior da Pangeia tornou-se árido e o clima sazonal, alternando entre estações secas e úmidas. As Fusulinas, Foraminíferos do Permiano, eram abundantes nos mares e hoje são fósseis guia. Os artrópodes gigantes continuaram forrageando pelas florestas tropicais cheias de Pteridófitas. Pela primeira vez os Amniotas estavam em grande número e os Sinapsida apareceram, originando mais tarde os mamíferos. Os Diapsida eram seus contemporâneos, assim como os Mesossauros, Celacantos e diversas espécies de peixes pulmonados. Muitos desses seres foram extintos no final do Permiano e vários nichos foram ocupados pelos dinossauros e outros répteis.

NASCEM OS DINOSSAUROS

O Mesozoico (251 a 65,5 m.a.), a Era ulterior ao Paleozoico, é chamado de “A Era dos Répteis”. Ele corresponde ao “Secundário” proposto por Arduino no século 18 e significa “vida média, ou “do meio”, do grego (“meso” = “meio”).

A evolução dos Dinossauros, Pterossauros, répteis aquáticos e o surgimento dos mamíferos deram-se no Mesozoico, assim como a dominância dos Amonites nos mares e das gimnospermas nos continentes.

O primeiro Período dessa Era é o Triássico (251 a 201,6 m.a.). Neste intervalo a Pangeia se

encontrava majoritariamente no Equador e começou a se fragmentar com a invasão do oceano de *Tethys* pelo leste, iniciando a separação da Laurásia de Gondwana. Nos oceanos, os Trilobitas e Fusulinas foram extintos e substituídos por Amonoides, Braquiópodes e moluscos que sobreviveram ao limite Permo Triássico. Muitas ordens atuais de equinodermos apareceram e gigantescos recifes se formaram, alguns em simbiose com algas. Répteis marinhos, como os *Nothosauridae*, *Placodontes* e o *Pachypleurosaurus sp.*, se alimentavam de invertebrados ou vertebrados.

O clima seco do interior dos continentes favoreceu o desenvolvimento de diversas Gimnospermas (como as coníferas), *Cicas* e *Ginkgos sp.*, que foram alimento para muitos herbívoros, como o *Plateosaurus sp.*. Os ancestrais dos crocodilianos, lagartos e serpentes perambulavam por essa paisagem, assim como os Terápsidos e os primeiros dinossauros e tartarugas.

O Brasil possui muitos fósseis de vertebrados do Triássico, encontrados principalmente no Rio Grande do Sul. Dentre eles estão Condrictes, Dicinodontes e outros répteis Mammaliformes, dinossauros, como o *Staurikosaurus pricei*, e Esfenodontes, sendo que os últimos hoje em dia vivem somente na Nova Zelândia.

O Triássico terminou com uma grande extinção em massa das espécies aquáticas e terrestres, das plantas aos animais, inclusive dos

Os dinossauros já reinaram sozinhos e até hoje são localizados fósseis desses animais em diversos locais do mundo, inclusive no Brasil



últimos Conodontes. As causas permanecem incertas, mas foi constatado que os níveis de carbono declinaram na época dessa extinção e suspeita-se que devido ao impacto de um grande meteorito cujos rastros ainda não foram descobertos.

No Jurássico (201,6 a 145,5 m.a.) milhares de espécies ocuparam os nichos deixados pelas que foram extintas no final do Triássico. O Jurássico ganhou fama após o lançamento dos anacrônicos livro e filme Jurassic Park. Apesar do sucesso, a maioria das espécies contidas nas duas obras data do Cretáceo, o Período seguinte.

Durante o Jurássico, a Laurásia e Gondwana foram totalmente separadas e o Oceano Atlântico começou a se formar. Sobre esses continentes cresciam muitas Cicadófitas e Coníferas, sendo que algumas existem até hoje. Insetos, como os gafanhotos, imensos Saurópodes e Ornítisquios se alimentavam delas. E dos Herbívoros, Terópodes como o *Herrerasaurus sp.* se banquetavam. Também na terra e nos ambientes semiaquáticos os já diferenciados crocodilianos predavam vários animais e poderiam ver muitos Pterossauros e as primeiras aves, como o *Archaeopteryx sp.*, sobrevoando suas cabeças. Dentro de tocas e em outros esconderijos espreitavam os pequenos anfíbios e mamíferos.

Nos oceanos, crocodilos marinhos, Pleiossauros, Pliossauros, Ictiossauros e tartarugas eram os répteis abundantes. Viviam entre Condrictes modernos e poríferos, Briozoários e moluscos, além de inúmeros outros filios de invertebrados e plantas aquáticas.

Suspeita-se que o final do Jurássico foi marcado por vários eventos que culminaram em uma extinção massiva, como, por exemplo, impacto de meteorito e intenso vulcanismo. No

entanto, as verdadeiras causas ainda são especulativas e há poucas evidências.

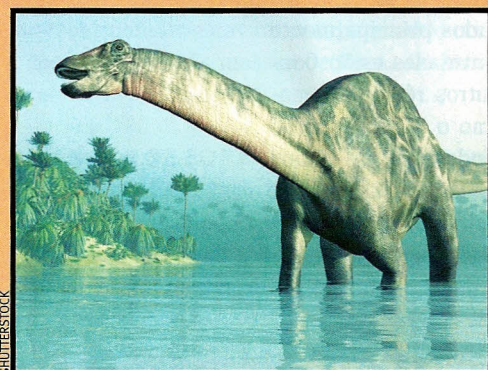
CRETACEOUS PARK

O Cretáceo (145,5 a 65,5 m.a.) foi um Período glorioso, que viu a ascensão e queda de milhares de espécies. Seu término, o limite KT (o “K” é utilizado para evitar confusões com o “C” de Carbonífero, e provém da tradução alemã para “giz”, Kreide; o “T” é do inglês Tertiary, o primeiro Período do Cenozoico) ficou famoso após a descoberta da cratera mexicana em Chicxulub, que foi formada pela queda de um imenso meteorito há 65,5 m.a..

Ao longo do Cretáceo os continentes modernos se isolaram uns dos outros. Assim, no final do Período, as Américas do Norte e do Sul, a África, Madagascar, Europa e Ásia estavam em posições semelhantes às de hoje. O isolamento geográfico, a formação de oceanos, a mudança climática, a extinção do final do Jurássico e outros fatores foram determinantes para a evolução de novas espécies.

No Hemisfério Norte caminhavam os mais famosos Terópodes, como o *Tyrannosaurus rex* e o *Velociraptor sp.*, e por quase todo o mundo os Saurópodes, Ornítisquios, Crocodilianos, squamata e tartarugas, dentre outros, respiravam o ar impregnado pelo pólen das recém-nascidas angiospermas. Na América do Sul, o *Argentinosaurus sp.* tinha dificuldade para encontrar uma sombra que o abrigasse e no nordeste brasileiro os ares eram repletos de Pterossauros. No litoral nadavam Mosassauros e por todo o mundo os répteis marinhos continuavam disputando espaço com os invertebrados e diatomáceas que começaram sua radiação. Na China, muitos dinossauros retiravam parasitas de suas penas e centenas de espécies de aves com dentes co-

Há aproximadamente 250 milhões de anos esses seres habitaram o planeta Terra e até hoje são grande tema de estudo. Mesmo assim, muitas incógnitas permanecem para os cientistas



SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK

miam insetos e pequenos vertebrados. Provavelmente até aves modernas, como os patos, já dividiam pântanos com alguns dinossauros semiaquáticos de outros continentes, alguns milhões de anos antes do final do Período.

As três linhagens de mamíferos (*Monotremata*, *Marsupialia* e *Eutheria*) se separaram, começaram a se diversificar e tornaram-se mais abundantes a partir do Terciário.

Mas o final do Cretáceo foi trágico e todos os dinossauros, exceto as aves *Neornithes*, Pterossauros, Anapsidas e diversos outros répteis marinhos, Amonites, Belemnites e muitas espécies de foraminíferos foram extintos. As causas ainda são estudadas e as hipóteses giram em torno de fatos comprovados, como a mudança global da temperatura (que alterou a dinâmica das teias alimentares), intenso vulcanismo, chuvas ácidas e o evento mais hollywoodiano de todos: a queda do meteorito no México. As discordâncias permanecem, mas hoje as hipóteses tendem para o gradualismo, ou seja, a extinção do limite KT pode ter ocorrido ao longo de milhares ou milhões de anos e não repentinamente, como muitos sugerem. ✕



Para saber

FLETCHER, Benjamin J. et al. Atmospheric carbon dioxide linked with Mesozoic and early Cenozoic climate change. *Nature Geoscience*. Vol 1, pp. 43-8. Janeiro de 2008.

GOLDBLATT, Colin et al. Nitrogen-enhanced greenhouse warming on early Earth. *Nature Geoscience*. Vol. 2, pp. 891-6. 15 de novembro de 2009.

PASCAL, Philippot et al. Early traces of life investigations in drilling Archean hydrothermal and sedimentary rocks of the Pilbara Craton, Western Australia and Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Comptes Rendus Palevol*. Vol. 8, pp. 649-63. 22 de outubro de 2009.

SANKARAN, A. V. The controversy over early-Archean microfossils. *Current Science*. Vol. 83, pp. 15-7. 10 de julho de 2002.

Sites: www.palaeos.com
www.newworldencyclopedia.org/entry/Mass_extinction
<http://ucmp.berkeley.edu/>

■ **CLARISSA DE MIRANDA E SILVA** é graduanda em ciências biológicas pela PUC Minas e bolsista de Iniciação Científica pela FAPEMIG no laboratório de paleozoologia da UFMG.

■ **DR. MARIO ALBERTO COZZUOL** é graduado em biologia (1985) e doutor em ciências naturais (1993), ambos pela Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Desde outubro de 2006, é professor adjunto no Departamento de zoologia do Instituto de Biologia da Universidade Federal de Minas Gerais.

PARA DISCUSSÃO EM SALA DE AULA

- 1) Divida a turma em 4 equipes e faça um jogo de perguntas e respostas sobre os eventos que ocorreram em alguns intervalos da Escala Geológica de Tempo.
- 2) Proponha um trabalho no qual cada grupo pesquise mais a fundo sobre um Período e formule suas próprias hipóteses sobre as causas das extinções em massa que marcam seus limites.
- 3) É sabido que no início do Proterozoico já havia organismos unicelulares. Discuta com os alunos as prováveis origens dessas células abordando, inclusive, a questão da Panspermia Cósmica.



SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK



SHUTTERSTOCK