

GEOLOGIA INTRODUTÓRIA: BASE PARA O NOVO CONHECIMENTO

Geraldo Norberto Chaves Sgarbi¹

RESUMO

A disciplina Geologia Introdutória, ministrada em nossas universidades, tanto nos cursos de Geologia como em outros cursos, aborda, de um modo panorâmico, praticamente todos os ângulos da ciência geológica. Por sua visão global e preliminar, esse conhecimento é útil no fornecimento da base teórica necessária ao aprofundamento dos temas tradicionais a serem abordados futuramente ao longo do curso de Geologia. Entretanto, sua importância extrapola esse objetivo, pois esse conhecimento teórico preliminar, se assimilado por leigos, facilita em muito a compreensão das abordagens multidisciplinares, muito comuns atualmente como objetos de pesquisas de ponta e que envolvem parcerias entre a Geologia e outras ciências, tais como: Astronomia, Química e Biologia. Esse texto analisa a importância da Geologia Introdutória sob esse último ponto de vista. Procura-se mostrar que a introdução desses conteúdos de grande abrangência científica, aqui denominados Temas Aglutinantes a alunos iniciantes (futuros geólogos ou não), aumenta o grau de interesse desses alunos por temas geológicos. O método aplicado consiste em apresentar uma descrição resumida de cada Tema Aglutinante seguida de seus "apêndices geológicos", os quais são discutidos em sala de aula.

¹ Doutor em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG). E-mail: sgarbi@unipg.it

INTRODUÇÃO

O presente texto procura ressaltar a importância da disciplina Geologia Introdutória, tanto para o curso de Geologia, como para os demais cursos que a utilizam, tais como: Engenharias, Biologia e Geografia, dentre outros. A cultura geológica é hoje fundamental para o entendimento de muitos dos grandes temas científicos que empolgam os cientistas e catalisam recursos em alguns dos maiores institutos de pesquisas do mundo. Nos Estados Unidos, essa introdução à Geologia nos cursos pré-universitários tem merecido a atenção dos acadêmicos da área. Lá, esse conhecimento prévio tem servido como ponto de partida para um posterior esforço de assimilação, autodidática ou não, de conteúdo geológico, de maneira que físicos, astrofísicos, químicos, biólogos e geógrafos daquele país normalmente possuem um bom grau de conhecimento de Geologia Básica. Tal fato, entretanto, não exclui as massas do penoso fardo da ignorância, como nos mostram reportagens veiculadas em jornais de grande circulação nacional, como o *Weekly World News*, um tablóide sensacionalista, que, em sua edição de 17/10/95, mostrou em letras garrafais a "mais importante descoberta paleontológica do século!" - que consistia em pinturas rupestres mostrando homens primitivos assando dinossauros - descrevendo inclusive receitas de como se fazer um bom rosbife de dino, copiadas das paredes de uma longínqua caverna africana, sítio da descoberta.

Contrariamente em nosso País, a cultura geológica é praticamente ausente nos alunos recém-ingressos nas universidades. Torna-se difícil a assimilação de temas básicos, como, por exemplo, o Tempo Geológico. Na verdade, esses alunos foram, como todos nós o fomos, acostumados a raciocinarem apenas segundo o tempo histórico. Geralmente, todos sabem que os caldeus precederam os egípcios e que Stalin não foi absolutamente o culpado pelo fracasso das tropas francesas de Napoleão na Rússia. Com relação ao tempo geológico, a dificuldade é maior. De imediato, esses alunos não conseguem organizar, de maneira concatenada, questões relativas à evolução da paisagem terrestre, baseada no Ciclo de Wilson, que versa sobre a recorrência, em tectônica de placas, da abertura e fechamento das bacias sedimentares, responsáveis pela morfologia dos nossos continentes e oceanos. Tal fato implica a existência de uma hierarquia temporal englobando todas as terras e oceanos existentes. Situações mais concretas, como o antigo sistema de drenagem fluvial na América do Sul, que há pouco tempo geológico fluía de leste para oeste,

e desenvolve-se hoje de maneira inversa em razão do soerguimento das terras que formaram a cordilheira andina, merecem um esforço muito grande por parte desses estudantes, simplesmente porque todos nós fomos acostumados a ver o nosso planeta de maneira estática. Mesmo temas geológicos corriqueiros, porém de interesse imediato para suas vidas profissionais, como, por exemplo, os princípios básicos das ocorrências de água subterrânea ou de concentrações de petróleo são totalmente desconhecidos. A totalidade dos alunos desconhece o tipo de material geológico que sustenta sua residência, para mostrar um exemplo mais rasteiro da ausência prévia desse conhecimento.

Um dos modos encontrados de demonstrar a importância do conhecimento geológico para estudantes universitários, ligados ou não à Geologia, é apresentar em sala de aula para discussão temas científicos multidisciplinares altamente relevantes. Ressaltam-se, por exemplo, aqueles relacionados com a origem da vida e sua manutenção em nosso planeta, ou aspectos relacionados com os desafios futuros que teremos de enfrentar como a futura colonização de Marte. Porém, isso aconteceria somente se adquirirmos aquilo que o escritor inglês Martin Amis denominou Consciência de Espécie e, claro, supondo uma muito discutível manutenção do nosso *status quo* científico a longo prazo. Observa-se que os alunos têm demonstrado maior interesse pela Geologia, quando postos diante de grandes temas, aqui denominados Temas Aglutinantes.

O presente texto apresenta cinco desses temas objeto de estudo, assim como as relações específicas de cada um à Geologia Introdutória.

TEMAS AGLUTINANTES

São temas relevantes que têm como um dos seus suportes básicos o conhecimento de Geologia Introdutória. Como exemplos, foram tomados relatos de pesquisas atuais e veiculados recentemente em revistas científicas conceituadas. Após cada um deles, são listados tópicos mostrando qual a contribuição da Geologia Básica para o seu entendimento:

Origem das atmosferas

Dos quatro planetas internos de nosso sistema solar, apenas Mercúrio não teve condições de reter uma atmosfera, dada a pequena magnitude de seu campo gravitacional. Vênus, Terra e Marte as possuem, tendo sido estudadas pelas missões espaciais as quais forneceram dados para a comparação entre elas.

Em Vênus e Marte, o dióxido de carbono (CO_2) é o principal constituinte de suas atmosferas, enquanto, na Terra, nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) são os elementos mais abundantes. O que faz planetas tão semelhantes em termos de tamanho, composição química e distância do sol terem atmosferas tão similares e apenas um deles condições de suportar a vida?

Para explicar tal fato, temos de voltar à origem dessas atmosferas. Esses estudos relacionam-se com a presença dos gases raros Neón e Kripton, muito pesados para escaparem da atmosfera para o espaço. Eles não reagem com os produtos superficiais dos planetas e suas quantidades atuais refletem suas quantidades originais nos planetas.

Segundo Bertaux (1994), a razão Neón/Argônio presente nos planetas internos mostra-se similar, porém muito diferente daquela presente no Sol, que reflete a composição original da primitiva nébula. Isso afasta a possibilidade de as atmosferas desses planetas terem sido capturadas a partir dessa primitiva nébula original.

Aventou-se outra possibilidade de ser a formação das atmosferas nos planetas internos do nosso sistema solar relacionada com a presença de corpos extraterrestres. Entretanto, a abundância da absorção de Argônio diminui drasticamente de Vênus para Marte. Pressupondo terem tido esses planetas as mesmas chances de serem bombardeados por cometas e asteróides ao longo de suas histórias, tal fato exclui a hipótese de terem sido as atmosferas formadas por esses corpos.

Resta a hipótese da acreção (Bertaux, 1994): as atmosferas já estariam presentes nos grãos de poeira cósmica antes de serem agregados para formar os planetas. Nesse caso, por exemplo, a água poderia estar presente em minerais hidratados como a serpentina, constituintes dessa poeira cósmica. Fortemente aquecidos no interior dos planetas, esses minerais teriam liberado a água na forma de vapor e dispersado na superfície dos planetas por vulcanismo.

A química mineral nos diz que minerais condensados a partir dessa primitiva nébula gasosa, a diferentes temperaturas e distâncias do Sol, poderiam apresentar proporções diferentes para cada planeta e liberariam, em consequência, proporções diferentes de gases. Essa hipótese é reforçada quando se compara a composição química de Mercúrio com a da Terra e a dos satélites de Júpiter.

Estima-se que quantidades equivalentes de CO_2 e N_2 tenham sido liberadas nas atmosferas de Vênus e da Terra. Mas, enquanto o CO_2 permaneceu em

grande parte na atmosfera de Vênus, esse gás foi em grande parte fixado na água em rochas da Terra, como o calcário (CaCO_3). No caso de Marte, quantidades equivalentes de H_2O , N_2 e CO_2 foram liberadas em sua atmosfera. Entretanto, pela pequena massa do planeta, seu interior foi menos aquecido e a liberação desses gases ainda está em curso. No caso da Terra, a liberação foi rápida (menos que em 1 bilhão de anos) por suas altas temperaturas internas.

Os principais gases formadores da atmosfera da Terra foram o vapor d'água, o dióxido de carbono, o monóxido de carbono e o nitrogênio. O oxigênio e o hidrogênio foram produzidos pela decomposição da água quente, sendo o oxigênio posteriormente incorporado às rochas. As consequências para o planeta foram inúmeras, a saber:

- essa água teria formado os oceanos e mares, assim como os depósitos glaciais que ocorrem no planeta;
- parte do CO_2 foi fixado na forma de calcário;
- o hidrogênio, muito leve, foi, em grande parte, perdido para o espaço.

Desse modo, a atmosfera primitiva da Terra era constituída principalmente de nitrogênio e dióxido de carbono, com pouco hidrogênio, vapor d'água e monóxido de carbono. Esses gases, sob a ação da radiação ultravioleta solar e da eletricidade dos raios (Miller, 1956, *apud* Muddox, 1999, p.126), proporcionaram a formação dos primeiros aminoácidos, que teriam levado ao surgimento da vida na Terra cerca de 3.7 bilhões de anos atrás.

A tabela abaixo mostra minerais e ligas metálicas, constituintes da primitiva nébula interestelar da qual se teria originado o universo. Na nossa parte do cosmos, esses materiais ter-se-iam concentrado para formar os planetas e, posteriormente, com a evolução, os planetas teriam liberado os elementos químicos para a formação das atmosferas aqui presentes.

Tabela 1 - Atmosfera da Terra

Mineral	Gases liberados na atmosfera
C,N, adsorvidos em ligas de Fe-Ni	N_2
Olivina $(\text{Fe,Mg})_2 \text{SiO}_4$	CO , CO_2 , NO , NO_2
Piroxênio $(\text{Ca,Fe,Mg}) \text{SiO}_3$	
Tremolita $\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	H_2O , NH_3 , PH_3 , CH_4
Serpentina $(\text{Fe,Mg})_3 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$	HCl , HF , H_2S , H_2
Talco $(\text{Fe,Mg})_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$	

Contribuição da Geologia Introdutória ao tema:

- estrutura interna da Terra, com ênfase para parte superior do Manto;
- - vulcanismo, magma e lava;
- calcário e dolomito. Conceito e qual o papel dessas rochas na fixação do dióxido de carbono;
- reações que ocorrem no líquido magmático e que proporcionam a cristalização fracionada dos minerais;
- contribuição à formação das atmosferas pelo conhecimento dos minerais por meio de suas fórmulas químicas;
- intemperismo físico e químico;
- conhecimento do tempo geológico.

Origem da vida no universo

A reputação dos cometas e asteróides ao longo da história humana esteve sempre ligada à destruição e ao terror. Entretanto, após a última década de 50, cientistas espaciais começaram a compreender que esses corpos encerravam elementos químicos primordiais para a formação de moléculas orgânicas. Cometas e outros remanescentes da formação do nosso sistema solar aprisionaram gases e moléculas de água, os quais seriam os responsáveis pela atmosfera (vide tema anterior) e pelos oceanos que fazem o nosso planeta ser habitado (Bernstein et al., 1999), teoria que, se ainda é controversa com relação às atmosferas, é bem aceita com relação à origem e formação dos oceanos terrestres. Atualmente a esses corpos é creditada uma importância ainda maior, que é o fato de eles serem considerados os responsáveis pelo surgimento da vida na Terra. No interior de suas partículas microscópicas originárias da poeira estelar original, formaram-se cápsulas capazes de abrigar os primeiros processos celulares. Essas feições observadas nesses corpos extraterrestres são similares a microimpressões de carbono orgânico presentes em rochas de 3.7 bilhões de anos, observadas na Groelândia.

Estudos mais ou menos recentes têm demonstrado que uma forma antes desconhecida do mineral gelo (que, na Terra, ocorre sob o sistema cristalino hexagonal) foi detectada no espaço interestelar e recentemente sintetizada em laboratório (Blake & Jenniskens, 2001). Esse "gelo exótico", de baixíssima temperatura e pressões mínimas, cristaliza-se no sistema cúbico, ocorrendo também em sua forma amorfa. Esse gelo interestelar contém moléculas de dióxido de carbono, monóxido

de carbono, silicatos, hidrocarbono, metanol e água, os quais se combinam para formar compostos orgânicos sob a atuação da radiação solar ultravioleta, gerando as bases para a formação dos aminoácidos. Esse gelo constitui a maior parte das massas dos cometas. Tal fato é inusitado, pois sabemos que o nosso gelo hexagonal expele, durante sua cristalização, todo o material porventura capturado por ele, incluindo moléculas orgânicas, sendo, portanto, do ponto de vista da vida, completamente estéril.

Contribuição da Geologia Introdutória ao tema:

- composição química dos asteróides e cometas;
- composição química dos planetas rochosos enfatizando a Terra;
- tempo geológico - tempo absoluto e relativo;
- sistema cristalino dos minerais (mineralogia).

A terra como uma bola de neve (snow ball earth)

As últimas eras glaciais que ocorreram em nosso planeta deixaram inúmeros vestígios de suas passagens, na forma de modelamento do terreno e na formação de rochas típicas. Elas têm sido interpretadas como fenômenos corriqueiros na história do nosso planeta e quase sempre ocorriam de maneira localizada, preservando, em grande parte, as regiões tropicais. Quanto mais recentes, mais vestígios resistiram ao intemperismo natural, de maneira que temos idéias excelentes das glaciações que afetaram a Terra nos últimos 300 milhões de anos, por exemplo.

Até então, resfriamentos radicais, que afetaram a Terra como um todo e por longos períodos de tempo, ainda não tinham sido reconhecidos. Entretanto, mudanças climáticas muito intensas têm sido reconhecidas em outros locais do nosso sistema solar, como, por exemplo, em Vênus (Bulloch & Grinspoon, 1999).

Recentemente, um período de extremo frio foi reconhecido em uma parte longínqua de nosso passado geológico. Comparadas com esse, as outras glaciações conhecidas poderiam ser consideradas como noites frias, cujos efeitos seriam dissipados parcialmente na manhã seguinte. Essa grande glaciação afetou o nosso planeta ao final do período Pré-Cambriano, 600 milhões de anos atrás. Considerando o tempo decorrido, suas evidências se perderam em grande parte, porém recentemente foram descobertos vestígios dessa glaciação em praticamente todos os continentes (Hoffman & Schrag, 2000). Sabe-se que ela foi tão severa que a Terra como um todo foi tomada pelo gelo, que

ocorria até em latitudes tropicais. Na verdade, a Terra transformou-se em uma bola de neve cósmica, por cerca de 10 milhões de anos. O calor interno, entretanto, preveniu a continuidade dos oceanos sob a capa de gelo, preservando existência da vida que neles existia. A temperatura normal na superfície da Terra era de cerca de -50°C e uma camada de gelo de cerca de 1 km em média cobria todo o planeta.

Para a vida, a Terra deve ter apresentado um aspecto desolador e inóspito, porém é difícil precisar como os organismos foram afetados por essa idade glacial. Sabe-se, entretanto, que em todos os locais reconhecidos foram constatadas, na fronteira do Pré-Cambriano-Paleozóico (570 milhões de anos atrás), evidências de extinção de organismos de corpo mole, como medusas, pólipos e vermes anelídeos (Donovan, 1989). Esses organismos foram denominados Fauna de Ediácara, em referência ao local da Austrália onde foram primeiramente identificados.

Devem-se mencionar, entretanto, reações sobre a existência dessa extinção. Alguns autores, como Patterson & Smith (1987), consideram que o que houve foi uma pseudoextinção ou evolução filética - a mesma que teria transformado alguns grupos de dinossauros nos nossos atuais pássaros - vide Sgarbi, 1999) - que significa o desaparecimento dos organismos por evolução, baseado na existência de seres muito semelhantes aos seus possíveis precursores de Ediácara, encontrados no início do Paleozóico (Período Cambriano). Ainda existem autores que acreditam que aqueles organismos não foram encontrados simplesmente porque seus vestígios foram destruídos ao longo do tempo geológico -por outros organismos predadores ou pelo intemperismo -, devido à sua antiguidade.

Entretanto, houve uma reação da natureza, no sentido de preservar a vida no planeta. Lentamente, foram-se criando novas condições ambientais que iriam proporcionar uma saída para o congelamento: o acúmulo de CO_2 na atmosfera terrestre, originário das emanações gasosas relacionadas com as atividades vulcânicas, o qual iria lentamente criando o efeito estufa que resgataria a continuidade da vida. Não se sabe o que teria acontecido com os organismos se essa providência tomada pela natureza não tivesse sido levada a efeito.

Uma questão que se levanta é como um evento tão significativo pode ser reconhecido após várias centenas de milhões de anos? Através do fato de toda rocha retratar o ambiente na qual ela formou. No caso específico, elas foram relacionadas com a geologia glacial.

Pesquisadores reconheceram vestígios dessas rochas em muitos locais do globo, inclusive em zonas tropicais. Especificamente, um local especial, a Costa do Esqueleto, noroeste da Namíbia, exibe as melhores feições, observadas também na Patagônia argentina. Na Namíbia, diamictitos, rochas sedimentares formadas pelas geleiras são abruptamente recobertas por rochas carbonáticas - calcários e dolomitos- as quais só se formam em águas tépidas, ambiente diverso do glacial. Essas rochas carbonáticas foram formadas pelo CO_2 vulcânico que se transformou em bicarbonato, o qual foi lixiviado até os oceanos. Lá, ele reagiu com o Ca^{++} e o Mg^{++} disponível para formar os grandes estoques de carbono na forma do calcário (CaCO_3) e dolomito (MgCO_3) (Berner & Lasaga, 1989). Outros fatores importantes por considerar são: a passagem abrupta do conjunto de rochas glaciogênicas (de clima frio) e carbonáticas (de clima tépido) mostra que a mudança climática foi brusca e o aumento da temperatura exerceu grande e benéfica influência no aumento da atividade orgânica então presente nos oceanos.

Análise dessa atividade orgânica pôde também ser verificada, tanto nas rochas glaciogênicas, quanto no seu capeamento de rochas carbonáticas, por meio do estudo de isótopos de C-12 e o raro C-13. Suas relações mostram as atividades orgânicas na época. Na ausência de organismos, a proporção C-12/C-13 é de 99 para 1, que é a quantidade original presente no CO_2 de origem vulcânica. Porém, organismos como algas e bactérias necessitam apenas do C-12 para seu metabolismo; dessa maneira, o carbono disponível para formar calcários e dolomitos em oceanos com vida abundante apresenta uma alta razão de C-13 para C-12. Dessa maneira, as rochas também nos mostram dados importantes sobre a vida primordial no planeta, cerca de 600 milhões de anos atrás.

Na Namíbia, os isótopos de carbono nas rochas carbonáticas imediatamente acima das rochas glaciogênicas revelam, além da explosão da vida, a passagem de uma era geológica (Pré-Cambriano) para outra (Paleozóica), onde se deu a explosão de vida dos vertebrados.

Contribuição da Geologia Introdutória ao tema:

- vulcanismo, rochas intrusivas, extrusivas, composição dos voláteis;
- estrutura da Terra, sismologia, gradiente geotérmico;
- rochas sedimentares - calcário, dolomito e diamictitos;
- ciclo do carbono - liberação e fixação;

- efeito Albedo e superfícies geladas;
- coluna geológica.

Estocagem geológica de gases do efeito estufa

Atualmente, não se tem dúvida de que nosso planeta encontra-se em franco processo de aquecimento global e que suas causas estão diretamente relacionadas com a concentração anômala de gases que retêm o calor solar na atmosfera, em um processo acertadamente denominado efeito estufa (greenhouse effect). Provas contundentes desse aquecimento têm sido mostradas pelos estudiosos, como a perda quase que total da cobertura de gelo no Kilimandjaro (só restam 25% do gelo que existia há algumas centenas de anos) e a formação de icebergs gigantes, como o que se destacou da calota da Antártica recentemente, com cerca de 100 km de extensão. Sabe-se, ainda, que, desde o início da revolução industrial, como reflexo da atividade humana, a concentração de dióxido de carbono - CO₂ - o principal causador do efeito estufa por sua quantidade na atmosfera acumulou-se em um terço, de 270 para 370 partes em cada milhão (ppm). As conseqüências desse aquecimento global são fáceis de se prever:

- empobrecimento das regiões tropicais e peritropicais pela formação de desertos, com grandes prejuízos para a agricultura;
- elevação dos níveis dos oceanos pelo degelo das calotas polares. Apenas uma gigantesca placa de gelo existente na Antártica Ocidental, do tamanho do México, se fundida, elevaria o nível dos oceanos em cerca de seis metros. Ela descansa apoiada no fundo do Mar de Ross, a 2.500 m de profundidade. Imagens de satélites têm mostrado que essa placa sofre uma redução em sua extensão de cerca de 125 m/ano (Simpson, 2000). A conseqüência de uma elevação marinha global de alguns metros seria a perda da totalidade das cidades litorâneas de todo o globo, além da inundação de grandes áreas litorâneas planas, como nas fozes dos rios Paraná, Mississippi, Amazonas, além de vastas regiões da Europa Setentrional e do Sudeste Asiático;
- aumento das chuvas pela maior evaporação da água com incremento dos fenômenos meteorológicos, como tornados, furacões, ciclones e outros, como o El Niño;
- deslocamento da agricultura tropical para os climas temperados, deteriorando ainda mais as condições econômicas e sociais dos países de clima tropical.

O que fazer com o CO₂, uma vez que ele é o produto da queima de combustíveis fósseis - carvão, petróleo e gás natural, além da madeira - responsáveis pela maioria das atividades industriais do mundo? Acredita-se que sua redução seja indesejável para os países industrializados, como bem têm mostrado os Estados Unidos, que se recusam unilateralmente a reduzir o volume de suas emissões desse gás, negando-se a participar dos compromissos do Protocolo Internacional de Kyoto, que preconiza a redução dos gases que promovem o efeito estufa. Estabelecer cotas de benefícios para países com grandes florestas, que funcionam como armazenadores de carbono em sua biomassa e, desse modo, incentivar o plantio e a preservação das florestas? Direcionar a indústria para abandonar os motores de explosão e criar uma nova geração de motores a hidrogênio, como já existe experimentalmente em vários países? Incentivar o plantio de florestas com fins específicos para armazenamento de carbono em sua biomassa? Utilizar os gases nos processos industriais, como, por exemplo, na indústria de alimentos? Deve ser feito tudo isso e muito mais, inclusive utilizando formas novas e revolucionárias de atacar - ou minorar- o problema, como o muito interessante armazenamento do CO₂ por milhares de anos, sem nenhum prejuízo ecológico, em formações geológicas profundas, no subsolo (Herzog et al., 2000).

Os combustíveis fósseis são baratos e estarão disponíveis por mais algumas décadas, em abundância. Hoje, 85% de toda a energia comercial do mundo é originária desses combustíveis. Portanto, não devemos esperar medidas radicais da indústria mundial no sentido de substituir essa forma de geração de energia, a qual só virá com a necessidade premente de sua substituição. Mesmo seu abandono ocasionaria efeitos a longo prazo, uma vez que seu excesso levaria cerca de 100 anos para ser absorvido pelos processos naturais. Portanto, temos de conviver com o problema ainda por algumas gerações.

Uma alternativa que amenizaria esse problema pelo menos até o desenvolvimento de motores alternativos seria a estocagem do CO₂, que atualmente é jogado na atmosfera, em reservatórios geológicos naturais, disponíveis em abundância e com características favoráveis para reter o CO₂, como o fazem em grande escala os vegetais e o solo. Uma experiência nesse sentido está sendo levada a efeito no campo de petróleo de Sleipner no mar do Norte, a 240 km da costa da Noruega.. Lá, plataformas de petróleo estão lançando 20.000 t/semana de CO₂ para formações geológicas situadas a 1.000 m de profundidade abaixo do leito marinho, evitando que

ele seja liberado na atmosfera. O novo reservatório para esse gás é um arenito poroso, conhecido como Formação Utsira. Entretanto, o principal motivo para esse ato de benevolência ecológica são as altas taxas de emissão cobradas pelo governo norueguês. A taxa cobrada pela Noruega para o lançamento de gás chegou, em 1996, a US\$50.00/t de gás emitido na atmosfera (foi reduzido para US\$38.00/t em 2000). Todo o equipamento necessário para essa injeção do gás custa em torno de US\$80 milhões. Como a cada ano as companhias que exploram o campo de Sleipner pagam cerca de US\$50 milhões/ano de taxa de emissão à Noruega, o investimento é um ótimo negócio e tende a se ampliar, inclusive no Brasil, onde o gás das nossas plataformas continentais é, em sua maioria, lançado diretamente na atmosfera.

Com o avanço da pesquisa para esse tipo de estocagem, outros ambientes geológicos estão sendo considerados adequados para o armazenamento desse gases do efeito estufa, como camadas de carvão não-mineráveis, domos salinos, aquíferos salinos profundos e antigos reservatórios já explorados de água e gás.

Contribuição da Geologia Introdutória ao tema:

- conhecimento sobre a formação e ocorrência dos hidrocarbonetos (petróleo, gás e carvão);
- conceito de porosidade e permeabilidade de rochas, incluindo fraturamento dos depósitos;- conceitos de arenitos e folhelhos;
- condicionamento geológico dos domos salinos;
- intemperismo e formação de solos. Conceito de rocha sã e alterada;
- conceito de bacia sedimentar

Extinções das espécies e mudanças climáticas

Extinções em massa de espécies estão sempre ligadas a mudanças bruscas e radicais no meio ambiente. Se a temperatura cresce, organismos tropicais fogem para as zonas temperadas, e os organismos polares podem ser dizimados. Se a temperatura esfria-se, uma migração inversa ocorre, com prejuízo para os organismos tropicais, agora aprisionados em uma armadilha mortal. Tal comportamento é verdadeiro para todos os seres, mas os seres marinhos são os mais susceptíveis de sofrerem com essas mudanças. Basta a flutuação em graus centígrados no delicado equilíbrio dos oceanos para haver mortandade em grande escala. Os geólogos e paleontólogos conseguem enxergar nas rochas, tanto as mudanças climáticas ocorridas, como as evidências da conseqüente mortandade dos organismos.

Antes da década de 80, pouco se sabia sobre os mecanismos que controlariam as extinções globais verificadas ao longo do registro geológico. Várias idéias eram veiculadas, dentre elas a da década de 50, que preconizava que as mortandades em larga escala estariam relacionadas com as ondas de radiações originadas de explosões supernovas, nas imediações do nosso sistema solar (Donovan, 1989). Entretanto, De Laubenfels (1956) invocou como causa das extinções dos grandes répteis ao final do Cretáceo o impacto de um bólido extraterrestre contra a Terra, abrindo caminho para posteriores investigações nessa linha. Entretanto, o estudo que mudou radicalmente as interpretações das extinções em massa foi o publicado por Luiz Alvarez e colaboradores na revista Science, em 1980, onde foram mostradas evidências geoquímicas do impacto de um corpo extraterrestre, que teria sido então o mecanismo para a extinção das espécies no intervalo Cretáceo-Terciário, cerca de 64.5 milhões de anos atrás.

O fato é que a geologia tem registrado, desde o final do Pré-Cambriano (570 milhões de anos atrás) até o Pleistoceno (2 milhões de anos atrás), cerca de nove extinções globais. Entretanto, em duas ocasiões, elas ocorreram com magnitudes extremas, diferenciando-se das demais (Donovan, 1989, Sgarbi & Dardenne, 1997).

O primeiro evento ocorreu cerca de 248 milhões de anos atrás, na passagem do período Permiano para o Triássico (Donovan, 1989). A vida marinha e terrestre foi devastada em cerca de 96% das espécies. Os seres sobreviventes encontraram um mundo completamente diferente daquele ao qual tinham sobrevivido, mais quente e em processo de fragmentação de sua crosta, que daria a forma dos continentes e oceanos de hoje.

O segundo evento ocorreu na fronteira entre o Cretáceo e Terciário (64,5 milhões de anos atrás) e devastou também grande parte dos seres vivos terrestres e marinhos. Por ser de idade mais recente, suas evidências são muito bem conhecidas. Essa extinção notabilizou-se popularmente por ser a causa do desaparecimento dos grandes répteis no final do Cretáceo (Donovan, 1989, Sgarbi, 1999).

Analisando o que motivou esses desaparecimentos faunais e florais em grande escala, chegou-se a novas e importantes questões, a saber: a contraposição entre o catastrofismo e o gradualismo de Darwin.

Tradicionalmente, duas correntes de pensamentos associam mudanças ambientais bruscas em nosso planeta a dois fenômenos: vulcanismo em grande escala e impacto na Terra por um corpo extraterrestre.

Vulcanismo em grande escala:

Em ambas as fronteiras temporais supradescritas relacionadas com mudanças climáticas e extinções, ocorreram alguns dos maiores eventos vulcânicos do planeta, com extravasamento de centenas de milhares de quilômetros quadrados de lavas. O vulcanismo relacionado com o primeiro evento (Permo-Triássico) ocorreu na Sibéria, durando um período de tempo geológico relativamente curto, cerca de 800.000-900.000 anos. Poeira e gases foram lançados na atmosfera em grandes quantidades. As conseqüências para a vida foram: um resfriamento global decorrente da obstrução da luz do sol durante anos, e depois um aquecimento decorrente dos gases agora presentes na atmosfera, patrocinadores do efeito estufa.

O segundo grande evento de extinção em larga escala (fronteira Cretáceo-Terciário) foi também contemporâneo de um extravasamento vulcânico de magnitude semelhante à da fronteira anterior. Ocorreu no planalto de Deccan, centro-oeste da Índia, por um período contínuo de dois milhões de anos de atividades.

Portanto, o vulcanismo estava presente nesses dois eventos gigantes de extinção em massa, o que tem levado muitos pesquisadores a atribuírem a esse fenômeno a principal causa para as extinções em massa conhecidas.

Impacto por corpos extraterrestres:

Estudiosos do assunto, como Luiz Alvares (Alvarez et al., 1980) demonstraram, de maneira categórica, que a Terra, durante intervalo Cretáceo-Terciário, foi objeto de um choque com um corpo extraterrestre com cerca de 10 km de diâmetro. Dados geoquímicos e mineralógicas foram aceitos pela maior parte da comunidade geológica. Posteriormente, descobriu-se que esse impacto ocorreu na região de Yucatan, no México, local onde se pode vislumbrar uma estrutura de impacto denominada cratera de Chicxulub, com cerca de 300 km de diâmetro. O impacto de um corpo dessa magnitude teria um efeito semelhante, para o ambiente, de um episódio vulcânico em larga escala. Inicialmente, a atmosfera seria obstruída por nuvem de pó que impediria a passagem dos raios solares. Nesse caso específico, a interrupção da fotossíntese com a quebra da cadeia alimentar teria sido a principal causa para o desaparecimento dos grandes animais continentais, dentre eles os dinossauros e os pterossauros, os répteis voadores.

No caso da primeira extinção, há poucas evidências de impactos, apesar de se saber hoje que a cratera de impacto de Araguainha, posicionada

entre os estados de Goiás e Mato Grosso, mostrou possuir idade exatamente igual à atribuída à extinção global. Essa cratera, entretanto, por suas dimensões relativamente reduzidas (40 km de diâmetro), não poderia servir de cenário para a maior mortandade já registrada. Porém, por ser o evento muito antigo, seus efeitos em outros locais podem ter sido destruídos pelo intemperismo. Outras crateras podem ter desaparecido ou mesmo estarem encobertas por sedimentos no fundo dos oceanos, área mais provável de receber um impacto cósmico na superfície da Terra.

Portanto, abre-se um debate científico que há muito tem empolgado os cientistas. Creditar ao vulcanismo ou a impacto cósmico as grandes mudanças ambientais que ocorrem no planeta, assim como suas correspondentes extinções em massa. Nesse sentido, autores como Morgan (1986) e Courtillot (1990) sugerem que os vulcanismos basálticos registrados relacionam-se sistematicamente com os períodos de extinções em massa. Seus efeitos seriam muito semelhantes àqueles relacionados com um impacto cósmico, como saturação da atmosfera por poeira e gases, formação de tsunamis (maremotos), além de concentrações anômalas de metais raros na crosta terrestre como platinóides. Adicionalmente, tem-se admitido que um impacto de grandes proporções geraria também vulcanismo em grande escala, graças à propagação pela Terra das ondas de choque. Pelo menos no caso da extinção do Cretáceo-Terciário, pode-se afirmar a existência conjunta desses dois fenômenos.

Contribuição da Geologia Introdutória ao tema:

- elementos químicos comuns e elementos exóticos, presentes na crosta terrestre;
- composição química dos meteoros;
- minerais específicos e estruturas e feições especiais nas rochas formadas durante impacto de meteoros;
- vulcanismo basáltico, seus constituintes voláteis;
- disposição dos continentes ao longo do tempo geológico (Tectônica Global);
- dinossauros e pterossauros - hipótese de suas extinções;
- o vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná e ausência de extinção no período;
- geocronologia (tempo absoluto) de rochas magmáticas;
- coluna geológica;
- modificações na atmosfera e na biosfera por vulcanismo e impacto cósmico.

CONCLUSÕES

1) Para a boa formação acadêmica de leigos cultos, torna-se necessária a inclusão de temas geológicos introdutórios para todos os alunos do I e II graus. Esse ensino fundamental seria muito bem realizado se ministrado por geólogos, os quais obteriam seus credenciamentos através de cursos de licenciaturas.

2) Também nas universidades, o ensino da Geologia Introdutória está sendo subestimado por uma falta de visão a longo prazo dos problemas a serem enfrentados pela sociedade a médio e longo prazo. Cursos como o de Engenharia Civil (UFMG) estão descartando disciplinas essenciais como mecânica de rochas, o que constitui um erro gravíssimo, uma vez que são eles que construirão os túneis, adutoras, estradas e viadutos necessários à futura formação da infra-estrutura do País. Significa nossa futura dependência de um setor que antes dominávamos, que é o da construção de grandes obras civis. Esse mesmo curso não se preocupa com a ausência de trabalho de campo na disciplina Geologia Introdutória oferecida aos seus alunos, mesmo com os custos reduzidos e excelente panorama geológico, proporcionados pela infra-estrutura da UFMG (Sgarbi & Almeida-Abreu 1997).

3) Fator importante nesse contexto do desconhecimento de temas geológicos é a falta de materiais didáticos em língua portuguesa. O problema começa a ser arranhado, com a confecção de obras recentes ou não (Leinz & Amaral 1980, Bigarella 1985, Popp 1987, Sgarbi 1987, Série Unicamp, Série USP dentre outros). Nesse contexto, deve-se destacar o excelente e didático livro de Geologia Introdutória de Teixeira et al. (2000), leitura obrigatória para todo universitário. Normalmente, não se observa apoio institucional para a realização de obras didáticas, apesar de termos massa crítica e conhecimento para tal. Dever-se-ia abrir uma linha de incentivo, via MEC, para a produção de textos científicos de alta qualidade, utilizando principalmente nossos professores universitários, notadamente, mas não exclusivamente, os aposentados, com grande cabedal de conhecimentos e massa crítica, que sistemática e lamentavelmente vemos se perder ao longo dos anos.

4) Ainda nessa linha de produção de materiais didáticos, órgãos oficiais, como o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), ambos da administração federal, teriam plenas condições de confeccionar coleções didáticas de rochas e minerais. Esse material, acompanhado de folhetos e manuais de

instruções, com um pequeno suporte de informática incluso, seria distribuído gratuitamente para todas as escolas públicas do País e vendidos, a preço de custo, para as escolas particulares.

5) É proposta aqui a inclusão de uma disciplina denominada Geologia Introdutória, ministrada por geólogos, em todos os cursos das áreas de ciências exatas, incluindo a Física e a Matemática de modo a ampliar a discussão e auxiliar o entendimento de temas como os que aqui foram descritos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, L., ALVAREZ, W., ASARO, G., MITCHELL, H.V. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, v.208, n.4448, p.1095-1108, 1980.
- BERNSTEIN, M.P., SANDFORD, S.A., ALLAMANDOLA, L.J. Life's far-flung raw materials. *Scientific American*, v.281, n.1, p.26-33, 1999.
- BERTAUX, J.L. The origin of the atmospheres. In: *Le Grand Atlas de l'Astronomie*. Paris: Encyclopaedia Universalis; Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- BIGARELLA, J.J. *Rochas do Brasil*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos: ADEA, 1985. 310p.
- BLAKE, D.F., JENNISKENS, P. The ice of life. *Scientific American*, v.265, n.2, p.36-41, 2001.
- BULLOCK, M.A., GRIPOON, A. Global climate changes on Venus. *Scientific American*, v.280, n.3, p.50-57, 1999.
- COURTILLOT, V.E. A volcanic eruption. *Scientific American*, v.263, n.4, p.85-92, 1990.
- DE LAUBENFELS, M.W. Dinosaurs extinction: one more hypothesis. *Journal of Paleontology*, v.30, n.1, p.307-312, 1956.
- DONOVAN, S.K. (ed.). *Mass extinction*. New York: Columbia University Press, 1994. 266p.
- HERZOG, H., ELIASSON, B., KAARTAD, O. Capturing greenhouse gases. *Scientific American*, v.282, n.2, p.54-61, 2000.
- HOFFAMN, P.F., SCHRAG, D.P. Snowball earth. *Scientific American*, v.282, n.1, p.50-57, 2000.
- LEINZ, V., AMARAL, S.E. *Geologia geral*. 8.ed. São Paulo: Ed. Nacional, 1980. 397p.
- MADDOX, J. *O que falta descobrir*. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 398p.
- MORGAN, W.J. Flood basalts and mass extinction. *EOS/AGU*, v.67, n.16, p.391, Apr. 1986.
- PATTERSON, C., SMITH, A.B. Is the periodicity of extinction a taxonomic artefact? *Nature*, v.330, n.6145, p.248-251, 1987.
- POPP, J.H. *Geologia geral*. 4.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 295p.

- SÉRIE OS RECURSOS FÍSICOS DA TERRA. Campinas : Ed. Unicamp. CP 6074, CEP 13083-970, fone 0192 398412, fax 0192 393157, [http:// www.editoras.com/unicamp](http://www.editoras.com/unicamp)
- BLOCO 1 – AUTOR (ES). **Recursos, economia e geologia - uma introdução.** Campinas : Ed. Unicamp, 108p.
- BLOCO 2 – AUTOR (ES). **Materiais de construção e outras matérias brutas.** Campinas : Ed. Unicamp, 89p.
- BLOCO 3, parte 1 – AUTOR (ES). **Depósitos minerais 1: origem e distribuição.** Campinas : Ed. Unicamp, 121p.
- SÉRIE TEXTOS BÁSICOS EM GEOCIÊNCIAS. São Paulo : E. Blucher; EDUSP.
- BLOOM, A.L. **Superfície da terra.** São Paulo : E. Blucher, 1970. 184p.
- CLARK, S.P. **Estrutura da terra.** São Paulo : E. Blucher, 1973. 121p.
- EICHER, D.L. **Tempo geológico.** São Paulo : E. Blucher, 1969. 172p.
- ERNEST, W.G. **Minerais e rochas.** São Paulo : E. Blucher, 1971. 162p.
- GOODY, R.M., WALKER, J.C.G. **Atmosferas planetárias.** São Paulo : E. Blucher, 1975. 139p.
- LAPORTE, L.F. **Ambientes antigos de sedimentação.** São Paulo : E. Blucher, 1969. 145p.
- McALESTER, A.L. **História geológica da vida.** São Paulo : E. Blucher, 1969. 173p.
- SKINNER, B.J. **Recursos minerais de terra.** São Paulo : E. Blucher, 1970. 139p.
- _____, TUREKIAN, K.K. **O homem e o oceano.** São Paulo: E. Blucher, 1977. 155p.
- TUREKIAN, K.K. **Oceanos.** São Paulo : E. Blucher, 1969. 151p.
- WOOD, J.A. **Sistema solar.** São Paulo : E. Blucher, 1973.
- SGARBI, G.N.C. **Dinossauros: extinção ou evolução? Presença Pedagógica**, v.5, n.27, p.88-98, mai./jun. 1999.
- _____, ALMEIDA-ABREU, P.A. de. **Eschwege Geology Center and the Espinhaço Mountains: the institution and a field-geology laboratory in Central Plateau of Brazil.** In: *International Conference on Geoscience Education (2. : 1997 : Hilo, Hawaii)*. Hilo, University of Hawaii at Hilo, 1997, v.1., p.43-45.
- _____, CARDOSO, R.N. **Prática de geologia introdutória.** Belo Horizonte : UFMG/PROED, 1987. 151p.
- _____, DARDENNE, M.A. **Evolução climática do Gondwana nas regiões Centro-Sul do Brasil e seus registros geológicos continentais durante o Mesozóico, enfatizando o Arco do Alto Paranaíba, na borda NNE da Bacia do Paraná e a porção meridional da Bacia Sanfranciscana, no oeste do estado de Minas Gerais.** *Genomos*, v.4, n.1, p.21-49, 1997.
- SIMPSON, S. **Melting away.** *Scientific American*, v.282, n.1, p.14-15, 2000.
- TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M. de, FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. **Decifrando a terra.** São Paulo : Oficina de Textos, 2000. 568p.