

Elementos sobre Epistemologia da Geologia: uma contribuição no Ano Internacional do Planeta Terra

Epistemological Fundamentals of Geology: an account in the International Year of Planet Earth

EDITE BOLACHA – ebolacha@netcabo.pt (LabGExp, Centro de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal)

RESUMO: Seguindo uma perspectiva histórica, revelam-se princípios filosóficos e metodologias inerentes à construção do conhecimento geológico, não raras vezes apresentados como inquestionáveis, mas que terão sido estabelecidos durante anos de debate e trabalho científico. Muitas questões ainda se colocam e a emergência e evolução de teorias globalizantes, como a Tectónica de Placas, fazem repensar e apurar os princípios e metodologias das actuais Geociências, cuja relevância se destaca na Terra Global, em que o paradigma Sustentabilidade se apresenta como a solução para problemas de diversa índole.

PALAVRAS-CHAVE: Epistemologia da Geologia, AIPT, Sistema Terra, Raciocínios Geológicos, Métodos Geológicos.

ABSTRACT: Following an historical perspective, the main philosophical principles and methodologies inherent to the geological knowledge creation are addressed in order to show the fundamentals of an evolution rooted in long-term debate and scientific work. Many questions are still open and recent advances in global theories, as Plate Tectonics, put in evidence the need to go deep in second thoughts. This justifies the re-appraisal and improvement of the common principles and methodologies used in Geosciences, whose relevance is outstanding in Global Earth, where the Sustainability paradigm emerges as a solution for problems of miscellaneous nature.

KEYWORDS: Epistemology of Geology, IYPE, Earth System, Geological Reasoning, Methodology of Geology.

1. INTRODUÇÃO

A IUGS/UNESCO dedicou o triénio 2007-2009 às “Ciências da Terra para a Sociedade” e, neste contexto, 2008 foi proclamado pela Assembleia-Geral das Nações Unidas como o “Ano Internacional do Planeta Terra” (AIPT). Os diversos eventos integrados nesta iniciativa decorrem até 2009, procurando: a) chamar a atenção para os problemas que afectam o Planeta em que vivemos; e b) sensibilizar a Sociedade para a importância vital do conhecimento geocientífico na resolução dos numerosos problemas (identificados e que se antecipam) relacionados com o desenvolvimento sustentável (<http://www.yearofplanetearth.org>).

Foi justamente há 100 anos que Frank Taylor, glaciologista americano, propôs a hipótese da Deriva dos Continentes para explicar a formação das montanhas asiáticas e europeias, a qual viria a ser publicada em 1910 (Wagner, 1991). Um ano e meio depois, como é do conhecimento geral, Alfred Wegener, um meteorologista alemão, propunha a Teoria Unificada da Deriva dos Continentes, porque fundamentada com argumentos de natureza interdisciplinar. Comemora-se também em 2008 o centenário do nascimento de Tuzo Wilson (1908-1993), cientista que, em meados dos anos 60 do século XX, estabeleceu alguns conceitos chave subjacentes à Teoria da

Tectónica de Placas, teoria que permite explicar fenómenos geológicos tão distintos e aparentemente sem relação como o vulcanismo, as cadeias de montanhas ou os sismos (Mattauer, 1998). Para além do seu valor conceptual, a Tectónica de Placas deu assim um importante contributo ao desenvolvimento da epistemologia das Geociências (Marques, 1998), fornecendo uma visão integrada e interdisciplinar da Terra.

Atribui-se a Tuzo Wilson o mérito de ter demonstrado que algumas bacias oceânicas apresentam uma história cíclica de abertura, expansão e fecho, seguida de colisão continental e, posteriormente, de abertura de novos oceanos (Wilson, 1966), estabelecendo o que mais tarde viria a designar-se por ciclo de Wilson; modelo que confere uma dimensão evolutiva ao tradicional ciclo das rochas (Fichter & Poche, 2001). Integrando este ciclo na Tectónica de Placas, é possível narrar a história da Terra, comprometendo as diversas valências do conhecimento geocientífico numa explicação multi- e interdisciplinar dos processos responsáveis pela génese dos principais objectos de estudo da Geologia, porque constituintes fundamentais: os minerais e as rochas.

A procura de teorias explicativas sobre a dinâmica da Terra representou sempre um dos maiores desafios para os geólogos. Para isso terão utilizado métodos e princípios orientadores da investigação comuns aos restantes ramos da Ciência, para além de outros que, específicos e perfeitamente adequados aos seus objectos de estudo, desenvolveram e ajustaram desde a individualização da Geologia até hoje. Por outro lado, à medida que as teorias da Terra se foram consolidando e foi sendo reconhecida a importância do conhecimento geológico para a resolução de problemas relacionados com o progresso da Civilização e o bem-estar da Humanidade (como sejam os que advêm da exploração dos recursos geológicos e da caracterização das perigosidades naturais), aumenta a necessidade de introduzir, debater e utilizar esses métodos e princípios nos sucessivos estádios de instrução básica de qualquer cidadão. Justifica-se, assim, a sua inclusão nos *curricula* oficiais, principalmente a nível do Ensino Secundário, situação que se concretizou recentemente em Portugal. Com efeito, o acréscimo de conteúdos de Geologia nos novos *curricula* do Ensino Secundário, acompanhado da individualização desta componente na disciplina bial de Biologia e Geologia, prova a assumpção de que, para além do conhecimento de conteúdos, torna-se relevante o conhecimento das metodologias da Geologia, fundamental à resolução consciente e crítica de situações-problema de carácter multi-, inter- e transdisciplinar.

Neste sentido, verifica-se uma tendência para que os assuntos sejam abordados cada vez mais sob perspectivas sistémicas, que incluem a multi-, a inter- e a transdisciplinaridade (*e.g.* Orion, 2001; Mayer, 2001; Mateus, 2001), quer para compreender e mitigar os problemas globais colocados em destaque pelos objectivos do AIPT, quer para analisar e conhecer a dinâmica da Terra, que se afigura como determinante na resolução dos problemas referidos. É aqui que as Geociências atingem um protagonismo nunca antes assumido, devido ao seu carácter de síntese e interdisciplinar, que adquiriram (Frodeman, 2001) por meio das Teorias Unificadoras da Terra como a Tectónica de Placas e o estudo da Terra como um Sistema Aberto [internamente (auto-) organizado e sujeito a transformações cíclicas que, movidas por fluxos de matéria e energia, são indissociáveis da sua evolução]. Este novo entendimento da Terra, leva-nos a uma reflexão do que foi e é a Geologia, ou seja, da sua epistemologia (*ibidem*), incluindo métodos e princípios orientadores, bem como os propósitos que a individualizaram e consolidaram enquanto domínio autónomo do Saber.

(...) o problema do conhecimento da Natureza não se pode dissociar do problema da natureza do conhecimento.
Edgar Morin, 1977

2. PRINCIPAIS ASPECTOS DO PENSAMENTO GEOLÓGICO

A fundação conceptual efectiva da Geologia terá ocorrido entre 1780 e 1830 (Laudan, 1987), tendo tido, desde esse período, um desenvolvimento significativo mas atingindo renovada expressão no século XX, principalmente através da proposição da Teoria da Tectónica de Placas. De acordo com Allègre (1999), poucas disciplinas experimentaram durante o mesmo período (vinte anos) uma transformação tão radical nos seus modos de pensar, nos seus conceitos e nos seus métodos de aproximação às realidades naturais. Todavia, Laudan (1987) considera que muitos dos problemas básicos debatidos no “período clássico” continuam a sê-lo na actualidade, e que muitos dos acordos estabelecidos entre geólogos das várias áreas do Saber acerca dos objectivos e métodos da disciplina, permaneceram até hoje.

Com a Tectónica de Placas, a Terra surge como uma entidade viva que se modifica e cujo funcionamento só pode ser estudado numa perspectiva global (Allègre, 1999); a Terra é, então, considerada como um sistema cuja dinâmica é regulada por causas múltiplas que se relacionam e inter-regulam. Mas esta visão contemporânea tem apenas, na opinião de Allègre (1999), implicações na “lógica geral do planeta Terra”, pois continua a fornecer respostas concretas a toda uma série de questões que o Homem coloca a si próprio desde que observa o planeta (*idem*). Lembremo-nos que as reflexões sobre a Terra tiveram início nas culturas mitológicas quando raciocínios nesse campo eram interpretados como actos de fé, reforçados através de mitos e lendas e que, ainda hoje, os mitos estão presentes na ciência através da sua linguagem metafórica; é o caso do conceito de *placa* tectónica, uma entidade física abstracta (Oldroyd, 1996). Também outros conceitos em Geologia exigem elevado grau de abstracção, daí a necessidade de utilizar metáforas e termos de comparação, quer por parte de quem investiga, quer por parte de quem ensina. Outro aspecto obrigatório da construção do pensamento geológico corresponde às análises baseadas em tipologias e na extrapolação, por sua vez essenciais à construção de sínteses (*ibidem*); por exemplo, a elaboração dos primeiros mapas geológicos (sínteses) no início do século XIX resultou da acumulação de dados empíricos (análises) de vastas regiões (Engelhardt & Zimmermann, 1988).

A Geologia contemporânea persegue igual finalidade, pois procura uma síntese que abrange teorias sobre a estrutura e os mecanismos internos da Terra, bem como teorias acerca dos processos modeladores da superfície terrestre, incluindo a actividade dos seres vivos, com vista a um maior entendimento de como estes, compondo a Biosfera, afectam a geodinâmica externa e, a longo termo, a interna (Oldroyd, 1996).

O *novo* conceito *sistema Terra* integra aspectos epistemológicos importantes já presentes na Teoria da Tectónica de Placas, acrescentando maior abrangência e exigindo maior grau de inter-relação entre os conhecimentos e metodologias das diversas Geociências (*e.g.* Geofísica, Geoquímica, Estratigrafia, etc.). De acordo com esta perspectiva, exige-se ao geólogo que, apesar de especialista na sua área de intervenção, seja capaz de coordenar equipas pluridisciplinares no estudo de problemas a diversas escalas de tempo e de espaço (local, regional, global), bem como na análise de elementos de sistemas complexos, os sistemas naturais, cujos dados terá que reunir e interpretar com vista à construção de uma visão integrada.

Não de somenos importância, a aplicação de metodologias básicas como a observação e a descrição que o trabalho de campo possibilita, assim como a narrativa de processos geológicos passados, são determinantes para a construção do pensamento geológico (*e.g.* Frodeman, 1995). Estas metodologias básicas, utilizadas como metodologias pedagógicas, permitem o desenvolvimento de competências de maior grau de complexidade, como as capacidades de interpretar e de inferir, também elas relevantes na construção do conhecimento geológico. Mas além destas competências, é de realçar ainda que o estudo dos sistemas e objectos geológicos, ao nível dos afloramentos e das paisagens, exige a reconstituição mental dos processos a 4D (incluindo a dimensão tempo), o que estimula positivamente a imaginação e a criatividade

assente em premissas lógicas de raciocínio (Andrews, 1998), todas elas competências essenciais a qualquer cidadão responsável e interventivo no Mundo Global.

2.1 Raciocínios geológicos temporais e causais

O mundo geológico de Descartes, Leibniz, Buffon, Hutton e muitos outros era visto como se o conhecimento estivesse contido na realidade, sendo relatado como *descrições pedagógicas do passado da Terra* (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Actualmente, tanto os objectos de estudo, como as questões de investigação em Geologia, diferem das que eram colocadas nos séculos XVII e XVIII, sendo também distintas em alguns aspectos das que são formuladas em outras áreas científicas.

Qualquer investigação de base empírica poderá ser desencadeada pela questão “qual o problema?” que, por sua vez, será subdividida em outras questões de acordo com o objecto de estudo, como “quando?” e “onde?”. Estas questões permitem perspectivar o objecto de estudo em termos de tempo e espaço, respectivamente, variáveis exclusivas das ciências históricas, sendo praticamente alheias a outras ciências, como a Física ou a Química (Engelhardt & Zimmermann, 1998). Àquelas questões podem seguir-se outras, como “quanto?” e “qual a dimensão?”, cujo fim é a mensurabilidade, enquanto as questões anteriores visavam simplesmente a descrição qualitativa de factos. Todavia, a investigação em Geologia não se reduz a descrições, pois para além de se perguntar “qual o problema?”, também se pretende explicá-lo ao questionar “porquê este problema?”. A procura de explicações faz deslocar a investigação de base empírica para níveis de conhecimento mais elevados (Engelhardt & Zimmermann, 1988) que, conseqüentemente, exigem o desenvolvimento de competências de maior grau de complexidade se aplicada ao Ensino. Estas duas grandes etapas na investigação em Geologia, descrições e explicações, tiveram particular importância na individualização e desenvolvimento desta área científica; não andaram, contudo, sempre associadas, pois os geólogos não terão perseguido sempre o mesmo e único objectivo (Laudan, 1987).

Em termos gerais, é possível agrupar os objectivos da Geologia em dois conjuntos que se complementam: os históricos e os causais; os primeiros visam, na sua essência, a descrição da evolução da Terra ao longo da sua história; os segundos, procuram identificar as causas responsáveis pela génese dos objectos geológicos. O “geólogo histórico” do princípio do século XIX pretendia apenas reconstruir sequências de formações que materializavam eventos históricos únicos, conjuntos de rochas gerados durante um determinado período de tempo, não manifestando qualquer tipo de preocupação com o estabelecimento de relações causais entre os acontecimentos que tinha reconstituído. O mesmo não se passa hoje, pois a maioria dos geólogos tem objectivos muito mais alargados que abrangem não só a descrição de um conjunto de fenómenos ou de objectos, mas também a explicação causal dos processos geológicos que os desencadearam ou estiveram na sua génese, respectivamente. Estas duas correntes epistemológicas em Geologia eram perseguidas por grupos de geólogos distintos com objectivos de estudo diferentes que utilizavam também métodos e técnicas diversos (Wilson, 1954). Este autor atribuiu aos “geólogos históricos” a coragem de terem recolhido uma enorme quantidade de dados empíricos, apesar de as suas preocupações privilegiarem as modificações da superfície terrestre em detrimento da sua natureza e das causas que determinaram os seus processos fundamentais. No que diz respeito aos “geólogos causais”, Wilson (1954) elogiou a vontade demonstrada para a compreensão dos processos geológicos, não deixando, no entanto, de criticar a inabilidade que demonstraram na análise de muitos resultados empíricos. Contrariamente a Wilson, Shumm (1998) não separa os geólogos nestes dois grupos (“históricos” e “causais”), preferindo alertar para a grande dicotomia que pensa existir em Geologia entre a investigação historicamente orientada e a investigação causalmente orientada. E considera que a maior parte dos geólogos desenvolve as suas investigações nas duas áreas: geologia histórica e geologia

causal, uns mais numa que noutra, não deixando de realçar que o facto da existência destas duas formas de fazer investigação geológica conduziu frequentemente a problemas de comunicação e interpretação entre os seus pares.

Em suma, existem registos de descrições e de tentativas de explicações dos fenómenos ocorridos na Terra desde a Antiguidade (Laudan, 1987); a Geologia, como ciência, tornou-se autónoma só no princípio do século XIX, no meio de disputas entre os que discutiam as teorias da Terra, buscando explicações para o que observavam e os que, no sossego do seu gabinete, classificavam rochas, minerais e fósseis. Essas duas maneiras de ver os fenómenos geológicos nem sempre fizeram parte do mesmo processo investigativo. Contudo, hoje, essas duas maneiras de fazer e compreender esta Ciência complementam-se, pois como refere Allègre (1999):

A geologia tradicional, aquela que aprendemos na escola, que é retratada frequentemente pelas classificações das rochas, da tabela das eras geológicas, dos desenhos de cortes e de cartas, e que só se pode exprimir com um vocabulário tão bárbaro quanto esotérico, foi substituída hoje por uma geologia muito mais viva, muito menos estática (p. 14).

A Geologia actual reside não só na descrição de fenómenos registados por todo o Planeta, mas também no estudo da relação entre todos os dados recolhidos através de diversos métodos e técnicas com vista ao estabelecimento de teorias geológicas, que são designadas deste modo porque se baseiam em entidades (minerais, rochas, estruturas, etc.) e processos geológicos (Laudan, 1987).

2.2. Categorização dos conceitos geológicos

Segundo Engelhardt & Zimmermann (1988), a diversidade das disciplinas científicas possibilita observações do Mundo a partir de diferentes perspectivas, descrições diversas, bem como interpretações e explicações de acordo com diferentes modelos, contrariando visões cartesianas. Os conceitos, em disciplinas científicas como a Geologia, são as unidades mais básicas. A constituição de sistemas de conceitos (*e.g.* classificações sistemáticas) articulados e complexos, permite, na opinião de Diéz & Moulines (1997), uma maior eficácia do conhecimento da realidade a que esses conceitos dizem respeito. Eles permitem identificar, diferenciar e comparar os objectos do mundo real, e encontram-se intimamente relacionados com as palavras, dado que existe uma relação implícita entre o sistema de conceitos de uma disciplina e o seu vocabulário.

A linguagem descritiva das Geociências revela conceitos e categorias que são específicos da disciplina e que identificam as entidades geológicas, mas que podem ser exclusivos da Geologia ou partilhados com outras ciências (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Relacionam entidades diversas como objectos, configurações ou substâncias com a sua arquitectura, distribuição ou organização no espaço e no tempo.

As Geociências descrevem objectos permitindo a sua categorização, como é o caso do granito quando classificado como rocha ígnea; mas também descrevem objectos únicos que não satisfazem qualquer critério sistemático, sendo identificados apenas pelos seus nomes próprios, como por exemplo o vulcão dos Capelinhos na ilha do Faial (Açores). Nas Geociências os nomes próprios adquirem assim uma importância que raramente se verifica nas outras ciências (Engelhardt & Zimmermann, 1988), sublinhando a relevância da singularidade dos objectos sujeitos a estudo, independentemente de respeitarem as características que permitem estabelecer as analogias necessárias à sua inclusão em determinada categoria ou tipologia.

Cada objecto geológico ocupa um espaço tridimensional e pode experimentar modificações ao longo do tempo (*e.g.* fóssil, mineral, rocha). A identidade do objecto depende de propriedades

essenciais, pelas quais ele é reconhecido; as propriedades contingentes, que podem variar ao longo do tempo, não afectam a sua identidade. Para além disso, os objectos têm uma duração temporal limitada. Por exemplo, a identidade de um granito é dada por um conjunto de minerais essenciais, mas que podem ser sujeitos a alteração química; caso a alteração seja pronunciada, conduzindo a modificações mineralógicas significativas, muitas vezes acompanhadas por variações na coesão da rocha, a designação “granito” deixa de ser usada, sendo substituída por uma outra que “codifica” não só a nova constituição mineral essencial, mas também o processo que lhe deu origem.

Há, de acordo com os autores acima citados (*idem*), diversos critérios para classificar entidades geológicas, entres os quais se salientam: as configurações, as substâncias, o tempo e o espaço. As *configurações* são formações ou estruturas existentes em determinados objectos geológicos, cuja categorização pode basear-se na morfologia ou génese (*e.g.* dobras halocinéticas, em que o primeiro termo diz respeito à forma e o segundo à génese). Não existem limites entre a configuração e o objecto. A mesma entidade geológica pode ser denominada configuração num contexto e objecto noutra situação distinta; ao estudar, por exemplo, uma duna é possível considerar a evolução da sua forma e movimentação (configuração) ou a areia que a constitui (objecto). Há, no entanto, configurações que nunca podem ser tomadas como objectos; tal é o caso da estratificação em rochas sedimentares, dos horizontes num solo, dos vales, das crateras de impacto, *etc.* Existem classes morfológicas de configurações que incluem, por exemplo, as diferentes texturas das rochas, e classes genéticas, que incluem, por exemplo, os diferentes tipos de falhas tectónicas.

As *substâncias* são os materiais que constituem os objectos e formam o substrato das configurações. Algumas substâncias constituem séries hierárquicas onde cada elemento faz parte da constituição do elemento seguinte, como: elemento químico, mineral e rocha. Em Geologia, as substâncias podem ser definidas e classificadas seguindo diversos critérios, como as suas propriedades físicas, a sua composição química ou a sua génese.

O conceito e a dimensão do *tempo* são de particular importância, (*ibidem*) no universo das Geociências, pois têm contribuído para uma maior interacção entre as suas diversas áreas com vista à explicação de fenómenos observados na natureza resultantes de processos que se combinam e que, desse modo, têm actuado ao longo da história da Terra. Os fenómenos geológicos, especialmente associados ao conceito de tempo geológico dividem-se em processos e eventos geológicos. Os processos são, segundo Engelhardt & Zimmermann (1988), mudanças ocorridas nos sistemas naturais da Terra, observáveis directamente ou reconstruídas hipoteticamente. Os eventos incluem os processos de duração muito curta e as mudanças momentâneas decorrentes da cessação temporária do processo. Um caso particular de evento é a catástrofe ou seja, um tipo de evento que, de algum modo, causa efeitos espectaculares (*e.g.* avalanche).

O *tempo* em Geologia tem duas características que, de certo modo, se opõem: a ciclicidade e a direccionalidade (Gould, 1990). Caracterizam, respectivamente, o que este autor considera como o tempo cíclico e o tempo sagital, e assentam em princípios epistemológicos distintos, orientadores da investigação em Geologia, problemática que abordaremos mais adiante. O problema do tempo é de facto dos aspectos mais difíceis em Geologia (Schumm, 1991), porque não é possível medir o tempo geológico, recorrendo a um relógio. O tempo em Geologia é uma *medida de mudança* (*idem*), como é o caso da idade de uma rocha ou de um mineral, medida pelo intervalo de tempo decorrido a partir do momento em que se formou ou do instante em que sofreu alguma transformação. A medida do tempo geológico apresenta múltiplas vantagens, fundamentando, por exemplo, correlações de eventos geológicos espacialmente distantes (Engelhardt & Zimmermann, 1988), baseadas em inversões do campo magnético, regressões ou transgressões marinhas, orogéneses, *etc.*, e que são muito importantes por proporcionarem uma visão global da dinâmica terrestre.

A ordenação de eventos geológicos no *espaço* e no tempo requer simultaneamente um sistema espacial de coordenadas e uma escala de tempo global. A definição de escalas e a generalização das suas divisões foram estabelecidas a partir de dados de investigação colhidos e trocados entre investigadores de muitos países. As divisões nestas escalas estabelecem-se com base em critérios de datação isotópica, a partir do decaimento de elementos radioactivos, e com base em critérios de datação relativa, ou seja, através das formações de rochas sedimentares e dos fósseis que contêm. As cartas geológicas, ferramentas essenciais para a compreensão da história geológica de uma região, são sempre acompanhadas por uma escala de tempo geológico (Oldroyd, 1996), permitindo assim a síntese de diversos dados e conceitos localizados espacial e temporalmente.

2.3. Procura histórica de métodos geológicos

Se, conforme refere Laudan (1987), os geólogos nos séculos XVIII e XIX, constituíram dois grupos com objectivos diferentes, os problemas com os quais se confrontaram na procura de métodos quer para elaborar teorias causais (a partir da determinação das causas responsáveis pela Terra como hoje a conhecemos), quer para reconstruir a sequência de acontecimentos que terão ocorrido no passado a partir dos registos actuais, terão sido sensivelmente os mesmos.

Os acontecimentos que a história geológica tenta reconstituir não são nem reversíveis nem repetíveis e também não são observáveis. Esta é, na opinião de Schumm (1998), a diferença fundamental entre a Geologia e as outras ciências. Ao contrário dos outros cientistas, o geólogo estuda sistemas complexos que funcionam durante largos períodos de tempo e que possuem as suas particularidades. Cada um é diferente de qualquer outro, impedindo generalizações em sentido estrito. Assim, o geólogo necessita, em casos específicos, de fazer inferências, ou seja de determinar quais terão sido as causas responsáveis por um dado fenómeno (Engelhardt & Zimmermann, 1988); por exemplo, ao encontrar fósseis marinhos numa rocha sedimentar, o geólogo infere a origem marinha dessa rocha.

Também devido à complexidade intrínseca dos sistemas naturais, há uma enorme variedade de problemas que exigiu o desenvolvimento de uma multiplicidade de metodologias (Schumm, 1991; Laudan, 1987); em função do problema em causa, o geólogo ou a equipa de geólogos, escolhem o/os método(s) que melhor se adequa(m) à pesquisa da solução. Nos finais do século XVIII, por altura da individualização das Ciências Naturais, os geólogos, assim como outros cientistas, utilizavam e discutiam a aplicabilidade de métodos distintos para determinar as relações causa / efeito, entre os quais se destacavam o das hipóteses, das analogias, indutivo e o da *vera-causa* (Laudan, 1987). De entre os métodos das hipóteses, realça-se o hipotético-dedutivo que teve particular aceitação no século XVII entre os cosmogonistas que o utilizavam para descrever a história da Terra (Laudan, 1987), bem como o indutivo-experimental de Francis Bacon (1561-1626), considerado durante muito tempo como o “verdadeiro” (único) método científico. Nesta linha de pensamento, Carrilho (1994) defende que,

O extraordinário desenvolvimento da ciência moderna levou (...) à identificação da indução como a chave do seu sucesso, dando assim origem a uma das mais fortes concepções da filosofia das ciências: o *indutivismo*, ou seja, a ideia de que a descoberta e a justificação das causas dos fenómenos - e, portanto, o respectivo estabelecimento das leis - se faz através, e só através, da utilização dos processos indutivos (p. 19).

Na perspectiva indutivista, o conhecimento é adquirido na forma de dados empíricos conducentes à *verdade eterna* (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Em França e na Grã-Bretanha, foram adoptadas as ideias de Bacon, tanto pelas instituições geológicas como a

Geological Society of London, bem como pelos cientistas da época como Buffon, Playfair e Cuvier (Ellenberger, 1994). Actualmente, segundo Engelhardt & Zimmermann (1988), ainda muitos cientistas baseiam as suas investigações na *leitura do livro da natureza*, que lhes revela a *verdade* da história da Terra.

Os indutivistas eliminativos utilizavam os dados recolhidos para provar a veracidade de uma hipótese, refutando todas as outras que se lhe opunham, enquanto os indutivistas enumerativos legitimavam as teorias a partir de simples generalizações baseadas nos dados recolhidos (Laudan, 1987). Este método foi perfilhado por muitos geólogos, particularmente no século XVIII e no princípio do século XIX.

A fiabilidade da indução foi questionada por David Hume, argumentando que *a passagem de observações particulares a uma lei geral, é, digamos, ilegítima, dado que a base lógica desta operação desaparece* (Carrilho, 1994). Na simplicidade dos seus procedimentos, o método indutivo conduz, frequentemente, à formulação de proposições gerais que se revelam inexactas ou mesmo falsas (*ibidem*). Se isto é “perigoso” noutras ciências, ainda é mais em Geologia, dado que muitas das inferências causais se estabelecem com base na relação entre factos presentes e outros que se inferem a partir desses. Em geral, o efeito pertence à ordem do observável, ao contrário da causa (Carrilho, 1994). Os geólogos têm a expectativa da repetição de certas relações causais passadas ou presentes, entre objectos que nos parecem *similares* aos envolvidos nesses eventos anteriormente (ou actualmente) experienciados (Silva, 1998). Desse modo inferem do presente para o passado ou do presente para o futuro ou ainda do passado para o futuro.

Muitos outros críticos do método indutivo enumerativo, na área da Geologia, consideraram que a sua eficiência dependia da capacidade dos cientistas observarem conjugações relevantes entre causas e efeitos numa determinada situação para procederem à sua generalização (Laudan, 1987). Acontece que nem sempre as causas que actuaram no passado são observáveis e, as que actuam no presente, progridem não raras vezes segundo taxas tão baixas que se torna difícil relacionar de forma inequívoca causas e efeitos. Este problema ainda é mais delicado quando se pensa em processos de geodinâmica interna, também não observáveis.

Ao contrário de Laudan (1987), Hallam defende que os geólogos estavam muito pouco inclinados para os métodos indutivos e para que os mesmos se tornassem mais credíveis no seio desta comunidade científica, Chamberlin estabeleceu o *método das hipóteses múltiplas* (Hallam, 1985; Chamberlin, 1890) que incluía observações dos fenómenos naturais, a partir das quais se formulavam diversas hipóteses possíveis na tentativa da sua explicação. O processo metodológico era encerrado pela escolha das hipóteses mais apropriadas ao estudo.

Apesar de geólogos como Werner, Hutton, Buckland, Lyell e Wegener terem valorizado o carácter indutivo do seu trabalho, como forma de combater as teorias especulativas dos cosmogonistas, desenvolveram teorias às quais foram juntando provas (Hallam, 1985). É o caso de Hutton que terá desenvolvido a sua obra *Theory of the Earth* muito antes de ter descoberto as provas fundamentais à sua sustentação, como a célebre discordância angular de *Siccar Point*.

Parece-nos assim que o processo investigativo dos geólogos dos séculos XVIII e XIX, ter-se-á desenvolvido mais persistentemente através de metodologias hipotético-dedutivas, como tentativa da formulação de hipóteses justificativas das suas observações e teorias, do que propriamente recorrendo a metodologias indutivas.

Outra metodologia frequentemente utilizada por geólogos e professores de Geologia, é a que abrange analogias, metáforas e comparações. Este costume justifica-se pelos problemas com que estes profissionais se vêem frequentemente confrontados, como sejam a inacessibilidade a muitos processos geológicos, a relevância da evidência experimental, o longo período de tempo requerido para muitas mudanças geológicas e a complexidade dos fenómenos geológicos (Laudan, 1987). Era já criticado por alguns geólogos, no final do século XVIII, quando a Geologia se começava a individualizar, o uso de analogias nas experiências de laboratório e na

explicação de processos geológicos. Os geólogos consideravam que as condições naturais e laboratoriais eram tão díspares que só poderiam conduzir a concepções errôneas acerca dos processos que se propunham examinar (Laudan, 1987); este método generalizou-se, contudo, no século XIX em reconstruções paleoambientais. Também de acordo com Engelhardt & Zimmermann (1988), os modelos de comportamento análogo são importantes para explicar fenômenos quando os mecanismos que os constituem não possibilitam uma análise empírica. A grande vantagem para Laudan (1987) do método das analogias face a outros métodos é garantir inferências a partir de eventos conhecidos para outros desconhecidos que apresentam particulares semelhanças com esses, enquanto que, por exemplo, a indução enumerativa só permite fazer inferências a partir de eventos conhecidos para outros que lhe são similares nos aspectos mais relevantes. Contudo, o método das analogias apresenta algumas desvantagens, nomeadamente quando se coloca o problema de decidir que acontecimentos ou objectos são similares (*idem*).

O outro método utilizado pelos geólogos é o da *vera causa* ou das causas verdadeiras, cuja paternidade é atribuída a Isaac Newton. O princípio das causas verdadeiras da autoria deste físico afirma que não se deve admitir mais causas para os objectos naturais do que aquelas que, ao mesmo tempo, são verdadeiras e suficientes para explicar os seus efeitos. Este método evitava as conjecturas e restringia as causas apenas às que podiam ser observáveis e foi nesta base que Hutton e Lyell formularam o princípio do uniformitarismo.

3. MÉTODOS MAIS ADEQUADOS À GEOLOGIA

Os métodos que segundo Engelhardt & Zimmermann (1988) permitem ao geólogo *ultrapassar os limites do mundo dos factos empíricos* levando-o à construção de hipóteses e teorias são: a indução, a dedução e a abdução. Na opinião destes autores apenas a dedução *produz uma inferência no estrito sentido lógico do termo*; no entanto, é vulgar referir as inferências quando se trata dos métodos de indução ou de abdução, tanto nas Geociências como noutras áreas científicas. De acordo com estes autores (*idem*), chama-se igualmente *inferência* quando: na abdução, as causas são inferidas a partir de um fenómeno; ou na indução, em que uma lei é produzida a partir de muitas observações. Estes autores distinguem estes três métodos de investigação, dedução, abdução e indução, utilizando o exemplo prático da génese do diamante. Em cada método, partem de duas premissas que conduzem a uma inferência (Tabela 1). Ao utilizarem experiências de laboratório, estes autores estão ao mesmo tempo a utilizar analogias entre os processos simulados e os processos geológicos reais. A abdução é, nesta experiência, o único método que não recorre à experimentação; logo tratar-se-á da inferência que está mais próxima da argumentação que os geólogos usualmente utilizam. Apenas na abdução a premissa 2 corresponde a uma lei geológica com a qual o geólogo vai confrontar o efeito observado, concluindo, ou melhor dizendo, inferindo a causa.

Apesar de nos dias de hoje os três métodos serem igualmente utilizados, a indução terá tido maior aplicação no início da individualização da Geologia (fins do século XVIII, princípios do século XIX) do que os outros dois, porque terá sido por essa altura que se produziram grande parte das leis e dos princípios que orientam a investigação geológica como, por exemplo, a coluna estratigráfica, o *autêntico fundamento da geologia histórica*, elaborada através de métodos indutivos (Hallam, 1985).

Depois desse período inicial, a indução terá sido considerada um método pouco *seguro* em Geologia, desde que aplicado isoladamente, pois as generalizações a partir de um ou de vários casos isolados, podem conduzir ou não a teorias conclusivas dado que os sistemas terrestres comportam múltiplas variáveis. Assim, pode-se considerar que a dedução e a abdução são hoje métodos mais fiáveis e de maior aplicação em investigação geológica do que a indução, sendo que a abdução adquire por si só uma maior relevância em Geociências do que nas denominadas

ciências experimentais como a Física e a Química. É ponto assente que, em Geologia, é crucial *inferir causas desconhecidas a partir de efeitos conhecidos* (Engelhardt & Zimmermann, 1988). No entanto, a utilização conjunta destes três métodos para inferir processos e eventos geológicos, pelos riscos que cada um deles utilizado isoladamente pode comportar, aumentará a fiabilidade do processo investigativo.

Tabela 1 – Principais métodos da investigação geológica (e.g. génese do diamante) - adaptado de Engelhardt & Zimmermann, 1988.

Table 1 – Main methods of geological research (e.g. diamond origin) – adapted from Engelhardt & Zimmermann, 1988.

Etapas do MÉTODO	Premissa 1	Premissa 2	Inferência
INDUÇÃO	Em várias experiências, o carbono é submetido a vários valores de pressão, na ausência de O ₂ e a uma temperatura de 1000°C.	Em todas as experiências, a um valor de pressão nunca inferior a 55 kbar, produziu-se diamante.	Se o carbono for exposto, na ausência de O ₂ , a 55 kbar de pressão e a 1000°C de temperatura, produzir-se-á diamante.
ABDUÇÃO	Foram encontrados diamantes em chaminés vulcânicas na África do Sul.	Os diamantes são produzidos apenas a partir do carbono, em condições de temperatura próxima dos 1000°C e pressões de pelo menos 55 kbar.	Dentro das chaminés vulcânicas, os materiais consolidam em profundidade cuja pressão ronda os 55 kbar.
DEDUÇÃO	Em condições de pressão próximas de 55 kbar e à temperatura de 1000°C, na ausência de O ₂ , o carbono transforma-se em diamante.	Numa experiência, o carbono é sujeito a uma pressão de 80 kbar e a uma temperatura de 1200°C.	Nesta experiência produzir-se-á diamante.

Utilizando estes três tipos de inferências (indução, dedução e abdução), conjuntamente com métodos analógicos e tendo por base princípios orientadores, que em seguida descreveremos, os geólogos fazem extrapolações que envolvem a projecção de informações conhecidas quer para o passado, quer para o futuro (Schumm, 1991). E, apesar da complexidade dos sistemas naturais dificultar as descrições e as previsões exactas, mesmo quando as condições presentes são conhecidas e estudadas, as inferências para o passado ou para o futuro podem, mesmo assim, ser realizadas com algum grau de confiança (*ibidem*).

4. PRINCÍPIOS ORIENTADORES DA GEOLOGIA

Os princípios orientadores da Geologia sustentam a actividade científica e são habitualmente inquestionáveis, para além de permitirem o entendimento do funcionamento desta disciplina. A sua longevidade e a tenacidade com que foram aceites devem-se, segundo Engelhardt & Zimmermann (1988) a várias razões, entre as quais, destacam: (i) o facto de não terem sido inferidos indutivamente mas de, pelo contrário, servirem como base de experiências; (ii) constituírem-se como guia para os investigadores; e (iii) ajudarem a integrar teorias em contextos mais alargados. Há, de acordo com estes autores (*idem*), uma hierarquia dos vários princípios, situando no topo os princípios gerais das Ciências Naturais, ou seja, o *princípio da causalidade*

ou da *homogeneidade do espaço e do tempo*, a que se seguem princípios mais específicos que precedem a experiência, utilizados para fundamentar hipóteses e raciocínios.

Através dos princípios orientadores, a investigação em Geologia consegue ultrapassar problemas únicos e inerentes a esta disciplina, pois eles fornecem regras que possibilitam a aplicação de observações efectuadas no presente para a elaboração de teorias que explicam o passado ou que fazem extrapolações para o futuro (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Enunciam-se e consubstanciam-se de seguida os principais princípios que orientam a construção do conhecimento geológico, devendo, por isso, ser assumidos por investigadores e professores de Geociências.

O princípio orientador do uniformitarismo, conhecido assim na Grã-Bretanha, mas designado por princípio do actualismo por alemães e franceses, teve grande importância para o desenvolvimento da Geologia no final do século XVIII, sendo considerado, ainda hoje, como a mais importante base da investigação em Geociências (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Este princípio pressupõe a *uniformidade temporal dos processos geológicos assim como das suas causas*. Segundo estes autores (*ibidem*), este enunciado assenta nos seguintes três pressupostos:

- 1- as leis físicas e químicas têm uma validade temporalmente ilimitada;
- 2- as *forças geológicas* mantêm-se qualitativamente iguais no presente, no passado e futuro;
- 3- as *forças geológicas* mantêm-se, não só qualitativamente, mas também quantitativamente iguais no presente, no passado e no futuro.

O uniformitarismo, em sentido estrito, ou seja, quando se aplica apenas à Geologia, assume a validade dos três anteriores pressupostos (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Este princípio fornece à investigação geológica a vantagem de se restringir a eventos observáveis em várias regiões e a regularidades que podem ser inferidas a partir deles, evitando-se, quando se pretende explicar fenómenos passados, o registo de incertezas relativas a processos desconhecidos de intensidade indeterminada (*ibidem*).

O termo *uniformidade* e *uniforme* já seriam utilizados muito antes de Hutton ou Lyell terem enunciado o princípio do uniformitarismo (Ellenberger, 1988). Contudo este princípio terá sido o *guia ideal* de James Hutton, porque através dele tornar-se-ia *possível inferir leis eternamente válidas que sustentam todos os processos geológicos do passado, presente e futuro* (Engelhardt & Zimmermann, 1988).

Ainda de acordo com estes autores (*ibidem*), o princípio do actualismo é uma modificação do uniformitarismo, tendo sido formulado por geólogos alemães do princípio do século XIX. Ao contrário deste último, o princípio do actualismo baseia-se só nos pressupostos 1 e 2, acima descritos, do princípio do uniformitarismo. O principal mentor do princípio do actualismo, von Hoff, acreditava que certos vestígios da actividade vulcânica, ocorrida no passado, podem ser explicados pelo pressuposto de que as *energias vulcânicas* terão sido muito maiores no passado que na actualidade, tendo decrescido de intensidade ao longo do tempo, o que se confirma pelos *traps* – espessas formações geológicas constituídas por materiais vulcânicos – existentes em diversas áreas do Globo, algumas delas associadas a períodos de extinções em massa (Courtilot, 1999).

O *princípio orientador dos ciclos* não é mais do que uma síntese dos anteriores: o uniformitarismo e o actualismo. Os processos cíclicos sucedem-se e repetem-se em sequências sem fim por todas as regiões, permitindo que a destruição seja regularmente compensada pela construção (Engelhardt & Zimmermann, 1988). É a partir deste princípio que normalmente se distinguem os processos geológicos construtivos (e.g. vulcânicos, construção de cadeias de montanhas) dos processos geológicos destrutivos (e.g. erosão), herança que nos terá sido transmitida por James Hutton. De acordo com Stephen Jay Gould (1990), este geólogo escocês descreve um *mundo privado de história* em que a *uniformidade da temporalidade cíclica equilibra os fenómenos de destruição e de renovação*, fenómenos que Hutton agrupa sob a designação genérica de *economia fundamental* ou de *equilíbrio da Terra*, termos certamente

adoptados por influência do seu círculo de amigos do Iluminismo Escocês, entre os quais se destacaram, entre outros, Adam Smith, Thomas Malthus e James Watt.

Para James Hutton, as sucessões dos acontecimentos geológicos não eram mais do que dados que possibilitavam o estabelecimento de *teorias gerais de sistemas intemporais* (Gould, 1990), tendo assim eliminado o curso real do tempo em Geologia. Contudo, é preciso perceber o contexto da época para que se compreender verdadeiramente as intenções de James Hutton. Realmente a teoria uniformitarista de Hutton e Lyell conferiu ao tempo uma duração infinita, falseando, durante séculos, a verdadeira noção de tempo geológico (Allègre, 1987), mas foi a única possibilidade encontrada por James Hutton para contrariar as teses neptunistas de Werner e as convicções clericais da época que defendiam um “tempo geológico” curto e finito. A infinidade do tempo afastava, assim, por completo da esfera da Geologia, os conceitos *de início* e *de idade* da Terra bem como as *discussões religiosas*.

O princípio do catastrofismo, em termos históricos e epistemológicos encontra-se directamente relacionado quer com os princípios já descritos (uniformitarismo e actualismo), quer com o que será abordado de seguida, o do evolucionismo. Desde o princípio do século XIX começou a colocar-se em causa os princípios do uniformitarismo e actualismo. Pressupunha-se a imutabilidade das leis da natureza, mas colocava-se a hipótese de as *forças geológicas* terem diferido no passado, quanto ao tipo e intensidade, relativamente à actualidade.

O *Discurso sobre as revoluções da superfície do Globo*, publicado em 1812 por Georges Cuvier, considerado como o *pai da Paleontologia*, fundamenta uma teoria considerada como catastrofista (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Baseados em métodos actualistas, Cuvier e Brongniart, defenderam esta teoria demonstrando que as formações do Terciário da bacia de Paris apresentavam alternâncias cíclicas de água doce e salgada (Hallam, 1985). Para além das mudanças litológicas, encontraram também variações repentinas nos conteúdos fossilíferos das mesmas, que se repetiam noutras áreas geográficas. Estes factos levaram-se a concluir a extinção de formas de vida pré-existentes e a alteração de condições em que novas formas de vida se terão desenvolvido (Engelhardt & Zimmermann, 1988). Mais tarde, como estes dois geólogos, Élie de Beaumont, ao estudar os estratos dobrados das cordilheiras montanhosas da Europa, terá utilizado argumentos catastrofistas, afirmando que *as causas actuais são manifestamente lentas e graduais* para que pudessem produzir tais efeitos (Hallam, 1985).

Debaixo da designação *catastrofismo* cabem assim todas as teorias cujos princípios orientadores incluam, segundo Engelhardt & Zimmermann (1988), dois aspectos: (i) a noção de que as mudanças importantes, ocorridas ao longo da história da Terra, terão resultado não só de processos lentos, mas também como resultado da acção de eventos raros e catastróficos; e (ii) a rejeição de aplicar sempre o princípio do actualismo a qualquer tipo de acontecimento geológico. No entanto, como refere Hallam (1985), a possibilidade de obter conclusões catastrofistas com recurso a métodos actualistas não é afastada. É possível utilizar as causas actuais para tentar explicar fenómenos como os *traps* ou os vales de vertentes abruptas cujas causas, no princípio do século XIX, não se conseguiam encontrar, porque como refere o mesmo autor (*idem*), *as correntes de água e os rios modernos pareciam conter muito pouca água e não corriam com suficiente rapidez para escavar os vales por onde fluíam*; no entanto, as causas terão sido as mesmas mas movidas por forças de maior intensidade. É de realçar que o conceito de causas actuais hoje é diferente do conceito de Hutton e Lyell (Ager, 1999) porque eles desconheciam alguns dos processos geológicos actualmente estudados como, por exemplo, o impactismo, assim como o vasto leque de intensidades que cada processo geológico pode ter e que se encontra documentado em relatos históricos e bíblicos (*ibidem*).

Grande parte da história do desenvolvimento da Geologia terá sido marcada, na opinião de Lunine (1999), pela batalha entre uniformitaristas (aqueles que argumentavam a favor de fenómenos geológicos que sofriam uma mudança gradual ao longo de largos períodos de tempo) e catastrofistas (que defendiam que a Terra seria um planeta relativamente novo e marcado por

uma sucessão de fenómenos catastróficos). Os cálculos para a idade da Terra, possibilitados principalmente pela técnica da datação isotópica (Hallam, 1985), conduziram a idades mais avançadas do que se pensava, fornecendo trunfos aos uniformitaristas (Lunine, 1999). Todavia, nas últimas décadas do século XX, *a importância das alterações catastróficas da Terra tornou-se clara, em larga medida, através do estudo de outros planetas (ibidem)*. O estudo de determinados fenómenos geológicos (e.g. sismos) demonstraram que a Terra comporta acontecimentos graduais e catastróficos e que, para o mesmo fenómeno, podem coexistir aspectos graduais (como a acumulação lenta de energia – antes do sismo – e a ruptura superficial quasi-instantânea, originando a libertação de energia responsável pelos efeitos provocados).

Em resumo, o uniformitarismo e o catastrofismo são teorias opostas que têm dois princípios que não compartilham, mas que seguem um outro: o do actualismo. Nos dias de hoje, este princípio é comum às duas maneiras de interpretar os diferentes fenómenos geológicos, sendo reconhecido como o grande princípio orientador da investigação em Geologia. É, no entanto, importante não esquecer que as causas no passado nem sempre terão sido as mesmas que as actuais (Ager, 1999).

O evolucionismo é o princípio orientador da construção do conhecimento geológico mais recente. Ao pretender retirar a vertente histórica, James Hutton pretendeu conferir maior rigor à Geologia aproximando-a das ciências experimentais como a Física ou a Química. Terá sido a razão pela qual atribuiu à orogénese um carácter cíclico, revelando que se trata de *um processo lento, gradual, repetitivo, acompanhado de um cortejo de sedimentos especiais, de rochas magmáticas e de transformações metamórficas* (Ellenberger, 1994). Por coincidência ou não, é uma ideia recuperada por Tuzo Wilson no seu modelo, apesar de contextualmente diferente. Na opinião de Gould (1990), Hutton, idealizava a Terra como um planeta perfeito, que não sofria qualquer tipo de desenvolvimento, não obstante ter concluído que as rochas sedimentares poderiam ser sujeitas a processos cíclicos como o metamorfismo (Ellenberger, 1994).

Os contemporâneos de Hutton não tinham ainda resolvido o problema das extinções (Gould, 1990); Lamarck e outros naturalistas continuavam a defender que as espécies não se podiam extinguir (*ibidem*), sendo que, apenas no princípio do século XIX, terão formulado a hipótese de uma contínua evolução dos seres vivos, por sua vez relacionada com a correspondente evolução do ambiente abiótico (Engelhardt & Zimmermann, 1988). A hipótese da evolução biológica só viria a ser aceite pela comunidade científica depois de Darwin ter efectuado a *reconciliação entre o princípio do uniformitarismo e a evolução através da teoria da selecção natural (ibidem)*. Este mecanismo, a selecção natural, funcionava sempre do mesmo modo ao longo de toda a história da Vida, em que eram seleccionados os *mutantes* capazes de viver e reproduzir-se em situações de mudança, espacial e temporal, das condições ambientais. Os autores do livro *Theory of Earth* (Engelhardt & Zimmermann, 1988) dão outro exemplo de teoria evolucionista, no sentido geológico do termo, protagonizada por Élie de Beaumont, geólogo francês do século XIX. A sua teoria defendia que a Terra se encontrava em processo contínuo de arrefecimento e contracção, explicação para os esporádicos episódios da formação de montanhas. É principalmente devido ao surgimento deste tipo de teorias que, desde meados do século XIX, os termos *desenvolvimento* e *evolução*, no princípio apenas exclusivos da Paleontologia, passaram a ser aplicados em todas as Geociências (*ibidem*). Frequentemente aplicam-se estes termos aos solos, ao relevo, aos continentes e a muitas outras entidades geológicas. O princípio do evolucionismo que decorre assim da aplicação dos termos *evolução* e *desenvolvimento* a fenómenos e entidades geológicas, restitui-lhes a sua dimensão histórica, contrariando as teses de Hutton e Lyell. Tudo passa a ter um princípio e um fim, entre os quais existe uma série de estádios de evolução; através deste princípio torna-se possível rever e compreender as condições e acontecimentos geológicos de acordo com a sua sequência cronológica.

Hoje, na investigação geológica conjugam-se o princípio do evolucionismo com o princípio dos ciclos (baseado no princípio do uniformitarismo em sentido lato), considerando que, apesar

de os fenómenos geológicos não serem nem repetíveis nem reversíveis, os sistemas em que decorrem apesar de complexos mantêm algumas similitudes (Shumm, 1991). E evoluem, sendo que essa evolução até pode não ser constante. Ao contrário do que Hutton e Lyell pensavam, e apesar dos muitos processos geológicos aparentarem decorrer de forma cíclica, a sua intensidade não é uma variável que se mantenha constante ao longo do tempo (e.g. a acumulação da energia nas falhas, a expansão dos fundos oceânicos, a erosão costeira, a actividade vulcânica). Integrando as duas componentes do tempo geológico, a ciclicidade e a direcionalidade (Gould, 1990), os ciclos geológicos não podem ser vistos como *a roupa numa máquina de lavar* em que se vê constantemente o mesmo *andar à volta*, como é frequentemente ilustrado o ciclo das rochas (Fichter & Poche, 2001) nos manuais escolares; mas como ciclos de matéria sujeitos a mudanças espaço-temporais, sujeitos a interrupções (e.g. riftes *abortados*), e integrados e interligados com outros ciclos através de fluxos de matéria e energia que perpassam os subsistemas do grande Sistema Dinâmico que é o planeta Terra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Geologia individualizou-se como domínio científico autónomo no início do século XIX por meio da delimitação e categorização dos seus objectos de estudo, bem como da construção de *materiais de apoio* à investigação (como a coluna estratigráfica e as cartas geológicas). A partir daí desenvolveu métodos necessários à delimitação no espaço e no tempo das *formações geológicas*, possibilitando ultrapassar obstáculos e dificuldades inerentes às Ciências Históricas como a reconstituição de processos decorridos no passado. Os princípios orientadores, a par de formas particulares de pensar, como as inferências e os raciocínios historicamente orientados, ajudaram a combater essas dificuldades e a objectivar a Geologia enquanto área científica. Por fim, a Teoria da Tectónica de Placas veio revelar a *nova* Geologia, explicando a interligação entre muitos fenómenos geológicos e produzindo uma visão articulada entre as diferentes componentes do Sistema Terra, com implicações maiores na compreensão das razões que determinam as principais perigosidades naturais e a composição e distribuição dos vários recursos geológicos.

A visão global da Terra como um sistema aberto e dinâmico, abrange outros subsistemas terrestres perpassados por ciclos e fluxos de matéria e energia que a Tectónica de Placas não contemplava fornecendo uma perspectiva ainda mais abrangente e intrincada do planeta. De acordo com uma visão global, mas simultaneamente localizada, o AIPT foca a atenção sobre as problemáticas terrestres na perspectiva de sustentabilidade, que afectam, hoje em dia, grande parte da Humanidade. A resolução desses problemas exige a actuação de equipas inter- e transdisciplinares com capacidade de intervenção a diversas escalas, por isso, utilizando metodologias variadas. Os geólogos, se conhecedores da panóplia de metodologias que as Geociências têm desenvolvido ao longo da sua História, perspectivam-se como profissionais competentes para contribuir na resolução desses problemas (Frodeman, 1995). A Geologia como área científica, face aos problemas que lhe são inerentes e às *novas* teorias unificadoras do conhecimento da Terra, adquiriu formas de raciocínio, métodos e princípios orientadores, que a tornam *na* disciplina sintética e fornecedora de uma visão global e particular do planeta Terra.

Os geólogos e os professores de Geologia devem assim tomar consciência da importância desta Ciência enquanto ciência útil à resolução dos problemas globais mas, simultaneamente, reconhecer e transmitir o seu valor epistemológico, o qual permite desenvolver múltiplas capacidades e competências cognitivas, muitas delas de grande complexidade, e determinantes para a formação de cidadãos conscientes da singularidade e da dinâmica do Planeta em que vivemos.

Nota

Este artigo resultou de uma releitura atenta e recontextualizada do item “Raciocínios e Aprendizagens em Geologia” da tese de Mestrado da autora.

Agradecimentos

Aos professores João Félix Praia e Luís Marques, as observações e sugestões apresentadas.

À professora Filomena Amador por nos ter dado a conhecer alguns dos autores citados no texto e, particularmente, ao estímulo para a escrita deste item da dissertação.

Ao professor António Mateus pela correcção final do artigo, mas principalmente pelos múltiplos e frutíferos debates de ideias que consolidaram inequivocamente o gosto da autora pela Epistemologia da Geologia.

Referências

- Andrews, S. (1998) – The Geologist as Detective: a view of our profession. (Presented at the annual meeting of the New England Section of the Geological Society of América). <http://www.sarahandrews.net/index.htm>.
- Ager, D. (1999) – *The New Catastrophism: The Rare Event in Geological History*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Allègre, C. (1987) – *Da Pedra à Estrela*. Publicações Dom Quixote, Lisboa.
- Allègre, C. (1999) – *L'écume de la Terre*. Fayard, Paris.
- Carrilho, M.M. (1994) – *A filosofia das ciências: de Bacon a Feyerabend*. Editorial Presença, Lisboa.
- Courtillot, V. (1999) – *Evolutionary Catastrophes. The Science of Mass Extinction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Díez, J. & Moulines, C. (1997) – *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Ariel Filosofia, Barcelona.
- Ellenberger, F. (1994) – *Histoire de la Geologie*. (Tome 2). Paris: Technique et Documentation-Lavoisier.
- Engelhardt, W. & Zimmermann, J. (1988) – *Theory of Earth Science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fichter, L.S. & Poche, D.J. (2001) – *Ancient Environments and the Interpretation of Geologic History*. 3rd edition, Prentice Hall.
- Frodeman, R. (1995) – Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, 107(8), 960-968.
- Frodeman, R. (2001) – A Epistemologia das Geociências. In: Marques, L. & Praia, J. (Edt.) *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*. Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro, 39-57.
- Gould, S. (1990) – *Aux Racines du Temps*. Grasset, Paris.
- Hallam, A. (1985) – *Grandes controvérsias geológicas*. Labor, Barcelona.
- Laudan, R. (1987) – *From Mineralogy to Geology: The Foundations of a Science, 1650-1830*. University of Chicago Press, Chicago.

- Lunine, J. (1999) – *Earth: Evolution of a Habitable World*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marques, L. (1998) – *Teoria da Tectónica de Placas: contributos relativos ao seu percurso histórico. Didáctica da Geologia e Formação de professores*. Cadernos Didáticos. Série Ciências 1, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Mateus, A. (2001) – *Perspectivas actuais da Geologia; sua importância educativa. O Ensino Experimental das Ciências – (Re)pensar o Ensino das Ciências III*. Ministério da Educação, 107-128.
- Mattauer, M. (1998) – *Ce que disent les pierres*. Pour la Science, Paris.
- Mayer, V. (2001) – A alfabetização global no currículo da escola secundária. In Marques, L. & Praia, J. (Edt.) *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*. Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro, 167-190.
- Morin, E. (1999) – *Reformar o pensamento. A cabeça bem feita*. Instituto Piaget, Lisboa.
- Oldroyd, D. (1996) – *Thinking About the Earth: A History of Ideas in Geology*. Athlone, London.
- Orion, N. (2001) – A educação em Ciências da Terra: da teoria à prática-implementação de novas estratégias de ensino em diferentes ambientes de aprendizagem. In Marques, L. & Praia, J. (Edt.) *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário*. Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro, 93-114.
- Shumm, S. (1991) – *To Interpret The Earth: Then Ways to Be Wrong*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wagner, Lois van (1991) – *The Great Continental Drift Mystery. Global change*. Vol. VI. Yale-New Haven Teachers Institute. <http://www.yale.edu/ynhti/curriculum/units/1991/6/>.
- Wilson, J.T. (1954) – The development and structure of the crust. In: Kuiper, G.P. (Edt.) *The Earth as a Planet*, Chicago University Press, Chicago, 138–214.
- Wilson, J.T.(1966) – Did the Atlantic close and then re-open?, *Nature*, 211(5050), 676-681.

Recebido em 20-Maio-2008
Revisto em 22-Junho-2008
Publicado em 3-Julho-2008