

O ATUALISMO COMO PRINCÍPIO METODOLÓGICO EM TECTÔNICA

ACTUALISM AS A METHODOLOGICAL PRINCIPLE IN TECTONICS

Celso Dal Ré Carneiro^{1,2}, Benjamim Bley de Brito Neves³, Ivan A. do Amaral⁴
e Carlos Alberto Bistrichi¹

"Se examinarmos as coisas atuais, teremos dados a partir dos quais poderemos raciocinar sobre o que foi, e, a partir do que já foi, teremos dados para tirar conclusões sobre o que ocorrerá mais adiante. Por conseguinte, partindo da suposição de que o trabalho da natureza é uniforme e constante, encontramos nas ocorrências naturais um meio para saber o que transcorreu em uma determinada porção de tempo para produzir aqueles acontecimentos dos quais hoje temos os efeitos. (grifos do original). J. Hutton (1788 apud Gonçalves, 1992).

RESUMO - É feita uma análise da influência do Atualismo no estudo da Tectônica terrestre. Descrevem-se a evolução do conceito, a partir do Uniformitarismo, e suas interrelações com o Evolucionismo. Tal retrospectiva demonstra haver entrelaçamentos e relações profundas entre eles e as sucessivas correntes do pensamento geológico. Uma vez delineadas as modernas visões do Atualismo e Evolucionismo, são focalizados conceitos e proposições representativos do método reconstitutivo no estudo da evolução da crosta terrestre. Trechos selecionados de autores contemporâneos sobre a descrição da história da Terra parecem capazes de revelar posturas atualistas e/ou evolucionistas. Para ampliar o limitado escopo dessa reflexão, a análise é complementada por uma abordagem de aspectos polêmicos da Tectônica Global. Dentre as conclusões alcançadas, é possível caracterizar: o generalizado abandono do Uniformitarismo, tomado como a versão mais radical do Atualismo; a aceitação quase plena do Evolucionismo como princípio no estudo do passado terrestre; e, finalmente, a adoção, em maior ou menor grau, do Atualismo como princípio da Tectônica em seu aspecto de ciência física e como princípio metodológico para o estudo do passado terrestre, ou, numa visão abrangente, para o estudo do Processo Histórico-Geológico.

(Originais recebidos em 24.08.93).

ABSTRACT - The influence of Actualism, Uniformitarianism and Evolutionism in Tectonics is discussed. A review of the evolution of these concepts shows the existence of close relationship between several currents of geological thought. The methods used to reconstruct the Earth's crustal evolution analyzed with emphasis to the modern views of Actualism and Evolutionism show that several aspects of the Phanerozoic evolution of the crust can be regarded as closely analogous to certain present-day tectonic models. The main features of pre-Phanerozoic mobile belts are summarized and the roles played by several auxiliary hypotheses to the theory of Global Tectonics are discussed. It is possible to recognize: (1) the generalized rejection of the most radical form of the Uniformitarianism, (2) the almost complete acceptance of Evolutionism as a principle in the study of the past and, finally, (3) the adoption, in variable degree, of Actualism as a guiding principle in Tectonics. From this discussion it can be observed that Tectonics is influenced by Actualism not only as a physical science but it relies also on it as a necessary basis to a method (i.e. a strategy) to the tectonic study of the geologic past, or, in a broader sense, to the study of the Historical-Geologic Process.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

1 - INTRODUÇÃO

A partir do estudo dos materiais terrestres, em especial as rochas, sua composição, arranjos e distribuição, o geólogo pode reconstruir o passado terrestre e explicar os processos ocorridos, movimentos e tipos de fenômenos que

se sucederam. Investiga também a constituição e configuração antigas da crosta e demais esferas de materiais terrestres. Nessa pesquisa, há incontáveis obstáculos, pois registros geológicos são frequentemente incompletos, além do fato especial de o "detetive" ter chegado à cena dos acontecimentos muito tempo (milhares, até bilhões de anos) após seu

1 - IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-DIGEO - Divisão de Geologia. Fax (011) 869-3353, Caixa Postal 7141-01064-970, São Paulo, SP.

2 - IG-UNICAMP - Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. Área de Educação Aplicada às Geociências. Departamento de Metalogênese e Geoquímica. Caixa Postal 1170 - 13081-970, Campinas, SP.

3 - IG-USP - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Caixa Postal 11348 - 05422-970, São Paulo, SP.

4 - FE-UNICAMP - Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Metodologia do Ensino. Caixa Postal 1170 - 13081-970, Campinas, SP.

término. Salvo exceções, estão envolvidas grandes magnitudes de tempo geológico, cuja compreensão é extremamente difícil.

Inúmeros processos, principalmente endógenos, são responsáveis pelas feições registradas nas rochas. Embora possam ainda estar atuando no presente, não o fazem de maneira diretamente observável, quer por estarem fora do alcance dos sentidos e instrumentos, quer pela extrema lentidão com que se desenvolvem. No processo geral de cognição da Terra pela Geologia, "os processos geológicos são como que descobertos duas vezes, a partir do conhecimento de processos contemporâneos, seus efeitos e registros" (Potapova, 1968). Os processos naturais são amplamente familiares a especialistas de diversos campos da ciência, a partir de sua forma refletida ou "ossificada" (Potapova, *op. cit.*), expressão que descreve o aspecto "fixo" dos processos naturais que aparecem nos registros disponíveis. Somente depois dessa etapa, os fenômenos são reconhecidos como "geológicos", existindo pressão da Geologia no sentido de forçar o desenvolvimento das interfaces de campos de conhecimento de maior interesse para extrapolação para o passado (Gruza e Romanovskiy, 1975).

1.1 - Definições e Problemas Iniciais

O estudo dos registros é realizado segundo princípios, objetivos e métodos que precisam ser bem estabelecidos, para que a investigação atinja um efetivo entendimento do passado. Salientam-se, pois, os significados de alguns termos de uso freqüente que podem ter conotações especiais neste trabalho.

Princípio refere-se a uma origem básica, ponto de partida ou premissa assumida como tal. A comprovação de um pressuposto é normalmente inviável, exatamente por ser um requisito para se fazer ciência.

Proposições ou *explanações* sobre o mundo ao redor, por sua vez, são passíveis de verificação; podem ser falsas ou verdadeiras, ou se situar em algum ponto entre esse dois extremos. Os princípios não têm esse caráter.

Objetivo define o alvo e estabelece certas restrições quanto ao resultado final pretendido.

Método é a ordem obedecida, no caminho racional de investigação, para se alcançar o fim determinado. Para Gruza e Romanovskiy (1975), o conceito de método é relativo, já que, em um dado nível de consideração, uma combinação de vários métodos constitui outro, porém em nível mais abstrato. Em contrapartida, cada método, em dado nível abstrato, decompõe-se numa combinação de métodos em direção a um nível mais concreto de formulação.

Princípio Metodológico é a base a partir do qual se

define a abordagem do mundo empírico, uma vez que os métodos traduzem e permitem realizar princípios estabelecidos.

O entendimento da reorganização mecânica dos objetos geológicos, desde a amostra de mão até um segmento crustal, passando pela escala do afloramento, constitui o campo de estudo da Tectônica. A Geotectônica busca compreender a complexa, dinâmica e até mesmo atribulada evolução da crosta terrestre. Esses termos, aqui indistintamente utilizados, compreendem estudos, os quais abrangem freqüentemente questões filosófico-metodológicas sobre a validade das teorias, hipóteses e especulações correntes sobre a organização e evolução da crosta. Por mais elaboradas e elegantes que sejam, teorias construídas sobre premissas falsas são igualmente incorretas.

Muitas objeções baseiam-se em divergências de entendimento dos conceitos do Atualismo¹, Uniformitarismo e Evolucionismo. Há questionamentos quanto às posturas filosóficas em si, ou seja, quanto às correntes de pensamento envolvidas no estudo da evolução tectônica da Terra, além de limitações que derivam da *aplicação* dos referidos conceitos, como por exemplo ao se estabelecer que a Terra sempre se assemelhou ou operou aproximadamente conforme ocorre hoje (Kitts, 1963); ou ao serem demarcadas fronteiras no tempo para a aplicabilidade das teorias; ou, ainda, ao se sugerir que uma evolução da dinâmica terrestre (Hargraves, 1981) teria conseqüências no caráter dos eventos tectônicos de grande escala. As diferentes posturas são, portanto, questionadas pela possível seleção e direcionamento dos fatos para conclusões coerentes com as bases teóricas adotadas em cada caso.

1.2 - Objetivos de Trabalho

A relevância do tema nos seus vários aspectos e o entendimento de que "a discussão epistemológica compete de início aos próprios geólogos, levando o seu 'viés de formação' ao contexto geral da filosofia da ciência" (Paschoale, 1989, p. 8) incentivaram a retomada de um ensaio inédito (Amaral *et al.* 1978, 1979), no qual algumas concepções de desenvolvimento tectônico da crosta foram analisadas em relação à influência que receberam das doutrinas de Atualismo e Evolucionismo. As versões preliminares (Amaral *et al.*, *op. cit.*), foram estruturadas em três partes, das quais a primeira constituiu o ponto de partida deste texto. Embora longas, certas citações foram mantidas para reproduzir o mais fielmente possível as idéias dos autores referidos.

As seções 2.1 e 2.2 sintetizam conceitos básicos e destacam seu desenvolvimento na evolução do pensamento geológico, procurando mostrar interrelações e analisar criticamente a importância desses conceitos para os aspectos físicos e históricos da Geologia. A seguir, descrevem-se, brevemente, particularidades da evolução

¹ O termo europeu *Actualism*, pouco utilizado nos EUA, tem bom sentido na maioria das línguas continentais (Gould, 1984); significa, em francês "no presente momento", não implicando o sentido de "real", como o termo *actual*, em Inglês.

tectônica da Terra. Essa é a base para se atender aos objetivos centrais do trabalho, quais sejam, analisar a aplicação das doutrinas em Tectônica e esboçar conclusões sobre os fundamentos filosóficos (atualistas, evolucionistas, etc.) empregados nessa reconstituição histórica.

Foram levantadas, para efeito de análise, certas tendências modernas da pesquisa em Tectônica. Sob esse ângulo, as discussões aqui empreendidas simplesmente abrem a questão, sem pretender chegar a uma síntese, num tema tão vasto, polêmico e, por isso mesmo, estimulante.

2 - CORRENTES DE PENSAMENTO PIONEIRAS EM GEOLOGIA E TECTÔNICA

2.1 - As Grandes Escolas do Pensamento Geológico

Diversas teorias gerais sobre a natureza nortearam o pensamento geológico através dos tempos. Preponderou, inicialmente, a doutrina do Imobilismo, cuja expressão marcante foi a corrente dos netunistas. Acreditava-se em uma crosta eternamente imutável. Todas as rochas, exceto as vulcânicas recentes, seriam originárias da precipitação num antigo oceano universal. Sucedeu-lhe o Catastrofismo, que admitia a mutabilidade da crosta, segundo transformações violentas, repentinas e descontínuas, produzidas por desconhecidas causas supranaturais (divinas). Ambas as concepções carregavam significativo conteúdo religioso: algumas versões procuraram mesmo explicar os fatos geológicos à luz das proposições bíblicas.

Como reação inicial ao Netunismo, surgiu a escola vulcanista, que propunha a origem progressiva da crosta por meio de fenômenos essencialmente vulcânicos. No final do século XVIII, assistia-se à intensa disputa entre essas três doutrinas. Com o aparecimento do Uniformitarismo, que propunha a transformação lenta e gradual da crosta ao longo dos tempos por meio de processos que se repetiriam até o presente, a maioria dos vulcanistas veio alinhar-se a esta nova corrente. Na polêmica que se travou nas primeiras três décadas do século XIX, as principais questões em disputa eram:

- quais os processos preponderantes na história geológica?
- quais as formas de atuação dos processos na história geológica?
- qual a duração do tempo geológico?

O debate sobre esta última questão somente decresceu no século XX, após a descoberta da radioatividade em 1896, que ensejou o desenvolvimento dos chamados métodos radiométricos para determinação do tempo geológico. As duas outras são objeto de discussão até hoje.

As doutrinas mencionadas não surgiram abruptamente na história do pensamento geológico, nem se sucederam sem conflitos. Pode-se encontrar raízes de todas

elas em idéias formuladas nos séculos precedentes. O grande momento de controvérsia em que parecem ter desembocado ocorreu no final do século XVIII e início do século XIX.

Percebe-se, nesse panorama, que o Uniformitarismo surgiu e se radicalizou como reação ao Catastrofismo. Notável é o fato de, na moderna Geologia, terem permanecido, em grau mais sofisticado, manifestações de todas essas doutrinas.

No cerne dos conflitos Netunismo *versus* Vulcanismo, Catastrofismo *versus* Uniformitarismo, desenvolveu-se outro que se poderia denominar de Criacionismo *versus* Transformismo, com embate de idéias preponderante nos círculos das ciências paleontológicas e biológicas. O dilema entre a criação especial e momentânea dos seres por inspiração divina e a transformação progressiva e natural de determinadas espécies em outras corresponde, pois, até certo ponto, à polêmica entre Catastrofismo e Uniformitarismo. A contraposição não teve desfecho nitido. Parece que a visão transformista preponderou, inicialmente, no que se refere aos fatos da natureza inorgânica, cujo entendimento pelos uniformitaristas poderíamos resumir do seguinte modo:

"A história da Terra não se constitui numa série de catástrofes universais, ou quase, mas algo principalmente regido por um desenvolvimento prolongado e gradual".

Entretanto, nos círculos paleontológicos-biológicos, a aceitação dessas idéias demorou mais, só se consagrando com Darwin, no início da segunda metade do século XIX.

O pensamento de Lyell (um dos pais do Uniformitarismo) influenciou grandemente o de Darwin (um dos pais do Transformismo Biológico), embora o primeiro não tenha admitido inicialmente o Transformismo para o reino biológico. Darwin (1859a) afirmou em livro:

*"... mas Sir Charles Lyell agora nos dá o suporte de sua alta autoridade para nossas idéias, opostas às crenças da maior parte dos geólogos e paleontólogos..."*²

Após o aparecimento de "On the origin of species", de Darwin (1859b) e 30 anos após a primeira edição da sua obra "Principles of Geology", em que expunha o princípio do Uniformitarismo, Lyell passou a admitir explicitamente o Transformismo Biológico, em capítulo especialmente acrescentado à décima edição da obra (Hubbert, 1967).

Em síntese, na segunda metade do século XIX, Vulcanismo, Uniformitarismo e Transformismo emergiram vitoriosos da contenda anterior. Porém, nas décadas seguintes, os enunciados dessas correntes foram reformulados, sob a influência de novas descobertas científicas. O Uniformitarismo modificou-se para o chamado Atualismo, e o Transformismo ganhou novos contornos, dando lugar ao Evolucionismo.

² que acreditavam em fases bruscas de surgimento e extinção de espécies.

2.2 - Aspectos Distintivos entre Geologia Física e Geologia Histórica

Segundo Simpson (1970), a Geologia como ciência se propõe a realizar dois tipos de estudos: o descritivo e o reconstitutivo histórico. Sua descrição da natureza abrange tanto os fenômenos atuais como os registros geológicos deixados pelos fenômenos do passado. Decorre destes últimos o estudo reconstitutivo de passado terrestre, que compreende seqüenciação no tempo e explanação de eventos naturais.

O aspecto descritivo da Geologia vai além do simples relato das feições e eventos naturais. Envolve preocupação com os mecanismos dos processos, suas relações de causa e efeito e sua interdependência. Assim, objetiva também uma explicação dos fenômenos, mas uma explicação descritiva, em que é enfatizado como opera um dado processo ou como se formou determinada feição (por exemplo, um vale). Tais explanações abrangem as propriedades imutáveis da matéria e energia no espaço e no tempo (propriedades físicas e químicas) e os processos decorrentes. Nestes termos, pode-se concluir que, como ciência descritiva, a Geologia, preocupando-se com o que é imanente (as regularidades) na natureza, representa um ramo aplicado da Física e da Química, e se enquadra no conjunto das ciências físicas.

O aspecto reconstitutivo histórico busca resolver como aconteceu um determinado fenômeno em particular. Neste caso, a explanação deixa de ser descritiva porque, ao individualizar o evento, coloca em segundo plano as generalizações, preocupando-se com o que é contingente (mutável, irregular) nos fenômenos. Ao fazer isso, estabelece relações entre as propriedades e processos imutáveis dos materiais e a configuração que o material assume em cada momento de sua evolução. Admite a possibilidade de que novos processos tenham se envolvido com a transformação considerada. A preocupação com o mutável, com o contingente, com o singular, é que lhe dá o caráter de ciência histórica. Como ciência histórica, a Geologia aborda as seqüências de eventos sob prisma individualizado, procurando sua explanação, assim como procura comprovar a própria explicação das seqüências. O papel de ciência abrange, pois, o de ciência física, embora em cada um possam existir objetivos diferentes.

Nesta perspectiva de ciência histórica, alguns autores admitem a existência de leis históricas, no que são vigorosamente contestados por outros, como por exemplo Simpson (1970). O termo "leis" seria demasiadamente rigoroso devido à conotação de regras fixas. Neste trabalho, preferiu-se adotar a expressão "tendências".

2.3 - A Visão Integrada da Geologia como Ciência de Síntese

Como será visto adiante, a separação dos aspectos

de ciência física e histórica em Geologia, proposta por Simpson (1970), desempenha papel muito importante para se compreender as relações entre os conceitos. Entretanto, há que ser destacar visões "unificadoras", como a contribuição de Potapova (1968), baseada na separação entre objeto de estudo e objeto de investigação. Vinculada a linha filosófica diferente de Simpson e, naturalmente, a uma diferente concepção de história, a autora considera como objetivo de estudo da Geologia o *processo histórico-geológico*, ao passo que o objeto de investigação é a crosta terrestre.

Nesse contexto, a Geologia assume caráter de ciência de síntese, integrando o conhecimento humano no que diz respeito às ciências naturais. Tal abordagem, que se poderia chamar de "unicista" ou "integradora", está representada no diagrama da figura 1. A participação das diferentes ciências pode ser decomposta em vários planos; todas contribuem para alcançar a síntese, representada pelo vetor resultante (o processo histórico-geológico). Ressalvando que seu esquema é simplificado, a autora admite que a Geologia, como ciência, "*investiga todos os processos naturais nas sua inter-relações históricas*" e que "*os processos geológicos contemporâneos são apenas um dos elementos do processo infinitamente longo da evolução...*" (Potapova, 1968, p.119). Neste enfoque, a Geologia, como ciência essencialmente histórica da natureza, representa a culminância de amplos domínios de conhecimento científico da Terra que desempenham papel eqüidistante em busca de tais resultados: ciências que tratam da composição material da Terra (eixo X), sua estrutura (eixo Y) e tempo (eixo Z). Os processos geológicos, por exemplo, manifestam-se como "*mudanças inter-relacionadas na composição material e estrutura...*". A Geologia Dinâmica, para aquela autora, desvincularia esses processos das relações temporais.

A Geologia tem sido interpretada como ciência essencialmente histórica (Kitts, 1974). Há mais de duas décadas foi introduzida a designação "Geociências" para atender à necessidade de se apresentar a ciência como um todo (Avanzo, 1974), mas o termo engloba outras ciências da Terra não-geológicas. Tal inconveniente não afeta a expressão "Ciências Geológicas". Ambas as expressões ficariam mais claras, contudo, pelo entendimento do processo histórico-geológico como a interação entre composição material e estrutura, ambas modificando-se no tempo geológico e no espaço. Sob esse ponto de vista, a separação entre Geologia física e histórica seria equivocada ou, pelo menos, distante da realidade. A utilidade prática dessa distinção, porém, é relevante na análise do papel da Tectônica, como será visto a seguir.

2.4 - A Tectônica dentro do Panorama da Geologia

Os registros geológicos do passado podem refletir as feições primárias do material geológico, aquelas contemporâneas à sua gênese, e secundárias, impressas durante as transformações subseqüentes.

O estudo das feições geológicas da crosta, em qualquer escala de abordagem, pode ser físico ou histórico ou, ao mesmo tempo, físico e histórico. Físico, enquanto descreve e elabora explicações gerais para essas feições. Histórico, quando procura reconstituir uma seqüência temporal de eventos singulares, tanto na configuração como nas suas relações de causa e efeito, ou quando procura elementos que possibilitem estabelecer as tendências do desenvolvimento histórico da Terra.

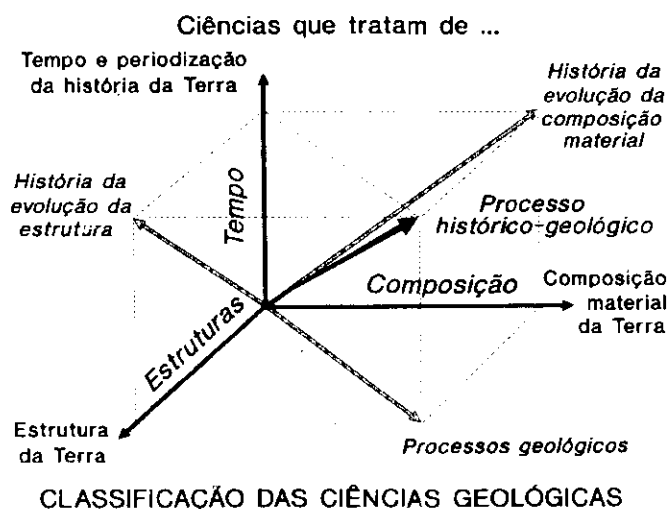


Fig. 1 - Diagrama de classificação geral das ciências geológicas, segundo Potapova (1968).
 Fig.1 - Diagram of a general classification of geological sciences, according to Potapova (1968).

Atuando como ciência física, a Geologia adota métodos próprios de trabalho deste tipo de ciência: dedutivo, analógico, experimental. Como ciência histórica, adota os chamados métodos históricos: direto, indutivo, comparativo, de correlação. A Tectônica, por sua vez, faz uso de todos esses métodos, fundamentando-se nas idéias de Uniformitarismo, Atualismo e Evolucionismo, objeto deste trabalho. Há muitos exemplos reais dessa aplicação, em andamento, com repercussão técnica imediata:

- o estudo atual do desenvolvimento do rosário de lagos do leste africano vem fundamentando o estudo de processos de rifteamento mesozóico como, por exemplo, a depressão afro-brasileira;
- os estudos do presente permitem uma aplicação conjunta do Atualismo e Evolucionismo para se analisar a dinâmica pretérita de separação dos continentes; processos de fusão (aglutinação) e fissão (dispersão) de massas continentais;
- o Evolucionismo observado na biosfera vem referenciando e balizando o estudo de transformações irreversíveis na litosfera, desde o Arqueano até os dias atuais. Estudos similares, comparativos e de aferição vêm sendo usados para o estudo

- da atmosfera e hidrosfera desde seus primórdios;
- de forma ousada, o estudo evolutivo dos demais planetas do sistema solar vem servindo cada vez mais para se entender a evolução da Terra, inexistindo, talvez, exemplo mais radical de um enfoque evolucionista e globalizante do que esse.

3 - SIGNIFICADO DO ATUALISMO E EVOLUCIONISMO EM GEOLOGIA

3.1 - As Primeiras Concepções do Uniformitarismo

A idéia de uniformidade no comportamento da Natureza é bastante antiga, anterior mesmo à formalização realizada por Charles Lyell. O primeiro a expressá-la em descrições naturalistas foi, provavelmente, Leonardo da Vinci, no século XVII, ainda que de forma implícita, ao enunciar sua Lei da Superposição. Baseada em leis físicas, esta somente poderia ser comprovada por meio de analogias com o presente geológico. Lomonosov, na primeira metade do século XVIII, ressaltou nos seus escritos que a explicação da origem dos combustíveis fósseis se assentava na análise de processos geológicos atuais (*apud* Khain, 1963). Na segunda metade do século XVIII, trabalhos de Hutton estabeleceram definitivamente a doutrina de Uniformitarismo da Natureza, expressa nas três edições conhecidas de sua obra (Gonçalves, 1992): a primeira, intitulada "Theory of Earth, with proofs and illustrations" data de 1793, com dois volumes e cerca de 400 exemplares. As concepções haviam sido expostas à Royal Society of Edinburgh em 1785 e publicadas nos *Transactions* da Sociedade em 1788 sob o título "Theory of Earth" (segunda versão), ou "an investigation of the laws observable in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe" (terceira versão). Na passagem para o século XIX, coube a Playfair a divulgação e defesa das idéias de Hutton. Nas edições de "Theory of Earth" de Hutton ou na obra de Playfair (1802), a teoria estava claramente enunciada e aplicada. Entretanto, coube a Lyell, na obra publicada entre 1830 e 1833, consagrar o Princípio do Uniformitarismo como um dos fundamentos do pensamento geológico.

Os trechos que se seguem ilustram como o Uniformitarismo se manifestou na palavra de James Hutton (in: McIntire, 1970, p. 17):

"O homem percebe com prazer a ordem e a regularidade com que se apresentam as obras da natureza, em vez do natural desgosto ante a desordem e confusão. Se a pedra que hoje cai, amanhã se alçasse, seria o fim da filosofia natural, nossos princípios fracassariam e não continuaríamos investigando as regras da natureza segundo nossas observações...";

"(...) devemos decifrar os eventos do passado a partir do

atual estágio dos corpos naturais, cuja interpretação nos permitiria concluir que nada possuímos além das leis da natureza, estabelecidas pelo homem a partir do seu raciocínio indutivos (...) ao examinarmos as coisas presentes obtemos dados para raciocinar a respeito das coisas que já aconteceram..."

Sir Charles Lyell, em sua obra fundamental, afirmou:

"A estimativa que fazemos do valor de qualquer evidência geológica depende inteiramente do grau de segurança que sentimos em relação à constância das leis da natureza. Somente a sua constância imutável pode nos habilitar a raciocinar por analogia, pelas regras estritas da indução, a respeito dos acontecimentos ocorridos em épocas anteriores...; ...as causas atualmente em ação produziram as antigas transformações da superfície terrestre" (apud Gould, 1965 p. 224).

As obras de Hutton e Lyell fazem a proposição do Uniformitarismo para a natureza segundo os ângulos das causas, dos processos, dos efeitos. Já na segunda metade do século XIX, Sir Archibald Geikie sintetizou as idéias uniformitaristas no seguinte enunciado:

"O presente é a chave do passado"

A expressão, uma das mais difundidas entre as inúmeras assumidas pelo princípio, foi considerada sua expressão mais radical e a que mais polêmica provocou, embora existam autores para os quais a palavra "chave" significa apenas "abertura para a retrospectiva histórica", ou seja, admitem entendimento mais brando: um suporte para transferência de informações obtidas no estudo de fenômenos atuais para o passado (Gruza e Romanovskiy, 1975). Pelos escritos de Hutton e Lyell, depreende-se também que nem eles ousaram uma generalização tão grande acerca da pretensa uniformidade da Natureza. Em outro trecho da citada obra, Hutton chegou mesmo a afirmar:

"Nós temos representado os sistemas terrestres como se eles procedessem com um regularidade que talvez não exista na natureza, mas isto é necessário para clarear nossa concepção do sistema da natureza."

Entretanto, durante muito tempo e por muitos geocientistas, a proposição "o presente é a chave do passado" foi assim entendida: não só as leis da Natureza são invariáveis no decorrer do tempo, mas também os eventos geológicos ocorreram numa velocidade uniforme, relacionados aos mesmos processos que ocorrem nos dias de hoje.

Este uniformitarismo radical e absoluto da Natureza começou a sofrer objeções já na segunda metade do século XIX. William Thompson, o precursor da termodinâmica, que mais tarde recebeu o título de Lord Kelvin, levantou as

primeiras objeções fundamentadas (Hubbert, 1967). Segundo ele, a visão uniformitarista atribui à Terra um comportamento tipo moto-perpétuo, do qual discordava por admitir a dissipação de energia e, por conseguinte, mudanças nas condições e processos naturais. Além disso, afirmara que, pela segunda lei da termodinâmica, a ação na Natureza deve ser irreversível, contrariando o conceito de repetição temporal uniforme dos eventos naturais. No final do século, em pleno debate com geólogos da época (Hubbert, *op. cit.*), declarou que, do ponto de vista energético, o Uniformitarismo era inviável.

Davis (1895; *apud* Gould, 1965, p. 225) levantou, em linguagem geológica, objeções ao princípio:

"Uniformitarismo, entendido numa forma razoável, não é uma limitação rígida dos processos do passado à velocidade dos processos atuais, mas sim uma associação racional de efeitos observados com suas causas competentes".

No início deste século, estava, pois, o então princípio fundamental da Geologia assolado por uma tempestade de críticas.

3.2 - Uniformitarismo em suas Modernas Concepções: o Atualismo

As primeiras objeções ao Uniformitarismo haviam sido manifestadas no aspecto energético e, por decorrência, passou-se a acreditar que as velocidades dos processos não poderiam ter-se mantido uniformes durante o tempo geológico. Ao término do século XIX, a descoberta da radioatividade como fonte de calor endógeno na crosta definitivamente consagrou as novas idéias. No entanto, representavam restrições somente no aspecto quantitativo dos processos.

As restrições qualitativas surgiram com novos conhecimentos geológicos, que apontavam mudanças radicais nas condições reinantes no ambiente terrestre ao longo do tempo geológico (por exemplo, modificações significativas na composição da atmosfera terrestre; aparecimento e expansão da vida etc.). Estas mudanças, por sua vez, poderiam ter provocado a extinção de alguns processos e surgimento de outros. Novas causas, portanto, produzindo novos resultados.

Em Tectônica, percebem-se limites para o Uniformitarismo, como se depreende de considerações de Belousov (1964, p. 1752):

"(...) As observações na atual superfície do terreno sem dúvida prestam um serviço muito importante quando queremos entender, por exemplo, como fluiu uma lava antiga que hoje repousa na crosta, e sob que condições ela endureceu. Mas o método do atualismo não diria nada sobre a origem da lava, sobre a profundidade de onde veio e porque ascendeu".

Outra ressalva residia no conceito de que mesmas forças, atuando em configurações distintas de um mesmo material, poderiam produzir, inevitavelmente, resultados diversos.

Pode-se, nesse ponto, resumir em duas idéias o conjunto de objeções ao enunciado clássico do princípio:

- a - novas condições (em quantidade e qualidade) gerariam novas causas, novos processos e novos resultados;
- b - mesmas causas atuando em configurações diversas gerariam resultados diferentes.

A partir destas considerações, o que resta efetivamente do princípio do Uniformitarismo, tal como foi concebido originalmente no século passado? Retome-se o enunciado clássico desse princípio, no qual é possível distinguir quatro tipos de proposições que, segundo Gould (1984), podem ser nitidamente agrupadas nas seguintes categorias:

- Pressupostos metodológicos aceitos por todos os cientistas:
 - a - uniformidade das leis: as leis da natureza são invariáveis;
 - b - uniformidade dos processos terrestres (Atualismo): os eventos geológicos do passado envolveram processos de natureza essencialmente igual à dos que atualmente ocorrem;
- Proposições substantivas acerca do mundo:
 - c - uniformidade de velocidades (Gradualismo): os processos operariam com idênticas velocidades, ainda que extremamente lentas e quase imperceptíveis aos sentidos humanos;
 - d - uniformidade de condições (não-direcionalismo): os ciclos terrestres seriam intermináveis e a Terra, um lugar em constante mudança.

Analisando-se as restrições feitas ao Uniformitarismo como princípio, não se encontra qualquer objeção ao comportamento da Natureza relativamente às chamadas leis físicas (proposição "a") e aos processos (proposição "b"), que tratam exatamente do que é uniforme na Natureza, daquilo que permanece invariável no tempo e no espaço, quaisquer que sejam as circunstâncias. Elas expressam com exatidão a regularidade (por exemplo, a lei da gravidade, leis da termodinâmica etc.).

A primeira proposição é, portanto, aceita até hoje, mas não é peculiar ao princípio do Uniformitarismo nem à Geologia, pertencendo realmente ao domínio das ciências físicas. O pressuposto de que os processos terrestres atuais são os mesmos ocorridos no passado constitui um ponto de partida (um princípio) para se realizar ciência. Portanto, subsiste plenamente a idéia de uniformidade no aspecto dos fenômenos físicos.

Segundo Potapova (1968), o princípio do Uniformitarismo seria o método principal e geralmente aceito em Geologia, correspondente à "forma geológica do método histórico-comparativo". Entretanto, as restrições ao Uniformitarismo dizem respeito exatamente a aspectos da natureza que variam com as circunstâncias (fatores contingentes, históricos). Trata-se de fatos tipicamente singulares, impossíveis de se estudar sob a ótica estrita do Uniformitarismo. Conseqüentemente, a terceira e quarta proposições são passíveis de verificação, se falsas ou verdadeiras. Ambas demonstraram-se inexequíveis e não permanecem, até mesmo em termos físicos. Em outras palavras, não constituem princípios da ciência histórica e tampouco da ciência física, prejudicando parcialmente a generalização de Longwell e Flint (1955, p. 385, *apud* Gould, 1984):

"O uniformitarismo é o princípio básico da ciência histórica e a principal contribuição dos geólogos ao pensamento científico"

Gould (1984) assinala que mesmo os catastrofistas consideravam as duas primeiras uniformidades metodológicas como parte da definição de ciência. Os catastrofistas teriam sido, pois, tão "científicos" quanto os uniformitaristas, repousando as maiores divergências em distintas concepções de velocidade e direção dos ciclos terrestres.

Adotando a separação entre princípio ontológico (aquele no qual hipóteses explicativas do mundo circundante estão refletidas) e princípio gnoseológico (aquele que define uma abordagem para o estudo desse mundo), o termo, Uniformitarismo, fora abandonado por Gruza e Romanovskiy (1975), que se referem ao "princípio gnoseológico do Atualismo", da seguinte forma:

"(...) toda a explicação do passado só pode ser feita com base nos conhecimentos do presente"

Sintetizando o problema, Gould (1967) propôs a distinção entre dois tipos de Uniformitarismo:

- *Uniformitarismo Substantivo*, que engloba as quatro proposições mencionadas. Segundo o autor, uma visão do comportamento da Natureza modernamente inaceitável.
- *Uniformitarismo Metodológico*, que engloba apenas as duas primeiras proposições. Gould (*op. cit.*) admite que para as ciências físicas possa ser um princípio, mas para a ciência histórica não passaria de um método, ou seja, considera-o um dos métodos históricos em Geologia, atendendo à noção de simplicidade, como procedimento de trabalho.

O Uniformitarismo Metodológico ficou conhecido como Atualismo. Assume importância na Geologia Física, porém

é apenas um dos métodos históricos. O estudo dos fenômenos do passado envolve raciocínio indutivo e diversos tipos de analogia, além de depender das pistas obtidas do presente.

3.3 - Idéias Evolucionistas

Pode-se admitir que o Evolucionismo nasceu do ventre do Uniformitarismo, sob a forma de Transformismo. Assim como todas as idéias, já havia se manifestado antes do seu nascimento formal e modificou-se significativamente no decorrer dos tempos.

O conceito de transformações evolutivas nos reinos animado e inanimado é considerado uma das grandes conquistas do pensamento humano. O cosmólogo Leibniz, no século XVII, foi o primeiro a propor o princípio de grande continuidade na Natureza que, na época, levou à noção denominada "*Grande Cadeia de Seres do Átomo a Deus*", em que as coisas não eram descontínuas, mas arranjadas em seqüências gradacionais. Cálculos desenvolvidos por Leibniz e Newton vieram fortalecer as idéias embrionárias de evolução, pois focalizavam a integração de pequenas transformações no espaço e no tempo. Apenas no século XVIII, efetivamente começou-se a pensar por meio da perspectiva evolutiva, já que antes tudo era assumido como fixo, na forma e em relação a tudo o mais. Admitia-se que a vida fora criada há cerca de 4 000 A.C., após o que não houvera nem extinção nem criação de espécies. Hook e Buffon alinham-se entre o primeiros a duvidarem da veracidade disso. No início do século XIX, Lamarck elaborou uma teoria de gradual desenvolvimento das espécies. Mourão (1990) chama a atenção para o fato de que jamais se reconheceu devidamente o mérito deste último autor como "o primeiro evolucionista explícito e consistente".

Lyell, que no início ainda postulava a interferência divina no desenvolvimento da vida, rejeitou a teoria de Lamarck, embora tanto ele quanto Hutton, e mesmo Lomonosov em meados do século XVIII (*apud* Khain, 1963), já tivessem admitido um certo tipo de evolucionismo no mundo orgânico.

Na parte final do século XIX, usando os princípios da termodinâmica então recentemente descobertos, Kelvin antecipou a moderna concepção da Terra física como uma esfera dinâmica e paciente de mudanças irreversíveis. Em 1896, 37 anos após "*On the origin of species*" de Darwin, a descoberta da radioatividade viria a contribuir decisivamente para o pensamento evolucionista:

- a radioatividade era importante exemplo de evolução inorgânica irreversível que, por meio da idéia de transformação de um elemento químico em outro, fornecia pista fundamental para a percepção da evolução química global da Terra, em que o decaimento radioativo deveria ter desempenhado papel preponderante;
- a radioatividade abriu perspectivas para um novo tipo de datação absoluta dos eventos terrestres: os resultados

obtidos efetivamente confirmavam um tempo geológico suficientemente extenso para abrigar a evolução lenta e gradativa da Natureza;

a descoberta de que o fenômeno da radioatividade era exotérmico forneceu o argumento indispensável sobre qual seria a fonte energética capaz de sustentar a evolução terrestre através dos tempos, admitindo-se uma dissipação da energia original da Terra (fig. 2).

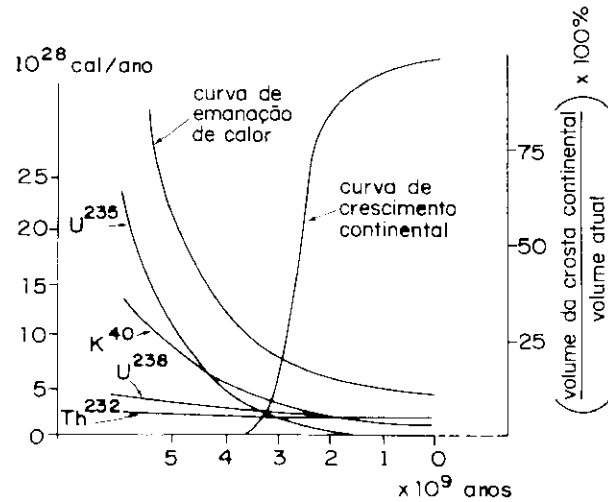


Fig. 2 - Calor emanado dos principais elementos radioativos durante o tempo geológico, modificado de Lyubimova (1960, *apud* Salop, 1977) e curva de crescimento continental versus produção de calor, baseada em Windley (1984)

Fig. 2 - Heat flow from the principal radioactive elements during geological time, modified from Lyubimova (1960, *apud* Salop, 1977) and curve of continental growth versus production, based on Windley (1984).

Nesse contexto de idéias, aumentou a consciência quanto ao aspecto mais importante da história geológica, que nunca repete exatamente a si mesma. Os eventos, historicamente considerados, envolvem tantos e tão complexos fatores que, ao menos num pequeno grau, são todos eventos singulares. A probabilidade de repetição de uma série histórica de eventos é considerada pequena; os fenômenos individualmente podem ter ocorrido de forma idêntica sob muitos aspectos e inclusive ter-se repetido muitas vezes, mas uma seqüência temporal não se repete de forma exatamente igual.

A consideração de que o aspecto do planeta, no início de seu desenvolvimento, há 4,6 Ga, seria bastante diferente do atual, levou muitos autores, como Hargraves (1981), a buscar evidências de mudanças seculares em lugar da uniformidade (Uniformitarismo Substantivo). Pode-se afirmar, pois, que a Terra passou a ser entendida como um "organismo dinâmico e evolucionário, no sentido de que está em permanente transformação, de uma maneira cumulativa e irreversível."

Nesta visão moderna de Evolucionismo, a própria noção de ciclicidade dos fenômenos foi revista, admitindo-

se um "retorno" a situações equivalentes, com resultados semelhantes, mas não idênticos.

3.4 - Gradualismo e Noção de Mudança Pontuada

O Gradualismo proposto por Lyell (proposição "c"), ainda que consiga explicar alguns fatos geológicos, é demasiadamente restritivo e não permite explicar todas as mudanças na história física e biológica da Terra. O termo "catastrofismo", por sua vez, mesmo em recentes versões, implica rápidas mudanças em escala global. A moderna geologia é uma mistura das concepções de Lyell e dos catastrofistas (Gould, 1984). Numa visão mais "pluralista" da natureza da mudança, o conceito de mudança pontuada (*punctuational change*) enfatiza tanto a estabilidade dos sistemas terrestres quanto a concepção da mudança em episódios curtos que quebram o equilíbrio anterior e rapidamente estabelecem uma nova condição (Gould, *op. cit.*). A discussão dessas novas concepções extrapola, porém, o escopo deste trabalho.

3.5 - Comparação entre Atualismo e Evolucionismo

Na retrospectiva que se fez das idéias uniformitaristas e atualistas, é possível perceber concepções significativamente diferentes, que são, por sua vez, igualmente distintas das idéias evolucionistas. Três possibilidades relevantes podem ser sumariadas:

"O *Atualismo* é um princípio da *Geologia Física* e um dos métodos da *Geologia Histórica*" A linha de raciocínio predominante até aqui desemboca nesta corrente de opinião, pois quando o geocientista interpreta os eventos passados, engaja-se numa linha evolucionista, na qual depende do *Atualismo* como método histórico, como ferramenta de raciocínio histórico-geológico e, por conseguinte, do *Evolucionismo*;

"O *Atualismo* é um princípio tanto da *Geologia Física* como da *Histórica*". Para esta corrente de opinião, o *Atualismo* seria uma redefinição, mais moderna e moderada, do *Uniformitarismo Substantivo*. Nestes termos, haveria compatibilidade entre *Atualismo* e *Evolucionismo*;

"O *Atualismo* é um princípio e um método unicamente da *Geologia Física*". A *Geologia Histórica* possui métodos próprios que não incluiriam, de forma direta, o *Atualismo*, mas abrangem o aspecto de ciência física; o *Atualismo* contribuiria na forma indireta, submetido à orientação dos métodos históricos propriamente ditos.

Nas tendências expostas, apesar das divergências, acredita-se ter percebido consenso nos seguintes aspectos:

- o *Atualismo* é indispensável à ciência física, seja como

princípio, seja como método;

- de uma maneira direta ou indireta, a ciência histórica depende do *Atualismo*;
- o *Evolucionismo* não nega o *Atualismo*, pelo menos no sentido físico, abrangendo-o, portanto, em algum grau.

Assumindo-se tais considerações como verdadeiras, as divergências restringem-se ao entendimento, em cada corrente, de como o *Atualismo* deve ser ou é usado nas reconstituições histórico-geológicas, o que conduz à seguinte síntese de tendências sobre a dinâmica da Natureza:

"Nem violento catastrofismo, nem um rígido uniformitarismo, mas algo evolutivo, que foi se transformando através de uma cadeia irreversível de eventos históricos cumulativos".

4 - CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DA HISTÓRIA EVOLUTIVA TERRESTRE

A análise da maneira como vêm sendo aplicadas as doutrinas de *Atualismo* e *Evolucionismo* em *Tectônica*, objeto deste estudo, requer apoio em uma visão moderna da história do Planeta. Nesse sentido, além de focalizar teorias sobre a dinâmica interna da Terra no passado, é conveniente focalizar a evolução da dinâmica externa, já que os materiais e feições que se desenvolveram ao longo do tempo geológico resultam da interação dos fenômenos internos e externos, e respectivos agentes condicionantes.

A análise de modelos em *Tectônica* é sempre polêmica: qualquer que seja a obra ou autor selecionado ou sua corrente de pensamento, sempre haverá uma escolha fundamentada no grau de conhecimento do problema e na própria escola do pensamento a que se está filiado. Portanto, poderá estar servindo de referência uma visão parcial do tema. Para enfrentar o desafio da reconstituição conceitual e para se garantir uma certa isenção, o enfoque abrangente poderia parecer mais adequado, ou seja, a análise de diversos textos que possibilitem caracterizar a postura filosófico-metodológica de cada autor que estudou a evolução tectônica da Terra. O esquema "abrangente" não impede que várias e sucessivas "escolhas" ocorram, além do perigo de perder-se num emaranhado de idéias. A dificuldade maior é a impossibilidade de estabelecer um instrumento objetivo de análise.

Optou-se, então, por tratar o tema de forma "dirigida": analisou-se de que maneira os conhecimentos tectônicos atuais são transferidos a partir do presente para o passado. O objetivo de estudo da *Geologia*, isto é, o processo histórico-geológico (Potapova 1968), é considerado da seguinte forma: algumas características dos continentes e oceanos atuais, comparadas com feições dos cinturões móveis antigos constituem a base de análise do *Fanerozóico*, da crosta terrestre no *Pré-Cambriano* e, finalmente, das características dos cinturões móveis vestigiais, que são as áreas profundamente denudadas pela erosão ou feições das quais só se dispõe de relictos e fragmentos. Tal procedimento

dirigido é menos amplo, mas parece o mais adequado a uma análise voltada para a Tectônica.

4.1 - Evolução Tectônica da Crosta Terrestre no Fanerozóico

A partir de alguns trabalhos pioneiros (Blackett *et al.* 1965); Bullard *et al.* 1965), Dewey e Bird, 1970; Dietz e Holden, 1970), houve nas últimas três décadas intenso progresso nos conhecimentos geológicos principalmente, sobre os fundos oceânicos (Le Pichon *et al.* 1973; Sutton, 1975) e, posteriormente, sobre as áreas continentais (Sutton e Windley, 1974). Isso permitiu o desenvolvimento de novas teorias sobre a evolução tectônica da crosta (Windley, 1984).

A aplicação da Tectônica de Placas para o passado terrestre (Kröner, 1981) oferece vasto campo de debate. Nas plataformas do Fanerozóico, os movimentos tectônicos afetaram grandes áreas, criando estruturas próprias, como escudos, sinéclises, antécilises, depressões pericratônicas e aulacógenos. Os dobramentos, quando existem, são de natureza idiomórfica; as espessuras de sedimentos atingem alguns milhares de metros e o metamorfismo é inexistente ou de baixo grau nas restritas áreas de incidência.

As ativações tectono-magmáticas das plataformas são verdadeiras reestruturações quando ocorre movimentação de falhas e a conseqüente criação de *grabens* e *horsts*. Os relevos "montanhosos" formados por esses processos originam, por erosão, materiais de tipo "molássico" que preenchem as depressões. O magmatismo geralmente associado é do tipo básico a alcalino, em manifestações episódicas.

Ao final do Paleozóico, no intervalo 230-180 Ma instalam-se os cinturões orogênicos modernos nas zonas de interação de placas litosféricas, associados a vulcanismo, espessas seqüências de sedimentos dobrados e metamorfizados, além de depósitos detriticos provenientes da erosão das cadeias montanhosas em soerguimento. Começa a fragmentação dos supercontinentes Laurentia e Gondwana, dando início à formação dos atuais oceanos (Dietz e Holden, 1970). Entretanto, apenas na passagem do Jurrásico para o Cretáceo Inferior, origina-se o Oceano Atlântico.

Atualmente, o fundo oceânico é relativamente bem conhecido, com seu padrão "zebrado" e simétrico de anomalias magnéticas em relação ao eixo das cadeias médio-oceânicas e a distribuição de idades das rochas vulcânicas, progressivamente mais antigas a partir das cadeias (fig. 3). O vulcanismo atual coincide com o eixo dessas dorsais, com fraturas da crosta oceânica no interior das placas e zonas de elevado fluxo térmico. Nos continentes, o vulcanismo concentra-se em cinturões de movimentação orogênica mais moderna. A sismicidade acentua a presença das zonas ativas que limitam as placas litosféricas atuais.

4.2 - Evolução das Condições da Crosta Terrestre no Pré-Cambriano

São muitas as evidências concretas de evolução irreversível (fig. 4) das condições físicas e químicas das zonas exteriores da Terra (atmosfera, biosfera, hidrosfera), bem como na taxa de bombardeamento meteorítico, que são mudanças nos fatores da dinâmica externa. Existem ainda as da dinâmica interna do planeta, como o espessamento da litosfera (fig. 2), as modificações que nesta se processaram (acoplamento crosta-manto superior, nucleação de continentes, paleogeografia etc.), o fluxo térmico exponencialmente decrescente (fig. 2), a diferenciação sistemática das famílias e associações magmáticas etc. Opiniões sobre tais alterações são hoje praticamente consensuais, com defensores bem respaldados (Kröner, 1981; Windley, 1984; Condie, 1989) e poucos antagonistas "remanescentes". Simplificou-se a tarefa de compreender a evolução dos processos litogenéticos e metalogenéticos, em geral, e dos tectogenéticos, em particular.

Na figura 4 ilustram-se algumas das profundas mudanças nas condições exteriores da Terra com o tempo geológico, segundo Salop (1977). A partir de análises de inclusões fluidas gasosas em quartzitos sedimentares do Arqueano, por exemplo, estima-se que a atmosfera inicial era muito densa e composta por cerca de 60% de CO₂. Os restantes 40% correspondiam a vapor de H₂O, HCl, HF, H₂S, SO₂, NH₃, CH₄, S e outros componentes menores (Salop, *op. cit.*). O oxigênio livre foi sendo progressivamente concentrado, até atingir os 21% no Cenozóico. Ao mesmo tempo, o CO₂ foi continuamente fixado nos sedimentos e, por não haver reposição pelo vulcanismo, sofreu sensível decréscimo.

Salop e Scheinmann (1969, p. 594) observam que:

"Os dados sobre a tectônica e a história das plataformas levantam a questão da linearidade e ciclicidade da evolução e o problema da importância do princípio atualístico. O estágio permóvel (...) e, talvez, a substituição do regime plataformalgossinclinal por outro que está apenas se iniciando (reativação continental-oceânica e estágio de colapso oceânico), tudo isso é uma indicação direta da existência de uma notável tendência na história da Terra - uma tendência que é fácil de se associar às mudanças nas condições energéticas internas. (...) O reconhecimento desta tendência não pode mudar, contudo, a existência de repetição de fenômenos. Tal ciclicidade é causada por processos endógenos..."

Levantando dúvidas relevantes sobre a duração dos ciclos tectônicos no passado terrestre, os autores assinalam que:

"uma das questões vitais de nossa ciência é o problema de ciclicidade e suas causas, que levam a uma substituição do declínio de energia pela sua intensificação".

Ao retroceder no tempo, em que medida se podem considerar como "do presente" fenômenos que aconteceram em tempos próximos aos atuais? A extrapolação de um modelo cinemático que explica feições, arranjos e processos atuais estaria em contradição com o Evolucionismo ou estaria sendo projetada uma visão uniformitarista substantiva? Essas questões, pertinentes e de difícil solução, exigem que se considerem dados geológicos dos tempos antigos, à luz dos novos modelos tectônicos.

da litosfera oceânica e continental (fig. 5) refletem, com especial propriedade, essa dinâmica.

Tal reconstrução, além das características de tempo e espaço que a tornam peculiar, ainda esbarra nas naturais dificuldades da ciência histórica, ao depender da qualidade e natureza do registro preservado. O termo "vestigial" é particularmente apropriado. A erosão posterior ao aparecimento de antigas cadeias montanhosas pode ter removido grande parte dos registros e feições que se

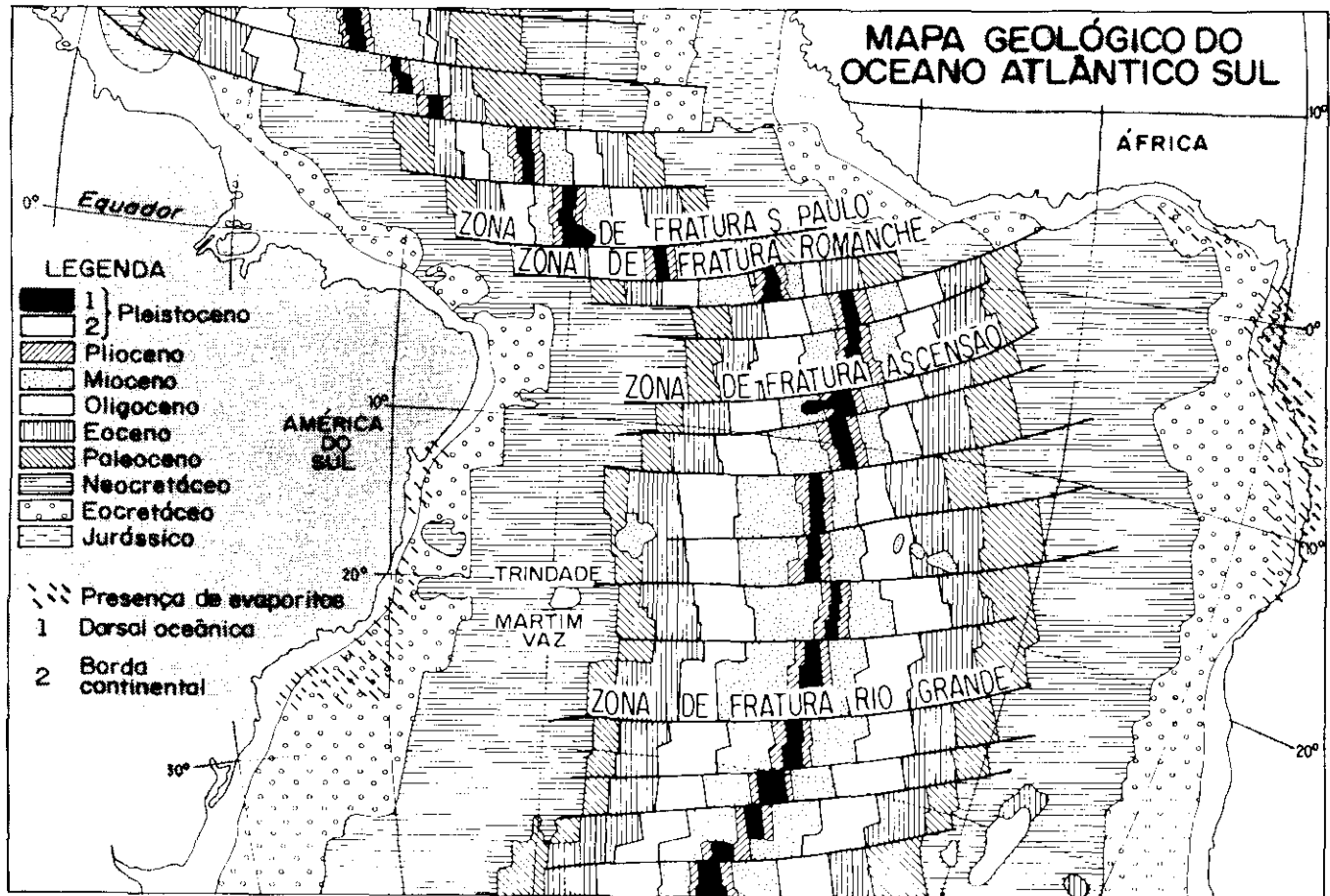


Fig. 3 - Mapa geológico do Oceano Atlântico Sul, segundo Freeman-Lynde e Tharp (1981).
Fig. 3 - Geological map of the South Atlantic Ocean, from Freeman-Lynde e Tharp (1981).

4.3 - Cinturões Móveis Vestigiais Proterozóicos e Modelos Existentes

A crosta terrestre e sua evolução compõem um dos mais abrangentes campos de estudo da Geologia, tratando de todos os eventos de larga escala que participaram da arquitetura das porções externas da Terra, sua seqüência, duração, causas e efeitos. As rochas a que se tem acesso formaram-se na superfície da Terra sólida ou próxima a ela, de modo que o registro geológico corresponde mais diretamente à própria "história do ambiente crustal" (Hargraves, 1981). As curvas de crescimento (Condie, 1989)

consideram fundamentais para caracterizar os cinturões modernos. Como é próprio da Ciência, as interpretações, hipóteses e premissas do estudo do passado terrestre passam por periódicas revisões e reformulações à medida que novos dados e conceitos vão sendo descobertos.

Das várias descrições que compõem o moderno conhecimento das condições tectônicas dos primeiros 7/8 da história da Terra, sobressaem-se alguns aspectos comuns sobre os cinturões móveis proterozóicos (quadro I). O quadro II ressalta ponderações necessárias antes de serem abandonados os modelos atuais de Tectônica Global (acrescionários e colisionais), em busca da formulação de

novos modelos. Como exemplo, uma das ausências características dos cinturões vestigiais são as seqüências ofiolíticas, indicadas no quadro I. No entanto, em muitos locais, começou-se a identificar tais seqüências (quadro II), demonstrando ser inconveniente o abandono precoce dos modelos existentes.

Da análise do quadro II emerge um fato notável: o crédito dado à Tectônica Global é proporcional ao nível de conhecimento geológico, geofísico e geoquímico da faixa móvel. A rejeição geralmente decorre das tentativas de aplicá-la a faixas pobremente conhecidas, onde quaisquer outros modelos seriam de aplicação problemática.

Dois outros fatores parecem influir decisivamente numa visão evolucionista intrínseca à Tectônica Global. São eles: decaimento exponencial de fluxo térmico do planeta, com o tempo: especialmente a partir de 3,0 - 2,5 Ga (fig. 2); e modificações importantes em todos os processos litogenéticos devido à evolução irreversível e sistemática dos fatores da dinâmica interna e também da externa; bombardeamento meteorítico, atmosfera, hidrosfera e biosfera. No quadro III apresentam-se uma série de hipóteses auxiliares e observações que servem de adendo aos modelos de Tectônica de Placas, no que se refere à geometria das placas, associações litológicas e movimentos resultantes. A questão do motor dos movimentos e deformações foi igualmente esboçada.

5 - DISCUSSÃO

As generalizações apresentadas nos quadros de I a III levam a admitir que os processos tectônicos da crosta sofreram mudanças de intensidade, local e forma de atuação à medida que a superposição de eventos e as mudanças no regime de calor endógeno foram ocorrendo. Há muitas similaridades nos padrões de distribuição das feições crustais, tipos e associações rochosas encontrados ao longo do Tempo Geológico. As transformações climáticas e de características do meio físico externo à Terra igualmente contribuíram, de modo que o desenvolvimento mais plausível traduz, em última análise, uma tendência de diferenciação da crosta.

Trata-se, portanto, de um quadro essencialmente evolucionista da história do planeta: as mudanças sucedendo-se freqüentemente de modo cíclico, sem retorno a situações anteriores, mas avançando para outras inéditas (muitas vezes equivalentes), numa seqüência em espiral, gradativa e irreversível. Em outras vezes, geologicamente falando, as transformações parecem ter ocorrido de modo repentino.

Por outro lado, também o Atualismo é aplicável, na forma exposta no final da primeira parte do trabalho, ou seja, concebendo-se que as leis físicas e químicas que atuaram no passado teriam sido as mesmas de hoje. Isso exclui a possibilidade de transformações decorrentes de causas "sobrenaturais" (extraordinárias). Dessa consideração emerge, ainda, a provável repetição de certas condições

geológicas, responsável pela recorrência de determinados fenômenos no passado da Terra, a ser melhor examinada.

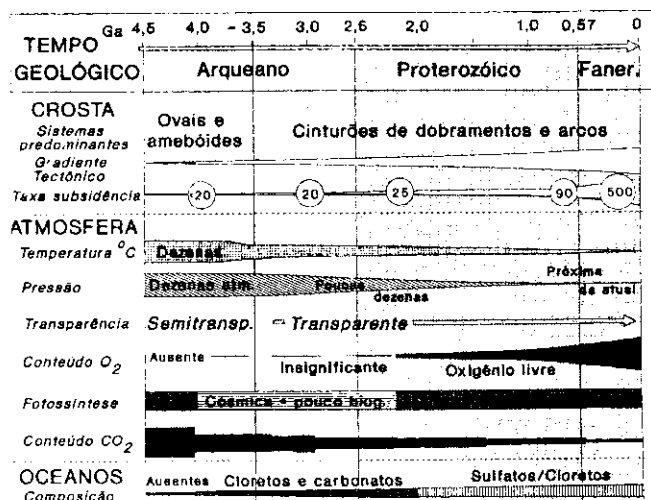


Fig. 4a - Quadro sinóptico da evolução tectônica e das condições físicas e químicas das zonas exteriores da Terra, extraído de Salop (1977). Parte A: condições da crosta, da atmosfera e dos oceanos. A taxa de subsidência é expressa em metros/milhão de anos.

Fig. 4a - Synoptic chart of the evolution of tectonic and physical and chemical conditions of the external zones of Earth, from Salop (1977). Part A: conditions of the crust, atmosphere and the oceans. The subsidence rate is expressed in meters/million years.

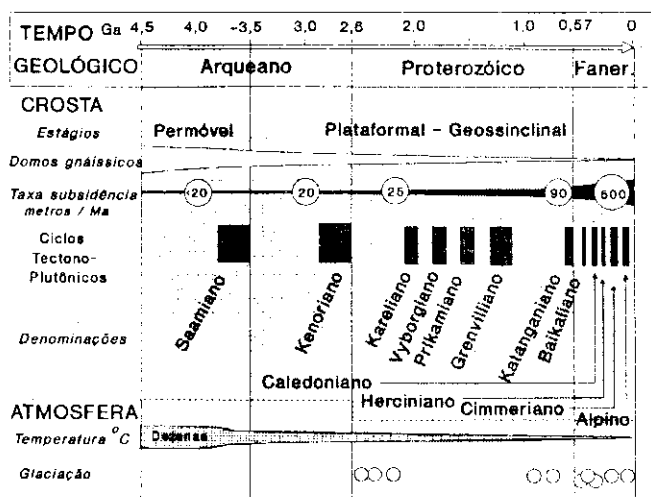


Fig. 4b - Quadro sinóptico da evolução tectônica e das condições físicas e químicas das zonas exteriores da Terra, extraído de Salop (1977). Parte B: comparação entre as condições da crosta e os principais ciclos tectono-plutônicos reconhecidos no hemisfério norte; alguns eventos importantes de glaciação acham-se indicados.

Fig. 4b - Synoptic chart of the evolution of tectonic and physical and chemical conditions of the external zones of Earth, from Salop (1977). Part B: comparison between the crustal conditions and the main tectono-plutonic cycles recognized in northern hemisphere; some important glacial events are indicated.

QUADRO I | CHART 1

FEIÇÕES DOS CINTURÕES MÓVEIS VESTIGIAIS PROTEROZÓICOS FEATURES OF PROTEROZOIC VESTIGIAL MOBILE BELTS

1. Inexistência distintiva, ou defecções importantes, de rochas supracrustais. Reconstituições paleogeográficas dificultadas. Erosão ou não-deposição em debate.
2. Ausências características: a) seqüências ofiolíticas, suturas ofiolíticas; b) magmatismo cálcio-alcálico de arcos magmáticos; c) andesitos (pouco freqüentes); d) zoneamento "geossinclinal" ou similar, com extêrnides e intêrnides bem definidos; e) organização linear ou organização geométrica comparável à dos clássicos <i>orogenic belts</i> .
3. Presenças freqüentes e/ou características usuais: a) seqüências supracrustais vulcano-sedimentares de águas rasas; b) presença local de vulcanismo basáltico toleitico. Vulcanismo bimodal em algumas regiões; c) exposições de embasamento sobrepujando os feixes supracrustais, com retrabalhamento importante, tectônico, magmático e termal, fora ou longe dos edifícios litoestruturais preservados com supracrustais; d) alguns blocos ou porções do embasamento poupados do retrabalhamento tectono-magmático (<i>basement inliers</i>); e) processos granitogênicos variados em natureza, modo, forma e tempo de ocorrência, sem evidências claras de subducção.
4. Outros aspectos distintivos: a) informações paleomagnéticas e gravimétricas contraditórias ou não-compatíveis com os modelos convencionais de orogênia; b) espalhamento incomum de dados geocronológicos, apesar de estarem situados dentro de um padrão coerente.

5.1 - Influência do Atualismo na Tectônica Global

A aceitação do Uniformitarismo Metodológico é condição *sine qua non* do exercício das ciências geológicas, tanto quanto a noção de escala dos fenômenos e a noção de tempo geológico representada nos registros.

As leis físicas são imutáveis e irretocáveis, do Arqueano mais remoto ao Holoceno, assim como a escala microscópica guarda relação intrínseca como a megascópica. Os condicionantes fundamentais dos fenômenos geológicos, em todas as escalas, estão sempre mudando, evoluindo de modo irreversível e inexorável. Em Geotectônica, os motores interno (calor do interior da Terra) e externo (ações e interações do trinômio atmosfera-biosfera-hidrosfera) evoluem desde os primórdios da história do planeta. Merece destaque o fato, ainda mal explicado, de que há 3,0 Ga existe um ponto de interseção das curvas de decréscimo de calor e de espessamento da litosfera (fig. 2). Na figura 5, a curva baseada em Cordani *et al.* (1988) ilustra a estimativa de que a acreção continental, na América do Sul, tenha atingido cerca de 45%

por volta do início do Proterozóico, o que é coerente com as curvas de crescimento continental propostas por outros autores, em diversos continentes (Condie, 1989).

Com o decaimento da fonte de calor (gradativamente e em pulsos), consoante lei física, são muitas as modificações evolutivas conexas, no fluxo térmico (fig. 2), no sistema convectivo do manto, no magmatismo, na estruturação da litosfera (espessamento, acoplamento ao manto superior etc.). Nos processos exógenos, têm sido registradas transformações envolvendo a atmosfera, biosfera e hidrosfera, hoje muito distintas daquelas da aurora do planeta. Cabe registrar o crescente interesse pelo estudo das mudanças globais (Suguio e Tessler, 1990), que nada mais são que produtos de processos ativos numa singela etapa, comparativamente muito curta, desse longo processo evolutivo. Em tempos recentes, surgiram hipóteses segundo uma visão holística da evolução (p. ex. Lovelock, 1987): as transformações na litosfera, biosfera, atmosfera e hidrosfera não ocorrem de modo isolado; ao contrário, são fortemente interdependentes. A Geologia é, ainda assim, a ciência que melhor pode fazer a síntese da evolução do conjunto.

A observação dos processos geológicos atuais representa a base de interpretação dos registros litoestruturais do passado, nas condições em que estes se concretizaram. Essa é a maneira mais confiável para se entender o encadeamento e o desenlace dos fenômenos primitivos, sob interação de agentes internos e externos. Além de bom senso, é necessário que o intérprete disponha de conhecimento das muitas variáveis da dinâmica interna e externa e de sua evolução substancial no tempo geológico.

5.2 - Papel do Uniformitarismo Substantivo na Tectônica Global

Nos estudo do Arqueano, uma característica inexplicável é a velocidade de certos processos (inexcedida em tempos posteriores), como na formação e destruição dos primeiros núcleos de crosta continental sob condições de arrasto viscoso para o manto, mercê de um quadro mais intrincado e mais denso de seu sistema convectivo interno. O epíteto de "estágio permóvel" (Salop, 1977) traduz bem estas condições de mobilidade sem tréguas, onde não se pode vislumbrar qualquer segmento crustal com estabilidade, ainda que parcial. É geralmente aceito hoje que essas construções litoestruturais, típicas do Arqueano de todo o mundo, jamais se repetiram integralmente. Os análogos proterozóicos, quanto mais jovens, mais distintos se tornaram.

A mesma assertiva pode ser adaptada, em termos de velocidade e resultado de processos (tipos litoestruturais em última análise), para os demais estágios do tempo geológico (Proterozóico Inferior, Médio e Superior e Fanerozóico). Cada um deles assume uma somatória de caracteres próprios e intransferíveis, que, sem apelos dogmáticos, constitui ferramentas de trabalho do geólogo em diferentes continentes.

QUADRO II / CHART II

PONDERAÇÕES NECESSÁRIAS ANTES DE SE ABANDONAR MODELOS TECTÔNICOS CONVENCIONAIS

IMPORTANT POINTS TO BE CONSIDERED BEFORE LEAVING CURRENT TECTONIC MODELS

1. Existência franca e reconhecida de cinturões gnaisse-granulíticos e <i>greenstone-belts</i> por todo o Proterozóico, com pequenas diferenças daqueles do Arqueano; às vezes, no mesmo continente, estes cinturões coexistem com outros <i>orogenic belts</i> convencionais.
2. Algumas ocorrências importantes de cinturões granulíticos no Fanerozóico e mesmo nas raras "bacias" equiparáveis aos <i>greenstone-belts</i> do Arqueano/Proterozóico Inferior.
3. Ofiólitos e xistos azuis são associações litológicas de preservação difícil e sob condições especialíssimas, fadados que são à rápida erosão e transformações termodinâmicas. Mesmo nos orógenos modernos, as áreas de ocorrência são restritas.
4. Reconhecimento de algumas feições notáveis, como: a) cinturões de xistos azuis remontando aos primórdios do Proterozóico Médio; b) faixas ofiolíticas em vários cinturões móveis do Proterozóico em todos os continentes; c) presença de arcos magmáticos e sua polaridade petrológica e geoquímica desde, pelo menos, o Proterozóico inferior.
5. Há evidências seguras, geológicas e geofísicas, da existência de placas litosféricas rígidas e coerentes desde o início do Proterozóico, com espessuras não diferentes das atuais.
6. Os modelos clássicos de orogenia - na escola fixista e mobilista - tiveram como paradigma os cinturões móveis fanerozóicos, que: a) constituem cerca de 14% da superfície do planeta e apenas 34% de toda a crosta continental atual; b) são compostos de contextos litoestruturais superiores, não ceifados por níveis significativos de erosão.
7. Pouco se conhece da infra-estrutura dos orógenos modernos. Nas zonas mais desgastadas (de 15 km a 20 km de erosão), ocorre panorama litoestrutural muito semelhante ao dos orógenos "vestigiais" proterozóicos.
8. Os modelos clássicos de orógenos fanerozóicos dos anos 60 e 70 possuem muitas imperfeições e são questionados. Várias considerações e hipóteses auxiliares formuladas mais tarde (quadro III) são pouco evocadas.
9. O problema da herança tectônica deve ser considerado, pois: a) os orógenos são sítios geométricos naturais de fraqueza litosférica e sedes da retomada de ciclos orogênicos (tempo); b) a aloctonia nos processos orogênicos é muito freqüente e a reconstrução paleogeográfica procurada para se adequar aos modelos clássicos nem sempre é possível (espaço).

Parece comprovado, em definitivo, que o uniformitarismo radical e absoluto (substantivo) é inaceitável na observação, análise e síntese em Geotectônica (a exemplo do que ocorre na Geologia como um todo). Uma ciência que busca integrar os processos atuais e do passado e que tem por escala o próprio planeta considera existir uma dinâmica irreversível na velocidade e os resultados dos processos, além de serem eles marcadamente distintos.

QUADRO III / CHART III

HIPÓTESES AUXILIARES E ADENDOS AOS MODELOS DE TECTÔNICA DE PLACAS: GEOMETRIA E MOTOR

AUXILIARY HYPOTHESES AND ADJUSTMENTS TO PLATE TECTONICS MODEL: GEOMETRY AND DRIVING FORCES

1. Caráter não monolítico das placas litosféricas: a) diferenças essenciais nas constantes físicas da crosta superior e inferior e do manto superior; b) delaminação pode ocorrer sempre na presença de tensões e energia térmica anômala; c) possibilidade freqüente de <i>underplating</i> ou colchões magmáticos intraplaca; d) reconhecimento de zonas transformantes (<i>transform zones</i>) dúcteis continentais.
2. Caráter não retilíneo e nem sempre completo do rompimento litosférico: a) herança tectônica de zonas de fraqueza litosférica; b) aulacógenos ou bacias oceânicas aparecem em função da intensidade de fatores extensionais e de características intrínsecas da litosfera.
3. Caráter não-paralelo freqüente dos orógenos acrescionários e colisionais: a) obliquidade e denteação (<i>indentation</i>) são fatos usuais, devido ao movimento angular das placas e à forma sinuosa destas; b) fases distintas de convergência (da pré-colisão e de estágios avançados pós-colisionais) podem ocorrer num mesmo ciclo orogênico.
4. Envolvimento da placa nos processos de interação das margens: a) dependente de natureza e peculiaridades dos processos em zonas convergentes, divergentes e transformantes; b) dependente das heterogeneidades preexistentes nas placas; c) dependente das dimensões da placa considerada.
5. Variáveis qualitativas e quantitativas da subdução B: a) arcos extensionais, neutros e colisionais; b) terrenos suspeitos, microcontinentes e as pequenas colisões e refrações de subdução; c) pequenos e grandes oceanos.
6. Litosfera continental não é indestrutível, nem indigerível e tampouco insubmersível: a) deformação difusa das margens continentais; b) possibilidade de ocorrer subdução A, associada ou não à subdução B.
7. Evolução com o tempo geológico, natural e esperável, dos processos naturais; eles acompanham toda a sistemática da dinâmica interna e externa do planeta.
8. Sobreposição de forças de equilíbrio isostático sobre as forças de convergência com o tempo tendem a mostrar sempre frações infracrustais dos orógenos mais antigos.

O grande desenvolvimento atual do ramo da "planetologia comparada" reflete a importância, dentre outros objetivos, da melhor compreensão dos processos do Arqueano Inferior, usando-se outros corpos celestes para análise e aferição. As considerações anteriores desembocam, necessariamente, no trato de modelos geotectônicos no tocante à materialização gráfica, física, analógica ou numérica das teorias tectogenéticas.

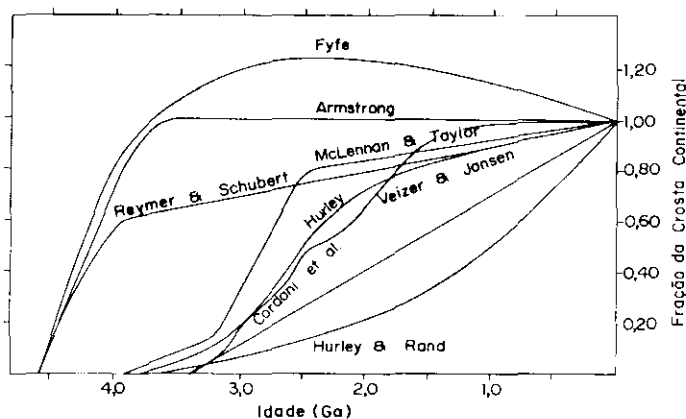


Fig. 5 - Curvas calculadas de acreção continental durante o tempo geológico (modificado de Condie, 1989).

Fig. 5 - Calculated curves of continental accretion during geological time (modified from Condie, 1989).

5.3 - Ponderações sobre Tectônica Global

O uso da Tectônica de Placas para explicar fenômenos tectônicos de todo o passado mereceu restrições iniciais, como o fizeram Le Pichon *et al.* (1973):

"(...) a hipótese da Tectônica de Placas somente fornece um modelo explicativo para a atividade tectônica e sísmica atuais na superfície da Terra. À medida que retrocedemos no passado geológico, perdemos as pistas sísmicas e torna-se muito difícil reconhecer o padrão das bordas das placas numa determinada época e o tipo de movimento que ocorreu através dessas bordas".

Essa visão simplista, mais tarde abandonada pelo mesmos autores, é exemplo de postura atualista sobre a dificuldade de se reconstruir o passado.

O modelo de Tectônica Global (introduzido a partir da Tectônica de Placas dos anos 60 e 70) admite vertentes e alternativas, todas elas enriquecidas pela perspectiva de tempo (anteriormente discutida), pela concepção das variações naturais das dinâmicas interna e externa e pelas hipóteses auxiliares e adendos (quadro III), frutos de um contexto multidisciplinar de observação. Gradativamente, é uma teoria que foi sendo aquinhoadada (hipóteses + testes + leis => teoria científica) e aprimorada por várias frentes de investigação geológica, geofísica e geoquímica. A figura 6 (baseada em Waal, 1988) indica os sucessivos graus de hierarquia conceitual e os requisitos que permitem atingir a formulação de teorias e, até mesmo, a descoberta de leis científicas.

A Tectônica Global é aplicável a todos os intervalos geológicos, respeitadas as particularidades dos estágios evolutivos mencionados (leis físicas imutáveis, velocidades e condições distintas dos processos geológicos com o tempo). Muitas feições particulares, exigindo explanação,

foram reconhecidas nestas últimas três décadas. Vários adendos foram formulados à teoria, mas é difícil organizar esquemas substitutivos convincentes. Na falta destes, o modelo dominante (paradigma) não deveria ser simplesmente rejeitado, pois, em Ciência, *"isso é melhor que confusão"* (Kuhn, 1962, 1978). Na maior parte das vezes, as reconstruções orogênicas são insuficientemente conhecidas (escala de reconhecimento), e o registro disponível é incompleto ou mal preservado. Com os conhecimentos atuais, é preferível testar rigorosa e criteriosamente a exequibilidade de variantes (hipóteses auxiliares) do modelo disponível, evitando construir novo esquema de eventos tectônicos que não se pode comprovar.

O método científico e a hierarquia conceitual

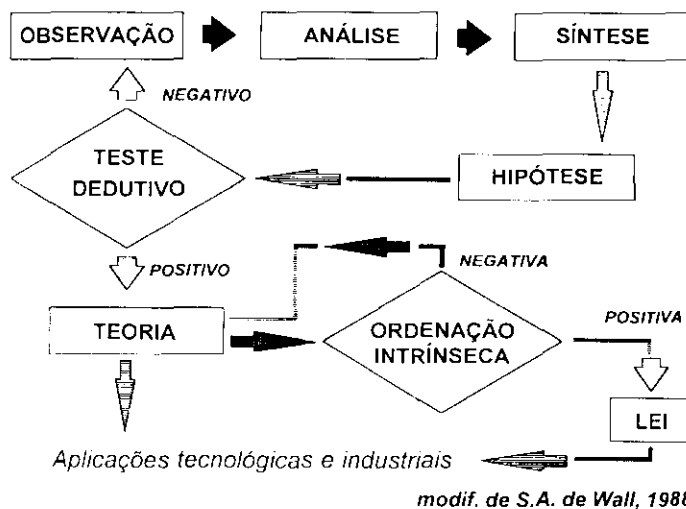


Fig. 6 - As sucessivas etapas do método científico (modificado de Wall, 1988).

Fig. 6 - The sequence of stages in the scientific method (modified from Wall, 1988).

Por vezes, surge na análise geotectônica a segmentação do Evolucionismo em estágios ou parcelas estanques (os chamados modelos "não-atualistas"): era por era, período por período etc. Trata-se de um procedimento não-recomendável, por falta de perspectiva de tempo e dinâmica do planeta³. As ponderações resumidas no quadro II chegaram a motivar críticas à Tectônica Global⁴, ou ainda, levaram estudiosos a enveredar por modelos adicionais inconsistentes. Concebido a partir da Tectônica de Placas, o modelo de Tectônica Global permanece forte e plausível três décadas após sua formulação e após todos os adendos que sofreu, mas não estará imune à pressão do pesquisador individual no sentido de testá-lo.

Além de permanecerem irresistíveis, essas iniciativas continuarão a ser desafiadas, como nas palavras de Moorbath e Taylor (1981):

"Ninguém apresentou ainda uma razão suficientemente forte,

3 - O processo histórico-geológico.

cientificamente plausível, para que o contexto da tectônica global tivesse mudado substancialmente desde o Arqueano, a partir da formação dos primeiros tratos crustais”.

Diante da afirmação de Chamberlin (1931 *apud* Compiani, 1988):

“Os estudos do geólogo são particularmente complexos. É raro que seu problema seja um simples fenômeno unitário explicável por uma única simples causa. (...) Deste modo, o geólogo deve estar sempre alerta para mudanças e para entrada insidiosa de novos fatores”.

pode-se concluir que o grande trunfo e mérito da Tectônica Global é conciliar o Atualismo (Uniformitarismo Metodológico) com o Evolucionismo, ao reconhecer o encadeamento natural dos diversos estágios atravessados pelo planeta.

6 - CONCLUSÕES

A Tectônica Global adentra os anos 90 cientificamente preparada para rejeitar frontalmente o Uniformitarismo Substantivo e respeitar o Metodológico (as leis da natureza são invariáveis). Os processos podem guardar analogias notáveis, mas há diferenças importantes nas velocidades de atuação, no condicionamento dos agentes internos e externos etc.

Revigorou-se o conceito de transformações evolutivas nos processos tectono-magmáticos e orogenéticos (e seus modelos), pelo crescimento e pelas modificações na litosfera e na estrutura interna do planeta. Tal concepção vem sendo construída desde o final do século XIX. O respeito ao Atualismo (Uniformitarismo Metodológico) e à evolução irreversível em espiral dos processos geológicos são a tônica dominante.

Evidentemente, nenhum modelo, seja de Tectônica Global ou não, deverá ter exclusividade *a priori*. Todo modelo que se enquadrar no processo de como a Terra realmente opera, de forma consistente e fisicamente bem subsidiado, pode ser adotado (Saull, 1986), desde que explique as observações de campo e de laboratório.

Resgatadas no início da década (como por exemplo pelos trabalhos apresentados no Congresso Internacional da IUGS em Paris, 1980), aquela postura persistiu até o término dos anos 80 (Congresso da IUGS de Washington, 1989) e, de todo modo, parece fadada a permanecer.

Até quando?...

AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Drs. F. F. M. de Almeida, Eduardo Antônio Ladeira, Paulo César Soares, Giuseppe Bacoccoli e Peter Szatmari, pela avaliação do texto e pelas sugestões, que possibilitaram aprimorar o manuscrito inicial; aos Profs. Mauricio Compiani e Carlos Alberto Lobão da Silveira Cunha,

pela leitura e comentários críticos; a Damaris R. Marins e Luiz Antonio Ribeiro, pela qualidade das figuras 2, 3 e 5.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. A., BISTRICHI, C. A., CARNEIRO, C. D. R. *Influência do Atualismo e do Evolucionismo no estudo da Evolução Tectônica da Terra*. São Paulo: Instituto de Geociências da USP, 1978. 26p. (Exame de qualificação, curso de pós-graduação).
- AMARAL, J. A., BISTRICHI, C. A., CARNEIRO, C. D. R. *O Atualismo e o Evolucionismo no estudo da Evolução Tectônica da Terra*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1979. Texto mimeografado, inédito.
- AVANZO, P. E. Geociências: uma nova maneira de ver a Terra. *Geologia, Ciência, Técnica*, São Paulo, v. 4, p. 7-24, 1974.
- BELOUSSOV, V. V. Ways of development of Geological Science. *International Geology Review*, Lawrence, v. 6, n. 10, p. 1750-1760, 1964.
- BLACKETT, P. M., BULLARD, E., RUNCORN, S. K. *A symposium on continental drift*. London: Royal Society, 1965. 323p. (Royal Society Philosophical Transactions, n. 1088).
- BULLARD, E., EVERETT, J. E., SMITH, A. G. The fit of the continents around the Atlantic. In: BLACKETT, P. M., BULLARD, E., RUNCORN, S. K. *A symposium on continental drift*. London: Royal Society, 1965. p. 41-51 (Royal Society Philosophical Transactions, n. 1088).
- COMPIANI, M. *O fazer Geologia com ênfase no campo na formação de professores de ciências para o 1º grau (5ª e 8ª séries)*. Campinas: UNICAMP, 1988. 238p. (Dissertação de mestrado).
- CONDIE, K. C. Origin of the Earth's Crust. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, v. 75, n. 1/2, p. 57-81, 1989.
- CORDANI, U. G., TEIXEIRA, W., TASSINARI, C. C. G., KAWASHITA, K., SATO, K. The growth of the Brazilian Shield. *Episodes*, Ottawa, v. 11, n. 3, p. 163-167, 1988.
- DARWIN, C. On the Imperfection of the Geological Record. In: CLOUD, P. (Ed.) *Adventures in Earth History*. San Francisco: Freeman, 1970. p. 139-154.
- DEWEY, J. F., BIRD, J. M. Mountain belts and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 75, n. 14, p. 2625-2647, 1970.
- DIETZ, R. S., HOLDEN, J. M. Reconstruction of Pangea: break-up and dispersion of continents, Permian and present. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 76, n. 26, p. 4939-4956, 1970.

- FREEMAN-LYNDE, R., THARP, M. Atlantic Ocean. In : COMMISSION FOR THE GEOLOGICAL MAP OF THE WORLD. *Geological World Atlas*. Paris: UNESCO, 1981.
- GEIKIE, A. *The founders of Geology*. New York: Dova, 1962. 486p.
- GONÇALVES, P. W. *James Hutton : espaço, tempo e ciclicidade na natureza*. Campinas: UNICAMP. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, 1992. 238p. (Texto de exame de qualificação para doutorado, inédito).
- GOULD, S. J. Is Uniformitarianism necessary? *American Journal of Science*, New Haven, v. 263, n. 3, p. 223-228, 1965.
- GOULD, S. J. Is Uniformitarianism useful? In : CLOUD, P. (Ed.) *Adventures in Earth History*. San Francisco : Freeman, 1967. p. 51-53.
- GOULD, S. J. Toward the vindication of punctuational change. In: BERGGREN, W. A., VAN COUVERING, J. A. (Eds.) *Catastrophes and Earth History: the new Uniformitarianism*. Princeton : Princeton University Press, 1984. p. 9-34.
- GRUZA, V. V., ROMANOVSKIY, S. I. The principle of actualism and logic in understanding the geologic past. *International Geology Review, Lawrence*, v. 17, n. 2, p. 167-174, 1975.
- HARGRAVES, R. B. Precambrian tectonic style : a liberal Uniformitarian interpretation. In: KRÖNER, A. *Precambrian Plate Tectonics*. Amsterdam: Elsevier, 1981. 781p. (Developments in Precambrian Geology, 4).
- HUBBERT, M. K. Critique of the principle of Uniformity. In : CLOUD, P. (Ed.) *Adventures in Earth History*. San Francisco: Freeman, p. 33-50, 1970.
- KHAIN, V. Ye. Lomonosov and modern Geology. *International Geology Review, Lawrence*, v. 5, n. 6, p. 706-715, 1963.
- KHAIN, V. Ye., SHEYNMANN, Yu. M. Hundredth anniversary of the geosynclinal theory. *International Geology Review, Lawrence*, v. 4, n. 2, p. 166-198, 1962.
- KITTS, D. B. The theory of Geology. In: ALBRITTON Jr., C. C. (Ed.) *The Fabric of Geology*. Reading, Mass: Addison-Wesley, 1963. 372p. p. 49-68.
- KITTS, D. B. Teoria de la Geologia. In : ALBRITTON Jr., C. C. (Ed.) *Filosofia de la Geologia*. México : Continental, 1970. p. 71-94.
- KITTS, D. B. Physical theory and Geological knowledge. *Journal of Geology*, Chicago, v. 82, n. 1, p. 1-23, 1974.
- KRÖNER, A. Precambrian plate tectonics. In: KRÖNER, A. (Ed.) *Precambrian plate tectonics*. Amsterdam: Elsevier, 1981. 781p. p. 57-90. (Developments in Precambrian Geology, 4).
- KUHN, T. S. *The structure of the scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, 1962. 350p.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 1978. 257p.
- LE PICHON, X., FRANCHETEAU, J., BONNIN, J. *Plate tectonics*. Amsterdam: Elsevier, 1973. 300p. (Developments in Geotectonics, 4).
- LOVELOCK, J. E. *Gaia: a new look at life on Earth*. Oxford: Oxford University Press, 1987. 157p.
- McINTIRE, D. B. James Hutton y la filosofia de la Geologia. In: ALBRITTON Jr, C. C. (Ed.) *Filosofia de la Geologia*. México: Continental, 1970. p. 11-24.
- MOURÃO, C. A. A Lamarck o que é de Lamarck. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 42, n. 8, p. 593-598, 1990.
- PASCHOALE, C. *Geologia como semiótica da Natureza*. São Paulo: [S.n.], 1989. 138p. (Dissertação de mestrado, PUC).
- POTAPOVA, M. S. Geology as a historical science of nature. In: TALMY, V. (trad.) *The Interaction of Sciences in the study of the Earth*. Moscou: Progress, 1968. p. 117-126.
- SALOP, L. J., SCHEINMANN, Yu. M. Tectonic history and structures of platforms and shields. *Tectonophysics*, Amsterdam, v. 7, n. 5/6, p. 566-597, 1969.
- SALOP, L. J. *Precambrian of the Northern Hemisphere, and general features of early geological evolution*. Amsterdam: Elsevier, 1977. 361p.
- SAULL, V. A. Wanted : alternatives to plate tectonics. *Geology*, Boulder, Col., v. 14, n. 6, p. 536, 1986.
- SIMPSON, G. G. La ciencia historica. In: ALBRITTON Jr., C. C. (Ed.) *Filosofia de la Geologia*. México: Continental, 1970.
- SUGUIO, K., TESSLER, M.G. (Eds). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY: PAST-PRESENT-FUTURE. *Proceedings...* São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 1990. 243p. (Publ. Esp., 3)
- SUTTON, J. Geodynamics of the Early and Mid-Precambrian. *Geodynamics Today : a review of the Earth's Dynamic Processes*, London, p. 85-92, 1975.
- SUTTON, J, WINDLEY, B. F. The Precambrian. *Science Progress*, Oxford, v. 61, p. 401-420, 1974.
- WAAL, S. A. de. Of barons and barriers. *S. Afr. J. Geol.*, v.91, n.3, p. 305-315, 1988.
- WINDLEY, B. F. (Ed.) *The evolving continents*. 2 ed. Chichester: Wiley, 1984. 399p.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. *Geotectônica*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. (Apontamentos do curso de pós-graduação. inédito).

- AMARAL, I. A. *Geologia Estrutural* : conceito, campo de ação e importância da noção de escala. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 1976. 18p.
- AUBOUIN, J. *Geosynclines*. Amsterdam : Elsevier, 1965. 335p. (Developments in Geotectonics, 1).
- BELOUSSOV, V. V. *Problemas Básicos de Geotectônica*. Barcelona : Omega, 1971. 854p.
- BELOUSSOV, V. V. Basic trends in the evolution of continents. In: RITSEMA, A. R. (Ed.). *The Upper Mantle*. Amsterdam: Elsevier, 1972. p. 95-117. (Developments in Geotectonics, 4).
- CAILLEUX, A. *Historia de la Geologia*. Buenos Aires: Universidad Buenos Aires, 1972, 10p.
- CLOUD, P. Ordering principles in Earth History. In: CLOUD, P. (Ed.). *Adventures in Earth History*. San Francisco: Freeman, 1970. p. 3-12.
- CLOUD, P. (Ed.) *Adventures in Earth History*. San Francisco : Freeman, 1970. 992p.
- * DARWIN, C. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London : John Murray, 1859b. 511p.
- DEWEY, J. F. Plate Tectonics. In : PRESS, F., SIEVER, R. *Planet Earth*. San Francisco: Freeman, 1972. p. 124-135
- DOTT Jr. R. H., BATTEN, R. L. *Evolution of the Earth*. New York: McGraw-Hill, 1971. 649p.
- * HUTTON, J. Theory of the earth, or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, an restoration of land upon the globe. *Royal Society of Edinburgh Transactions*, [S.L.], v. 1, p. 209-304, 1793.
- KHAIN, V. Ye. Main Trends in the Development of the Earth Crust (lithosphere). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 24, Montreal, 1972. *Proceedings...* Gardenvale, Quebec: Harpell's Press, 1972. 14v., v. 3, p. 58-70.
- * LONGWELL, C. R., FLINT, R. F. *Introduction to Physical Geology*. New York : Wiley, 1955. 432p.
- * LYELL, C. *Principles of Geology*. London: Murray, 1830, 3v.
- MURATOV, M. V. *The origin of Continents and Ocean Basins*. Moscow: Mir, 1977. 191p.
- NEGRÃO, O. B. M. *O Uniformitarismo*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 1976. 10p.
- PASCHOALE, C. Alice no país da Geologia e o que ela encontrou lá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. v. 5, p. 5242-5249.
- * PLAYFAIR, J. *Illustrations of the Huttonian theory of the Earth*. Edinburgh: Willian Creech, 1802. 528p.
- PRESS, F., SIEVER, R. (Eds.). *Planet Earth*. San Francisco : Freeman, 1974. 303p.
- RITSEMA, A. R. *The Upper Mantle*. Amsterdam : Elsevier, 1972. 644p. (Developments in Geotectonics, 4).
- STEIN, D. P. *Evolução das faixas de dobramento no Proterozóico*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, 1978. 41p.
- TIKHOMIROV, V. V. An Attempt to Analyze the Development of Geology as a Science. *International Geology Review*, Lawrence, v. 13, n. 1, p. 22-29, 1971.
- WINDLEY, B. F. *The early history of the Earth*. London: John Wiley, 1976.

Dos trabalhos selecionados na Bibliografia, aqueles indicados com (*) não foram recuperados, devido a limitações de biblioteca.

EXPANDED ABSTRACT

A review of the evolution of the concepts of Actualism, Uniformitarianism and Evolutionism seems to be needed in order to support analyses regarding their influence in Tectonics. Since two centuries ago, when Geology was born as a Science, these concepts have evolved firmly as well as they have been subjected to intensive discussion. Uniformitarianism was formerly a base to explain natural processes and phenomena without acceptance of any extraterrestrial or supranatural influences. It was conceived in opposition to dogmatic or catastrophic explanations of phenomena affecting the Earth and the Universe. It has received as much support as new scientific discoveries were obtained. At the same time, many doubts raised on the original restrictions to changes on the intensity and direction of natural processes.

In broad sense, the formulation of Uniformitarianism implies four different meanings. Two of them were independent and remain indisputable: the uniformity of natural laws and the uniformity of natural processes; other have been demonstrated as no longer acceptable, because they are too much restrictive: the uniformity of velocities (the so-called gradualism) and the uniformity of conditions. Substantive Uniformitarianism has received many objections during the second half of the last century as it comprises these four aspects. Both the uniformity of natural laws and natural processes were recognized as a necessary base to the study of geological past. So, the Methodological Uniformitarianism - which strictly correspond to Actualism - remains accepted, as a principle to understand the evolution of Earth's crust and

its interior.

Geology is essentially a Historical Science of Nature. The geological processes are discovered two times, starting from the observation of present-day phenomena, their effects and records and evolving to the application of this knowledge to studying the past. This general procedure is a continuous application of the principle of Actualism. The methods to reconstruct the Earth's crustal evolution emphasizing the modern views of Actualism and Evolutionism show that several aspects of the Phanerozoic evolution of the crust can be regarded as closely analogous to certain present-day tectonic models.

From the point of view of Global Tectonics, since its virtual accomplishment during the International Geological Congress of Paris, 1980, the generalized rejection of the most radical form of the Uniformitarianism is reinforced by increasing volume of objections like the accumulated evidence of irreversible evolution of factors regulating the Earth's external conditions (atmosphere, hydrosphere, biosphere, meteoritic falling rate, etc.), and internal conditions (evolution and structure of the lithosphere, asthenosphere, mesosphere and nucleus, changes in mantle circulation patterns, etc.). There is evidence of changes in the surface distribution and mobility of crustal continental and oceanic types, too. These data have gradually been confirmed and constitute a base for a number of recent theories and models.

In the same sense, the classical tectonic models before 1980, both from "fixist" or "mobilistic" authors were too much influenced by the geologic and geographic Phanerozoic data and features. The majority of well-accepted textbook models were strongly based upon Phanerozoic paradigms; for this reason, they should be criticized from the point-of-view of Actualism/Methodological Uniformitarianism, because these models are restricted to a limited time span (1/9) of total geologic time, the orogenic constructions cover only 18% of total Earth's surface and have been formed during the recession tail of the curve of heat loss by the Earth's interior. The analysis of Proterozoic mobile belts, mainly the

vestigiogeosynclines (where supracrustal rocks were strongly eroded or even absent) supported the majority of critics - including geologic field information among others - and objections to the classic models. Time spans related to the evolution of these belts are naturally longer and, by that, more susceptible to effects determined by the evolution of tectonic conditions during time.

This type of analysis is now performing the modern Global Tectonics, according to the principle of Actualism and considering the evolutionary stages of the planet, from Archean to Holocene. The irreversible changes in the modelling agents of the crust (internal + external dynamics) have been considered in the proposal of several auxiliary hypotheses (crustal level, underplating, delamination, "A" subduction zones, etc.) that substantially have enriched the theory of Global Tectonics. The almost complete acceptance of Evolutionism as a principle in the study of the past have also dismissed to a large extent the objections to the classical models of Plate Tectonics. As a matter of fact, the original orthodox models of Plate Tectonics of the 60's and the 70's have no meaning nowadays.

Many difficulties to tectonic interpretations of basins and fold belts are derived from an insufficient geological and geophysical knowledge of the terrains and also by the incompleteness of the geological record. Some alternative models raising from this situation can reflect, in fact, the lack of suitable information, as well as lack of knowledge of Global Tectonics, its auxiliary hypotheses and dependence to geologic time. It is preferable to search for a deeper knowledge of the tectonic unit (in different scales) trying to test all the above mentioned potential of Global Tectonics before to look for new formulations and particular explanations based on local features.

Actualism is, so far, an effective guiding principle in Tectonics. Tectonics is strongly influenced by Actualism not only in its character as a physical science but it relays also on it as a necessary basis to a method (i.e. a strategy) to the tectonic study of the geological past.