

A Geologia e o processo histórico (ou, sobre como se constrói um passado a marteladas)

Ernesto Lavina

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Av. Unisinos, 950. São Leopoldo, RS, Brasil, CEP 93022-000
lavina@unisinos.br

RESUMO

A análise da literatura referente ao período Permiano revela uma profusão de teorias contraditórias, especialmente quanto a episódios de extinção, paleogeografia e paleoclimatologia. Isto decorre dos diferentes paradigmas (em sua conotação reducionista e determinista) utilizados por diferentes grupos de pesquisadores, e também das decisões individuais arbitrárias durante o desenvolvimento da pesquisa. A Geologia, enquanto ciência histórica, incorpora um elevado grau de subjetividade, uma vez que não é possível acesso direto ao objeto de estudo. As condições climáticas e geográficas e suas implicações no desenvolvimento biológico de um determinado intervalo de tempo podem ser apenas presumidas, ainda assim considerando premissas uniformitaristas de aplicabilidade incerta. Deste modo, um grande número de teorias compete na tentativa de construir um passado coerente para a Terra. Porém, o conjunto das teorias torna qualquer tentativa de análise uma tarefa extraordinariamente complexa. Por redução, teorias que não se adaptam aos paradigmas de cada grupo de pesquisa são desprezadas, fazendo com que cada abordagem seja internamente coerente, ainda que muitas vezes incompatível com as demais. Apesar disto, conclui-se que o grande número de teorias é algo positivo para a ciência geológica, pois abre possibilidades ilimitadas de análise. Neste sentido, inclusive, questiona-se a emergência do paradigma como algo universalmente benéfico, pois ocasiona o abandono imediato das teorias rivais derrotadas. Estas dificuldades conceituais fazem com que, antes de uma descoberta de laboriosos cientistas, a história geológica seja apenas uma construção racional do cérebro humano e, como tal, sujeita a toda ordem de interpretações e reinterpretções.

Palavras-chave: Permiano, extinções, Reduccionismo, Determinismo, Popper, Kuhn, Bachelard.

ABSTRACT

GEOLOGY AND THE HISTORICAL PROCESS (OR, ON HOW A PAST IS HAMMERED-BUILT). The analysis of literature concerning the Permian period reveals a profusion of contradicting theories, especially with regard to mass extinction events, paleogeography and paleoclimatology. This is due to the different paradigms (in their reductionistic and deterministic connotations) used by the different research groups and to the arbitrary personal decisions made during research development. Geology, as a historical science, embodies a high degree of subjectivity, since there is no direct access to the object under study. The climatic and geographic conditions of a given time interval can only be presumed, and even so must be based on uniformitarian premises of uncertain applicability. Thus a great number of theories compete in the attempt to construct a coherent past for the Earth. The number of theories, however, makes any analysis attempt an extraordinarily complex task. Theories that do not fit the paradigms of each research group are discarded, which makes each approach internally coherent but often incompatible with the others. In spite of this, the great number of theories is seen as something positive for the geological science, inasmuch as it generates unlimited possibilities of analysis. Also, the emergence of paradigms as something universally beneficial is questioned, for it causes the prompt disregard of competing theories. Such conceptual difficulty lead us to conclude that rather than a discovery of hard-working scientists, the geologic history is only a rational construction of the human brain and, as such, is subject to every type of interpretation and reinterpretation.

Key words: Permian, extinctions, Reductionism, Determinism, Kuhn, Popper, Bachelard.

INTRODUÇÃO

Os problemas inerentes à formulação de teorias, especialmente na Física, e eventualmente na Biologia, têm sido abordados por filósofos como Popper (1968, 1972, 1975), Kuhn (1976, 1989), Feyerabend (1985, 1991) e Bachelard (1985, 1991), e físicos como Poincaré (1902), Bohr (1961), Heisenberg (1958, 1991) e Born (1969). Todos demonstra-

ram que a metodologia dita “tradicional” da ciência, ou seja, aquela que vai dos dados à teoria (conhecimento indutivo) enfrenta muitos problemas no processo de formulação de teorias. A própria identificação do que seja um “dato científico”, já parte é feita de uma teoria anterior, sem a qual o “dato” não pode ser reconhecido como tal.

Uma das questões fundamentais da Geologia, e também uma das mais pro-

blemáticas, consiste no entendimento do conjunto de raciocínios e de ações ao fim dos quais despontam novas teorias. Embora de grande importância, este problema é usualmente desconsiderado no momento da apresentação das teorias. Mais que isso, nos artigos científicos, quase como regra, o item “material e métodos” deixa supor um encadeamento de dados e teorias que não corresponde à evolução real do trabalho. Pode-se afir-

mar que, inconsciente ou não, esse item é escrito considerando principalmente as expectativas dos leitores quanto à inter-relação dos dados com as teorias.

Comparada à Física, a análise do passado geológico apresenta problemas muito diferenciados, em especial quanto à dificuldade de matematização e de experimentação. Em sua análise da natureza, a Física consegue direcionar a formulação de teorias para uma base matemática, para uma base empírica (experimental), ou ainda, para uma abordagem mista (Dirac, 1991 e Lavina, 2004). Nas ciências históricas, como a Geologia (Cassirer, 1944), a situação é mais complexa. Não possuímos acesso direto ao passado, as condições geográficas e climáticas de um determinado intervalo do tempo geológico não são passíveis de repetição ou reprodução através de experimentos controlados. São eventos únicos, em que os diferentes graus de interação entre as variáveis podem apenas ser presumidos, nunca definitivamente estabelecidos (Lavina, 1995). Desse modo, construções geohistóricas esbarram sempre na falta de critérios para julgar quais dados devem ser considerados mais relevantes, ou que peso dar às variáveis que conhecemos hoje, quando transpostas para o período em questão, além de uma série de outras dificuldades de naturezas as mais diversas. Para dificultar ainda mais, embora seja uma das premissas básicas da análise geológica, nada garante que as leis da natureza foram, no passado, iguais às de hoje (Dirac, 1991).

Trabalha-se, em Geologia, com vestígios que durante o tempo geológico, escaparam à destruição e que, desse modo, representam uma ínfima parcela daquilo que se pressupõe ter existido. As teorias que se associam a esses vestígios são quase sempre geradas por indução: são construídas para relacionarem séries de observações individuais. A construção de geografias e climas antigos ou o estudo de episódios de extinção de massa são tarefas difíceis, árduas, e na maioria das vezes mostram resultados inexpressivos diante dos esforços dispendidos. Na

falta de informações cruciais, essas construções acabam, inevitavelmente, por basear-se em decisões pessoais arbitrárias que, por várias razões, podem refletir mais as escolas de pensamento seguidas pelos pesquisadores. Para Feyerabend (1985), este procedimento não pode ser condenado, já que usual em qualquer campo do conhecimento onde exista um elemento subjetivo na percepção de um processo físico (cfr. tb. Russel, 1977). Além disso, devido à especialização da ciência moderna, a partir dos mesmos dados e variáveis, grupos de pesquisadores apoiados em paradigmas distintos chegam a muitos resultados antagônicos (Kuhn, 1976).

Nesta contribuição, utilizando como ponto de partida exemplos extraídos das muitas hipóteses disponíveis para explicar os fenômenos ocorridos no período Permiano, serão discutidos alguns dos problemas usuais no processo de geração de teorias nas ciências históricas.

A CONSTRUÇÃO DO MUNDO PERMIANO

A Geologia moderna vem reunindo evidências de que a crosta terrestre é um sistema extraordinariamente dinâmico. A contínua geração de crosta oceânica nas grandes cadeias de montanhas submarinas e seu consumo nas fossas oceânicas implica na existência de oceanos e continentes móveis e mutáveis. Continentes se aglutinam formando continentes maiores, eventualmente supercontinentes (Pangéias), que tem curta duração e fragmentam-se novamente em partes menores. Intimamente relacionada aos processos de geração de crosta oceânica e movimentação continental, a Terra alterna períodos frios, quando as calotas polares se expandem para latitudes mais baixas, e de grande aquecimento, onde mesmo nas regiões polares pode haver calor suficiente para inibir a presença do gelo.

Aos efeitos sobre o Planeta de sua dinâmica interna, se somam outros que irão reduzir ou ampliar os processos de sua dinâmica externa, como por exemplo, o clima.

Uma Era Glacial induz, pelo congelamento de água nos pólos, a níveis de mar baixo. Se durante um intervalo de *ice house*, existirem grandes massas continentais em latitudes polares, os efeitos serão magnificados. Nos períodos com nível do mar baixo, os continentes têm mais dificuldade em reter umidade e, nas latitudes tropicais, os sistemas desérticos irão se ampliar. Como uma coincidência decisiva, o poder de reflexão dos raios solares (albedo) da areia seca das dunas, é tão alto quanto o do gelo. A Terra, então, reflete mais luz para o espaço e torna-se mais fria. Um ciclo de realimentações como o indicado, pode se alterar gradativa e lentamente, em função da migração das massas continentais para longe das latitudes polares, ou abruptamente, em decorrência de grandes eventos vulcânicos.

Quando construímos uma história para a Terra sob esta óptica, o momento presente passa a ser apenas uma das muitas possibilidades de ajuste entre a distribuição de oceanos e continentes, vulcanismo, albedo, circulação atmosférica e oceânica (Lavina, 1995).

O conjunto de indícios disponíveis para o Permiano, sugere que os parâmetros físicos foram muito diferentes dos atuais. Ao longo do período, relevos altos se formaram continuamente, em função dos sucessivos choques entre as placas que constituíam o Pangéia. No Hemisfério Sul, aproveitando-se do relevo gerado, lençóis de gelo polares avançaram até paleolatitudes tão baixas quanto 30°S, encobrendo cerca de 25% da superfície da Terra até o início deste período. Durante este tempo, em função do rebaixamento do nível do mar, as regiões equatoriais experimentaram uma grande desertificação. Porém, de forma tão repentina como começou, a era glacial findou. Na literatura, uma multiplicidade de fatores têm sido apresentados para explicar as causas deste evento. Entre elas, a presença de um evento vulcânico catastrófico que teria liberado grandes volumes de CO₂ para a atmosfera, ocasionando um efeito estufa de proporções gigantescas.

Grças ao derretimento das geleiras, o nível dos mares mais uma vez se eleva, inundando grandes áreas rebaixadas e costeiras dos continentes, com águas aquecidas e rasas. Esta ingressão marinha teve igualmente uma curta duração. Um intenso tectonismo soerguia neste momento as margens da Pangéia, aprisionando mares interiores e transformando-os em imensos lagos sujeitos a evaporação. Grandes depósitos de sal se formaram nesta época.

O efeito estufa global daí resultante fez com que, entre o final do Permiano e o início do período Triássico, quase todo o gelo do planeta fosse eliminado. Os desertos se ampliaram ainda mais na região equatorial e as florestas e os répteis, entre eles os que iriam originar os mamíferos, migraram para latitudes tão altas como 80° no sul e no norte.

A partir deste substrato aceito pela maioria dos pesquisadores, sobre a paleogeografia e a evolução paleoclimática do intervalo de tempo correspondente ao Permiano e início do Triássico, buscaremos discutir, com base em alguns exemplos, questões que envolvem a geração de teorias não passíveis de matematização e de testes empíricos diretos.

PALEOGEOGRAFIAS ALTERNATIVAS

A partir do final da década de 1960, com a compreensão dos mecanismos de geração e espalhamento do assoalho oceânico e suas implicações para a paleogeografia, a Tectônica das Placas e a conseqüente “deriva dos continentes” tornou-se o maior paradigma da cultura geológica. O *PANGEA*, idealizado por Alfred Wegener (1915-1929) para o início da Era Mesozóica, obteve aceitação por parte da comunidade científica, graças especialmente aos trabalhos de Bullard *et al.* (1965), Dietz e Holden (1970) e Freeland e Dietz (1971). Com o passar dos anos e o acúmulo em progressão geométrica de evidências favoráveis consolidou-se uma paleogeografia “clássica” para o supercontinente (Figura 1). Nesta visão, o Pangéia era constituído por dois grandes continentes: Gondwana, ao sul,

e a Laurásia, ao norte. A sutura entre eles estaria localizada entre o nordeste da África (montes Atlas) e costa leste da América do Norte (montes Apalaches).

Apesar do imenso poder da tectônica global em organizar observações pontuais e de testar novas hipóteses, alguns pesquisadores passaram a questionar a paleogeografia do Pangéia, propondo organizações alternativas para ajustar o conjunto de dados. Cabe destaque às reconstruções paleogeográficas propostas por Irving (1977), Westphal (1977) e Smith *et al.* (1981). Com base em reinterpretções dos dados paleomagnéticos da Terra, os dois primeiros concluíram que o choque entre o Gondwana e a Laurásia teria ocorrido de um modo diferente daquele classicamente proposto. Em sua concepção, a América do Sul é que teria se chocado com a América do Norte, enquanto a África teria colidido somente com a Europa (Figuras 2A-B). Depois disto, movimentações tangenciais entre as massas continentais fizeram com

que, apenas no Neotriássico, o Pangéia atingisse sua conformação clássica (Irving, 1977). De forma ainda mais radical, Smith *et al.* (1981) propuseram, a partir do mesmo conjunto básico de dados paleomagnéticos, que o choque Gondwana/Laurásia tenha sido, na verdade, entre América do Sul/África, com a Europa (Figura 2C). O Pangéia teria atingido sua configuração definitiva apenas ao final do Triássico, devido a movimentações através de um sistema de falhas transformantes. Smith *et al.* (1981) ainda negaram que os dados paleomagnéticos do Permiano suportassem um Pangéia como o idealizado por Bullard *et al.* (1965), Dietz e Holden (1970) e Freeland e Dietz (1971).

Modelos paleogeográficos alternativos são formulados para justificar a existência de alguns dados (e.g. paleoecológicos, paleomagnéticos, estruturais) que são incompatíveis com os demais. Estes, pela sua pouca expressão, tendem a ser desprezados pela maioria dos pesquisadores, mais preocupa-



Figura 1. Reconstrução “clássica” de Bullard *et al.* (1965), para a paleogeografia do Pangea durante o Permiano Superior.

Figure 1. “Classic” reconstruction from the Pangea paleogeography during the Upper Permian (after Bullard *et al.*, 1965).

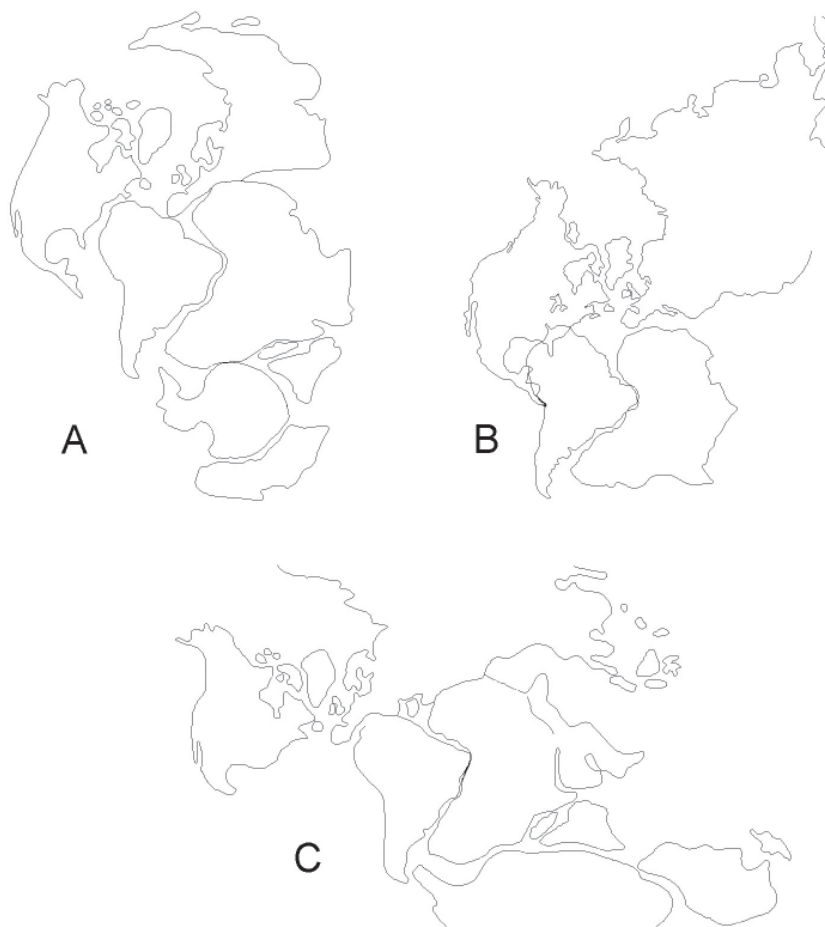


Figura 2. A-B. Reconstruções paleogeográficas alternativas de Irving (1977) e Westphal (1977), respectivamente, propondo o choque entre o Gondwana e a Laurásia, pela colisão das Américas do Sul e Norte e África, com a Europa; **C.** Proposta de Smith *et al.* (1981), a partir de dados semelhantes, sugerindo que a colisão tenha ocorrido a partir do confronto da placa formada pela América do Sul + África, com a Europa.

Figure 2. A-B. Alternative paleogeographic reconstruction of Irving (1977) (A), and Westphal (1977) (B), proposing the collision between Gondwana and Laurasia, by both South and North Americas with Europe. **C.** Proposition from Smith *et al.* (1977), using nearly data and suggesting that the Pangea formation resulted from the collision between South America plus Africa with Europe.

dos em operar com aquelas informações numericamente mais expressivas e mais ajustáveis. Conseqüentemente, concepções paleogeográficas como as de Irving (1977), Westphal (1977), e especialmente a de Smith *et al.* (1981), têm sido alvo de fortes críticas. Se por um lado resolviam problemas específicos e importantes para seus proponentes, criavam outros de natureza bastante complexa. Contudo, apesar das fortes críticas a estas construções paleogeográficas alternativas (e.g. Hallam, 1983), bem como outras não discutidas, elas vêm sendo utilizadas por muitos pesquisadores (e.g. Ross, 1979).

Mesmo àqueles pesquisadores que sustentaram a versão clássica, algumas importantes divergências devem ser consideradas. Walper e Rowett (1972), por exemplo, criaram sua própria paleogeografia para resolver o problema da continuidade física dos cinturões montanhosos do sul e leste da América do Norte. Rowett (1975), entretanto, permaneceu insatisfeito com um aspecto que não conseguiu resolver, qual seja, a presença de uma numerosa e variada fauna de invertebrados marinhos, incluindo corais, em paleolatitudes da ordem de 60° S, quando, hoje, associações semelhantes não ultrapassam 30°S. Para contornar o

problema, propôs uma rotação de 18°, em sentido horário, do Gondwana em relação à Laurásia. Com isto, as províncias de corais do bordo andino da América do Sul aproximaram-se bastante do paleoequador e deixaram de ser um problema.

Em princípio, não existe um impedimento teórico à reconstrução paleogeográfica de Rowett (1975). É possível entender o seu problema e aceitar a sua solução como lógica. Observando-se a distribuição das províncias de corais do Eopermiano, sua paleogeografia não interfere com as paleolatitudes propostas para as províncias européias e norte-americanas e, portanto, resolve satisfatoriamente todos os problemas. Pesquisadores que trabalham com invertebrados marinhos do limite Permo-Carbonífero tendem a olhar com simpatia para esta proposta. Porém, esta reconstrução cria problemas para pesquisadores de outras áreas. Com a rotação proposta, o polo sul, posicionado sobre o continente antártico em todas as versões paleogeográficas do Eopermiano, tem que ser deslocado para o centro-sul do continente africano, contrariando todas as evidências paleomagnéticas disponíveis (Irving, 1977; Morel e Irving, 1978; Scotese *et al.*, 1979; Smith *et al.*, 1981; Scotese e Mckerrow, 1990). Como conseqüência, a paleogeografia de Rowett (1975) conflita com os paradigmas dos pesquisadores que trabalham com paleomagnetismo, e com os existentes entre os que trabalham com organismos continentais (plantas e vertebrados fósseis).

É importante salientar a esta altura, que não se trata de considerar a proposição de Rowett (1975) como um exemplo de teoria mal elaborada, até porque um significativo número de pesquisadores a adota. Pelo contrário, a intenção é apenas detectar um dos complexos problemas da metodologia científica: os conflitos decorrentes da utilização de paradigmas distintos por diferentes grupos de pesquisadores.

Dentro de seu campo específico de relevância, a teoria de Rowett (1975) é fundamentalmente correta, pois não apresenta contradições importantes e se adapta bem aos pressupostos paradigmáticos da distribuição geográfica de corais.

Inclusive, se os paradigmas relativos à distribuição latitudinal dos corais e demais invertebrados marinhos forem utilizados para testar (no sentido de Popper, 1968, 1972) as proposições paleogeográficas de Bullard *et al.* (1965), Dietz e Holden (1970), Freeland e Dietz (1971) e Walper e Rowett (1972), ou mesmo propostas mais recentes, é possível admitir que estas foram igualmente falseadas. Diante disto, Rowett (1975), estaria liberado para propor uma reconstrução paleogeográfica com um grau de hierarquização maior, que se ajustasse às teorias anteriores naqueles aspectos em que as considerasse corretas, e as contradissesse quando não, propondo para estes aspectos, uma explicação melhor. Sua teoria preenche todas estas características e os pesquisadores de invertebrados marinhos permianos sentem-se seguros para utilizá-la sem restrições. Para os adeptos desta teoria, o distinto posicionamento do pólo sul é uma questão periférica e muito distante do seu tema central.

Analisando várias situações semelhantes, Feyerabend (1985) e Kuhn (1976) sugerem que a decisão do pesquisador sobre a incorporação ou não de uma nova teoria, está vinculada mais às suas crenças (ou paradigmas) anteriores, do que à adequação da nova teoria ao corpo de conhecimentos mais geral. Paul Dirac, físico que estabeleceu os fundamentos da Mecânica Quântica (Dirac, 1991) afirmava, por exemplo, que a estética de uma teoria era o fator determinante de sua aceitação, mesmo quando havia evidência experimental contrária (Salam, 1991).

Longe de julgamentos de valor, o objetivo é demonstrar como os diferentes paradigmas dirigem as decisões durante o desenvolvimento de uma pesquisa.

REDUÇÃO NA SALINIDADE DOS OCEANOS

A redução da salinidade dos oceanos é mais um tema polêmico e refere-se ao limite Permo-Triássico. Stevens (1977) oferece uma hipótese notavelmente bem elaborada sobre a grande extinção das famílias de foraminíferos e alguns

grupos de invertebrados marinhos neste momento. A partir do cálculo do volume dos depósitos atuais de sal sobre os continentes para o Neopermiano, estimou de modo bastante razoável, o conteúdo que poderia ter sido inicialmente retido, e depois, parcialmente devolvido ao oceano pela erosão fluvial. A partir disto, propôs uma diminuição de cerca de 10% na salinidade dos oceanos para o limite Permo-Triássico. Esta redução teria levado as famílias estenohalinas de foraminíferos à extinção, enquanto as eurihalinas teriam conseguido sobreviver.

Do ponto de vista de geração de teoria científica, a hipótese de Stevens (1977) é algo notável já que cria possibilidades totalmente novas de análise do mundo Permo-Triássico. Entretanto, observando com atenção a lógica do raciocínio, percebemos sua circularidade. A redução da salinidade teria causado a extinção dos foraminíferos estenohalinos, mas, por sua vez, esta extinção passa a ser sua principal evidência para a redução de salinidade. Quando se examinam as faunas destes microorganismos para este momento, contudo, não há qualquer indício de uma preferência por aquelas tolerantes ou não às variações na salinidade, o que conduz a um raciocínio tautológico: a causa origina um efeito que, por sua vez, constitui-se na única (ou principal) evidência da causa.

Mais uma vez não se trata de considerarmos o valor e a correção desta teoria, mas de demonstrar sua relação ambígua com os dados. Uma percentagem relativamente grande de teorias geológicas bem elaboradas, nas quais é difícil perceber falhas, apresentam este tipo de organização interna. Segundo Popper (1986) dever-se-ia abandonar teorias assim construídas pela virtual impossibilidade de testes falseadores. Apesar disto, a hipótese de Stevens (1977) é brilhante em sua concepção e seu simples abandono, restringe o universo de possibilidades envolvendo o “mundo Permiano”, sob pena de ainda diminuir a liberdade de escolha e a expansão das idéias de reconstituição. Quanto mais numerosas forem as propostas, mesmo que carregadas de algumas contradições,

maior o número de parâmetros à disposição para equacionar os processos visíveis no registro.

Richard Bach, no conto “Os Egípcios um Dia Ainda Hão de Voar” (Bach, 1974) questiona os povos antigos por nunca terem tentado construir um planador. Todos os materiais necessários - madeira, cordas, cola, tiras de couro, tecidos - estavam à disposição e podiam dispensar o metal, o plástico e a borracha. Seria fácil construir primeiro, planadores rústicos, depois aqueles, progressivamente, mais eficientes e sofisticados. Se poderia voar perfeitamente com os materiais e técnicas de construção disponíveis naquela época. Porque, então, os egípcios não voaram?

A resposta do autor é bastante simples: os princípios do voo não foram aplicados porque não eram compreendidos e não eram compreendidos porque não se acreditava que seres humanos pudessem voar.

Esta parece ser a função principal da teoria - fazer crer que algo é possível, que algo existe. Aos gregos pré-socráticos, que criaram uma complexa teia de filosofias desconexas e muitas vezes confusas, devemos a descoberta do Cosmos e a origem da filosofia ocidental (Russel, 1945).

CAUSAS APONTADAS PARA AS EXTINÇÕES DO LIMITE PERMO-TRIÁSSICO

Aceita-se hoje que mais da metade de todas as famílias de animais tenha desaparecido próximo ao final do Período Permiano (e.g. Stanley, 1984). Nos ambientes marinhos rasos, o efeito desta extinção foi ainda maior, sendo considerada “...o mais devastador colapso do ecossistema marinho durante o Fanerozóico” (Sepkoski, 1982). Estimativas baseadas nas percentagens de gêneros e famílias que cruzaram o limite Permo-Triássico sugerem que de 88 a 96% de todas as espécies marinhas extinguíram-se no Neopermiano (Raup, 1976, 1979), atingindo especialmente os organismos secretores de calcita (p. ex., braquiópodos e corais). No início do Triássico serão substituídos pelas faunas de

bivalves secretores de aragonita (Railsback e Anderson, 1987).

Num levantamento rápido, as causas encontradas para esta extinção, apresentadas nos últimos 30 anos em periódicos internacionais de primeira grandeza foram as seguintes: (i) aumento anômalo na taxa de radiação cósmica (Hatfield e Camp, 1970); (ii) impacto de cometas ou meteoros (McLaren, 1970; Urey, 1973; Snyder *et al.*, 1973; Alvarez e Muller, 1984); (iii) explosões estelares, as supernovas (Tucker, 1977); (iv) oscilações verticais do sistema solar sobre o plano da galáxia (Rampino e Stothers, 1984); (v) formação do Pangéia (Valentine e Moores, 1970; Schopf, 1974); (vi) reversões no campo magnético terrestre (Hays, 1971; Raup, 1985; Pal e Creer, 1986; Loper *et al.*, 1988); (vii) redução na camada de ozônio (Reid *et al.*, 1976); (viii) grandes volumes de cinzas vulcânicas na atmosfera superior produzindo quedas de temperatura (Axelrod, 1981; Renne *et al.*, 1995); (ix) envenenamento por gases vulcânicos (Erwin, 1993); (x) esfriamento causado pelo aumento do albedo marinho em decorrência de cobertura por nuvens (Rampino e Volk, 1988); (xi) esfriamento causado por glaciação (Stanley, 1984, 1988); (xii) esfriamento por escurecimento do sol (Benton, 1995); (xiii) elevação anômala da temperatura (Urey, 1973; Waterhouse, 1973); (xiv) diminuição na salinidade dos oceanos (Fisher, 1964; Stevens, 1977; Lantzy *et al.*, 1977); (xv) aumento da salinidade dos oceanos (Waugh, 1973; Bowen, 1970); (xvi) mudança na composição química da água do mar devido ao aumento da razão Mg/Ca (Railsbach e Anderson, 1987); (xvii) regressão marinha com exposição das plataformas continentais (Newell, 1967; Johnson, 1974; Simberloff, 1974); (xviii) colapso alimentar em decorrência de redução no fitoplâncton marinho (Tappan, 1968); (xix) variações na percentagem de oxigênio atmosférico (McAlester, 1970); e (xx) aumento na percentagem de CO₂ atmosférico (Erwin, 1994).

Além dessas hipóteses, inúmeros trabalhos de síntese procuraram relacionar várias das causas apontadas: glaciação e

rebaixamento do nível do mar; formação do Pangéia e rebaixamento do nível do mar; elevada concentração de cinzas vulcânicas na atmosfera superior, barrando a luz solar e causando glaciação e rebaixamento do nível do mar; vulcanismo como causa de efeito estufa e aumento de temperatura; queda de meteoros ocasionando reversões no campo magnético terrestre (e.g. Whyte, 1977; Erwin, 1994; Benton, 1995).

Finalmente, outros pesquisadores se encarregaram de contestar as evidências da “grande extinção do limite Permo-Triássico”, apresentando versões alternativas como, por exemplo, a redução progressiva e natural da diversidade faunística (Herman, 1981).

Os métodos de análise geológica, aqui compreendidos em seu sentido restrito de uma técnica particular de pesquisa (Abbagnano, 2000) e tomando como exemplo, o estudo das fácies sedimentares e sistemas deposicionais, da estratigrafia de seqüências, da taxonomia, de tectônica, geoquímica e paleomagnetismo, caracterizam-se, em geral, por um campo bastante estreito de visão (= atuação), o que os torna cegos para o restante do universo de possibilidades. O espírito de simplificação (reducionista) por trás da “cegueira” na concepção e, a utilização dos diferentes métodos científicos, é responsável, em boa parte, pela profusão de teorias desarticuladas e contraditórias, mais uma vez, não necessariamente ruins. Contudo, o desconhecimento desta particularidade, inerente à geração de teoria científica, pode dificultar o entendimento do trabalho científico diário.

O pesquisador das ciências geológicas é forçado, com muita freqüência, a lidar com um universo de teorias de difícil ajuste e conciliação. Além disso, tentar reconstituir a trilha que levou à formulação de cada uma das teorias rivais é algo complexo, que envolve o manuseio de um volume considerável de dados. Quanto mais antigos os trabalhos a serem analisados, tanto mais difícil pode tornar-se a compreensão dos paradigmas em que se apoiavam seus autores (mais à frente, designar-se-á este fenômeno como

“perda de sentido”). Diante do conflito, a escolha entre teorias rivais acaba, em muitos casos, por tornar-se arbitrária e subjetiva.

Feyerabend (1985) demonstra que estes procedimentos são absolutamente normais em qualquer campo da ciência. Escondido por detrás deste procedimento está o espírito de simplificação. Os fenômenos reais são por demais complexos para serem apreendidos em sua totalidade (Nietzsche, 1887, 1888).

SIMPLIFICAÇÃO E REDUCIONISMO

Depois da análise dos muitos trabalhos feitos e frente aos resultados discrepantes a que podem chegar, mesmo a partir de dados iniciais semelhantes, parece que a fé no método constitui-se no elemento fundamental à geração de teoria científica. Em parte, isto decorre da especialização precoce, que impede uma visão mais generalista da ciência. Sem maiores questionamentos, aprende-se uma técnica e a aplicamos nas situações corriqueiras do trabalho. Por vezes se é surpreendido, diante de uma técnica desconhecida (amparada em paradigmas nebulosos) e que aponta para resultados opostos e, instintivamente, se desconfia dos resultados.

A certeza pessoal (ou da comunidade científica) sobre o poder específico de um método em explicar a natureza inibe questionamentos mais fortes (Kuhn, 1976). Quando houver conflitos com as idealizações providas da aplicação de outros métodos, o método pessoal será sempre o que possui a argumentação mais decisiva. Neste momento, a teoria transmuta-se em ideologia e os problemas cujo sentido não puderam ser assimilados, sem o questionamento do próprio método de análise, tendem a ser desprezados ou remetidos para a periferia (Morin, 1981).

A possibilidade de contar com um maior número de teorias, ampliando as possibilidades de escolha, aumenta ao mesmo tempo, a incerteza. Esta pode resultar tanto do aumento da entropia, quanto da deformação de fidelidade

(=ruído). A palavra entropia, tomada emprestada do Segundo Princípio da Termodinâmica, é aqui utilizada na concepção de “variedade” de Ashby (1970). Serve apenas para reforçar a idéia de que, em um determinado campo do conhecimento, quanto mais aumenta o volume de teorias geradas por distintos métodos, mais desorganizado ou caótico parece o conjunto final.

Esta sensação permeia a análise da bibliografia sobre o Permiano. E o pesquisador se defende instintivamente da imensa complexidade do problema global, raciocinando sempre a partir dos paradigmas com que lida em sua pesquisa de rotina, como um modo de eliminar as grandes extensões do problema e de manter um núcleo internamente coerente, que disfarce a arbitrariedade (a navalha de Occam de Heisenberg, 1958). Perpassa a impressão de que caso seja possível separar este núcleo coerente, e trabalhá-lo como um sistema isolado, seria possível gerar teorias totalmente contidas neste sistema. Trabalhando apenas dentro de seu universo-ilha, o cientista sente-se seguro e, por outro lado, desconfortável sempre que, por qualquer razão, deve contatar com pesquisadores que atuam em outros universos-ilhas.

De suas tentativas pessoais de simplificação da natureza, surgem às incertezas e as perturbações da teoria. Caso essas ocorram em plena região central de abrangência da nova teoria elaborada, esta poderia ser questionada e desqualificada; mas se a perturbação se localizar na periferia do campo de atuação da teoria, os problemas podem não ser reconhecidos como tal por seus proponentes, ou não serem julgados relevantes.

A aparente confusão reinante quanto aos eventos ocorridos no Permiano, antes de ser um mal causado pelo erro de maus pesquisadores, é algo inerente ao trabalho científico. Diferentes pesquisadores, atuando em grupo ou de modo isolado, necessariamente chegarão a resultados distintos. Neste ponto, a Geologia não difere de qualquer outro campo do conhecimento científico não redutível a bases matemáticas e/ou experimen-

tais. A crença comum de que cientistas trabalhando de modo correto, aplicando de forma adequada as leis científicas, deveriam chegar sempre aos mesmos resultados, se apóia em uma idealização de ciência e de que o conhecimento científico é sinônimo da verdade.

Se, ao contrário, admitirmos que o “Mundo Permiano” é uma construção racional, onde cada pesquisador acrescenta algo ao que já existe, adequada ou inadequadamente, e onde cada nova informação é parte do problema global, então este “Mundo” passa a ser um produto do cérebro humano, e como tal, sujeito a toda ordem de reinterpretações. O certo e o errado, sob esta ótica, dependem fundamentalmente dos paradigmas vigentes e, além disso, do tempo, que pode derrubar ou reafirmar idéias.

REDUCCIONISMO E ARBITRÁRIO

A situação real pode ser ainda mais complexa do que o até aqui sugerido. Quando se formula uma teoria (que sempre se ampara, ao menos parcialmente, em teorias anteriores), alguns estágios da formulação evoluem sequencialmente. Em geral, esta representa a aplicação de paradigmas aceitos a novas situações, caracterizando a atividade do cientista como a de um “solucionador de quebra-cabeças” (Kuhn, 1976). Entretanto, em alguns locais estratégicos faltam elos na seqüência, regiões de sombra, não abrangidas pelos paradigmas. Na falta de parâmetros tem que se recorrer, muitas vezes, a escolhas arbitrárias e adaptá-las, ainda que de modo forçado, à seqüência. Feito isto, se prossegue com a aplicação dos paradigmas até que uma nova dificuldade apareça.

Deste modo, na elaboração da teoria, utilizam-se argumentos amparados ou não em paradigmas e que podem ser tomados de empréstimo de outros universos-ilhas, buscando garantir que a escolha não seja arbitrária e, ao mesmo tempo, adequada.

Construções teóricas indutivas baseadas apenas nos vestígios que chegaram até nossos dias são, em geral, pouco detalhadas e costumam apresentar muitas

lacunas. Adicionalmente, na Geologia moderna observa-se uma clara tendência em inibir o uso da “informação” faltante como elemento constituinte da teoria. Isto parece lógico, pois os elementos ausentes comportam um grau de subjetividade ainda maior que o dos vestígios, e sua inclusão aumentaria ainda mais o caráter caótico das teorias contraditórias. Esta questão não deve ser relegada, no entanto, a um segundo plano, já que se tem acesso apenas a uma diminuta parcela do passado e as lacunas, queiramos ou não, são elementos essenciais à formulação de uma teoria geológica.

Com isto, surge mais um elemento imponderável. O pesquisador de um universo-ilha escolhe, por razões suas ou do grupo imediato, alguns paradigmas do elenco disponível, e usando de alguns argumentos não paradigmáticos, força o raciocínio encadeado que leva a uma nova teoria. Um de seus colaboradores, abordando o mesmo assunto e dentro do mesmo elenco de teorias, poderá escolher pelo menos alguns argumentos diferentes na formulação de sua própria teoria, desprezando aqueles de menor expressão. Mas o resultado final será, em maior ou menor grau, um produto diferente.

As diferenças, já que provavelmente localizadas na periferia dos campos de atuação das teorias, não as perturbarão em demasia. Mas, conforme aumentam em número, teorias assim produzidas acabam por levar a áreas de atrito, originando desconforto, inicialmente de caráter pessoal, logo após, com o modelo utilizado. Poder-se-ia argumentar que, raciocinando dentro do mesmo universo-ilha, o grupo de cientistas em questão tenderia a recorrer sempre às mesmas escolhas, não existindo, portanto, este tipo de problema. Kuhn (1989) mostra, contudo, que alguns indivíduos são mais tradicionalistas, outros mais iconoclastas, e suas contribuições serão diferentes. Os limites observáveis dos universos-ilhas começam a ficar difusos e os universos pessoais podem se interpenetrar.

Por fim, a manipulação dos dados, mesmo quando respeitadas todas as

regras e o rigor de conduta científica universalmente aceitos, acaba por incorporar procedimentos reducionistas e mesclados de decisões arbitrárias.

Mesmo partindo de uma situação paradigmática ideal, o próprio curso “normal” da pesquisa num determinado campo do conhecimento leva inevitavelmente ao aumento da entropia. A utilização dos paradigmas, da forma mais restritiva possível e com amplos mecanismos repressivos de controle, não impede o surgimento de um ruído de fundo.

Esta é a origem da crise, consequência inevitável do tempo transcorrido. Aquelas problemas que sempre estiveram subjacentes à teoria, e inicialmente relegados, ampliam-se de uma tal maneira que não é mais possível ignorá-los. Parece ter sido isto que Kuhn (1976) tentou expressar ao falar da “ciência normal”.

Cada um dos quebra-cabeças resolve-dos deixa um resíduo não paradigmático, uma deformação de fidelidade, um ruído de fundo, que é perene e que sobrevive ao próprio paradigma. E que poderá constituir, no futuro, o núcleo de um novo paradigma.

A quantidade de entropia em um determinado campo do conhecimento, se vincula, portanto, com um número cada vez mais expressivo de teorias, sejam elas do caráter testável popperiano, tautológicas, contraditórias ou de proteção com hipóteses *ad hoc*. A emergência de um novo paradigma, que diminua as possibilidades de escolha, levará certamente à diminuição da entropia. Justifica-se, assim, a ânsia pelo paradigma, observada nas comunidades científicas modernas.

PERDA DE SENTIDO

O nascimento ou mudança de um paradigma em qualquer campo do conhecimento determina o abandono das teorias rivais. Embora este procedimento proporcione, em geral, um mais rápido avanço da ciência, nem sempre, porém, é salutar. Teorias em fase germinal, ainda incompletamente exploradas, podem ser desqualificadas apenas por não se articularem ao novo paradigma (Fey-

rabend, 1985). Neste caso, sua simples eliminação, gera algo que poderia ser designado como “perda de sentido”, tal como utilizado por Davis e Hersh (1988), embora num contexto distinto. Mais especificamente isto se reflete na incapacidade dos pesquisadores modernos em apreender toda a significação de teorias mais antigas, diante do treinamento que vêm recebendo, dentro de uma óptica paradigmática específica. Isto os torna inábeis para compreender a essência das propostas e explicações prévias, às vezes, mais ricas que algumas das generalizações atuais, apenas que expressas em modelos paradigmáticos hoje em desuso.

O exemplo mais clássico de perda de sentido pode ser buscado no declínio progressivo na cultura ocidental, do pensamento grego antigo, causado tanto por fatores internos, quanto em função da ascensão do império romano e do cristianismo (Russel, 1945). A análise dedutiva da natureza, característica do pensamento grego, foi substituída pelo dogmatismo da “verdade revelada”. A reconstrução do sentido, proporcionada pelo Renascimento, com seu retorno aos filósofos clássicos, foi uma tarefa difícil e sem garantias de sucesso.

No contexto de cada campo de estudos teóricos, o nascimento do paradigma causa uma sensação de segurança, de trabalho produtivo - além de garantir mais verbas para a pesquisa. A perda de sentido provocada pela redução nas possibilidades de escolha entre várias teorias não é percebida.

Vislumbramos um proceder científico onde se sonha com o paradigma perfeito, a lei universal a partir da qual todo cientista poderia trabalhar sem sobressaltos em sua análise da natureza. E qual seria? Possivelmente aquele que, aplicado a várias novas situações, não ocasionasse o aparecimento de qualquer ruído de fundo. Isto, infelizmente não é possível por algumas razões. Uma delas, como vimos, decorre da tomada arbitrária de decisões durante o curso da pesquisa. A outra, tão ou mais importante, é a tendência à simplificação, que decorre

da herança mecanicista e determinista da ciência moderna.

DETERMINISMO

Para Bachelard (1985), o determinismo desceu dos céus para a Terra. A aparente regularidade no movimento das esferas celestes, através de séculos de observações, condicionou o espírito humano, originando a idéia de que o importante eram as regularidades e que os pequenos desvios não deviam ser motivo de preocupação (cfr. tb. Russel, 1917; Blanché, 1983).

Um universo muito regular, segundo Aristóteles, só seria possível se cada elemento estivesse em seu lugar natural, desenvolvendo movimentos naturais, ou seja, em equilíbrio perfeito. A regularidade dos movimentos do mundo extralunar podia ser analisada pela matemática simples da época. O círculo representava o movimento natural dos corpos celestes perfeitos e Ptolomeu desenvolveu uma concepção de movimentos celestiais baseada em movimentos circulares (Koyré, 1986). No mundo sublunar, as coisas eram mais complexas. Os elementos não se encontram em seu lugar natural e portanto, sujeitos a movimentos violentos e à degradação. Aristóteles opunha-se a Platão, defendendo a impossibilidade da aplicação da matemática às coisas terrenas (Allan, 1983).

O impacto causado pela Física newtoniana, a partir do final do século XVII, deveu-se em grande parte ao seu imenso poder de subjugar os mistérios do Universo e levou Laplace a argumentar que o Universo era absolutamente determinístico (Hawking, 1988). Neste Universo tudo aconteceria de acordo com determinadas leis e, sua organização e sua regularidade deixavam supor que o futuro dependia estritamente do passado (Wiener, 1968). Laplace afirmava que deveria existir um conjunto de leis científicas através das quais, uma vez conhecido o estado completo do Universo num determinado momento, seria possível prever todo o seu desenvolvimento (Blanché, 1983; Bachelard, 1971).

O determinismo é o domínio das naturezas simples e absolutas, o domínio do simples sobre o complexo. Os elementos são vistos de forma simples porque visualizados em separado. Não existe determinismo sem uma escolha - sem um afastamento voluntário das perturbações e fenômenos insignificantes (Bachelard, 1985). Fundamenta-se na fé em predições positivas e busca o significado na regularidade. Vai de uma causa bem definida a um efeito bem definido (Bachelard, 1985; Blanché, 1983).

A questão do determinismo trás consigo muitas implicações na atividade de pesquisa. Kuhn (1976) refere que a “pesquisa normal” tem reduzido interesse em produzir grandes novidades e que a “ciência normal” não se propõe a descobrir novidades no terreno das teorias. É possível vislumbrar que o que Kuhn (1976) chama de ciência normal, possui traços de um modo de pensar determinista.

Porém, se o “ideal” teórico da ciência normal é o indicado por Kuhn, poderíamos concluir que ela nunca seria bem sucedida. No entanto, o crescente aumento de entropia e de ruído de fundo, causado pelo acúmulo de teorias contraditórias e pelo onipresente aparecimento de irregularidades, faz com que sempre ocorra o novo, o inusitado. E mesmo o determinismo nunca sobreviveu sem discussão (Bachelard, 1985). Embora a subjacente tendência a desprezar as irregularidades, a natureza crítica do pensamento científico sempre exigiu o seu questionamento.

Karl Popper, no século XX, foi o primeiro a demonstrar sua inconformidade com a indução, uma das principais vias de atuação do determinismo científico (e.g. Popper 1972, 1978). Em sua obra a luta contra os positivistas lógicos está sempre presente e se deveu, em sua maior parte, à não aceitação pura e simples das regularidades como regra. Sua preocupação com os elementos falseadores e a busca de teorias cada vez menos prováveis, é antes de tudo, uma luta contra o determinismo. Feyerabend (1985), em suas críticas, ignora esta fundamental diferença que separa Popper dos demais positivistas.

Nas ciências geológicas, como um todo, o pensamento determinista dirige a pesquisa. Busca-se a compartimentação e a análise isolada dos fenômenos. E isto tem reflexos no sistema de ensino universitário, segmentado e sem inter-relação entre as muitas áreas, e na organização dos livros textos que, ao filtrar a entropia e os ruídos de fundo, mostram uma evolução encadeada do conhecimento (relações causa-efeito), nem sempre real. Para Kuhn (1989), isto é feito com funções pedagógicas - para facilitar o aprendizado. Busca concentrar o estudante concentra-se no problema e em sua proposta de solução através do paradigma.

Dos elementos vistos previamente, chama a atenção em primeiro lugar, a “perda de sentido”, resultante da eliminação das teorias rivais “derrotadas”.

Tal premissa é bem expressa nos livros textos, onde o exame mesmo que superficial, mostra a ausência do debate e do processo histórico, que regeu a evolução de cada um dos conhecimentos ali incluídos. A estes temas são dedicadas umas poucas páginas introdutórias ou um breve histórico, seguidas da imediata discussão do paradigma em seus traços maiores e suas aplicações mais bem sucedidas. Naqueles pontos em que mais de uma teoria está presente e em contradição, estas são simplesmente apresentadas, em seus aspectos positivos e negativos, ou não comprováveis. Quase como regra, manuseia-se um livro para entender o funcionamento de uma teoria, e principalmente, como ela pode ser utilizada para resolver - ou apontar soluções - para “problemas práticos”. Finalmente ainda, na avaliação do conhecimento, raramente o aspecto histórico é solicitado.

Gera-se um círculo vicioso, com os pesquisadores, que um dia também foram estudantes, escrevendo sem uma preocupação histórica e o estudante, sendo condicionado a aprender apenas a ciência de seu tempo, normalmente sem qualquer relação com os demais campos do conhecimento. A perda de sentido decorrente torna a ciência atemporal - perde-se a noção de que o conheci-

mento é algo mutável, transitório. Fica a sensação de que os “antigos” (não importando se mil ou apenas dez anos antes) é que erraram. Mas que agora a ciência tornou-se um empreendimento perfeito, sempre acumulando sucessos.

Nesta visão distorcida de ciência, o fracasso em “solucionar quebra-cabeças” inicialmente é sempre pessoal, do cientista, não do paradigma. Kuhn (1976) sugere que apenas quando os mais notáveis pesquisadores de um campo do conhecimento começam a expressar por escrito a sua contrariedade, tem início a fase de questionamento real das teorias mais aceitas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez mais retornamos aqui ao problema das decisões arbitrárias: até onde utilizar os paradigmas e onde romper com eles para originar o novo, o inesperado?

Feyerabend (1985) aponta que todas as grandes revoluções ocorreram quando alguma regra metodológica tida como impecável foi quebrada. Incitando contra o método, contra a regra pré-estabelecida, afirma que tudo vale em ciência, que ela é mesmo, um procedimento essencialmente anárquico. Porém a ruptura com os paradigmas a cada momento, não permite o desenvolvimento da pesquisa.

Apesar do extraordinário poder da argumentação de Feyerabend, a necessidade de cada cientista se insurgir contra os métodos que utiliza não é indispensável para o avanço científico. O “vale-tudo” já estaria presente nas simplificações e nas decisões arbitrárias que, tomadas em conjunto, produzem uma ciência fragmentada.

Em estudos de paleoclima e paleogeografia, como já vimos, partimos de um arcabouço teórico fundamentado no mundo atual (e.g. zoneamento climático, temperaturas médias, albedo, circulação atmosférica e oceânica), para ancorar algumas premissas específicas do passado, tais como a distinta paleogeografia e a ausência de gelo polar no Neopermiano. Aqui existe, em princípio, um problema: teorias “atualísticas” servem de base para

idealizações “não-atualísticas”. O produto resultante é uma mescla destes dois enfoques, cujo resultado final é essencialmente lógico, mas cuja vinculação com a realidade pode ser bastante discutível. Como resíduo, o leitor mais atento perceberá sempre um ruído de fundo - uma deformação na fidelidade - evidenciando que por trás de uma insignificante irregularidade associada a um fenômeno aparentemente simples, prontamente desprezada, existem fenômenos bastante complexos esperando sua vez de emergirem.

Finalizando, cabe aqui retomar a idealização de Bachelard (1977) de que o real é apenas um caso particular do possível!

AGRADECIMENTOS

O texto recebeu importantes críticas e questionamentos dos colegas Mário Costa Barberena, Pe. Marcelo Aquino, Áttilo Inácio Chassot, Maura Corcini Lopes, Paulo S. G. Paim, Zara G. Lyndemmayr, Flávio Feijó, Karin Goldberg, Antônio J. V. Garcia, Andréia Dias Elias, Tânia Lindner Dutra e Renata Netto.

REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, N. 2000. *Dicionário de Filosofia*. São Paulo, Martins Fontes, 1014 p.
- ALLAN, D.J. 1983. *A filosofia de Aristóteles*. Lisboa, Editorial Presença, 199 p.
- ALVAREZ, W. e MULLER, R.A. 1984. Evidence from crater ages for periodic impacts on the Earth. *Nature*, **308**:718-720.
- ALVES, R. 1991. *Conversas com quem gosta de ensinar*. São Paulo, Cortez Editores, 104 p.
- ANDERSON, J.M. e CRUICKSHANK. 1978. The biostratigraphy of the Permian and Triassic. Part 5-A. Review of the classification and distribution of Permian-Triassic tetrapode. *Paleontologia Africana*, **21**:15-44.
- ASHBY, W.R. 1970. *Introdução a Cibernética*. São Paulo, EDUSP, 345 p. (Coleção Estudos).
- AXELROD, D.I. 1981. *Role of volcanism in climate and evolution*. Geological Society of America, 59 p. (Special Paper 185).
- BACH, R. 1974. *O paraíso é uma questão pessoal*. Rio de Janeiro, Editora Parana, 111 p.
- BACHELARD, G. 1971. *A epistemologia*. Rio de Janeiro, Edições 70, 223 p.
- BACHELARD, G. 1985. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 151 p.
- BACHELARD, G. 1991. *A filosofia do não*. Lisboa, Editorial Presença, 137 p.
- BENTON, M.J. 1995. Mass extinction, biotic and abiotic. In: W.A. NIERENBERG (ed.), *Encyclopedia of environmental biology*. V. 2, San Diego, Academic Press Inc., p. 523-534.
- BLANCHÉ, R. 1983. *A ciência atual e o racionalismo*. Porto, Rés-Editora, 147 p.
- BOHR, N. 1961. *Physique atomique et connaissance humaine*. Paris, Edition Gauthier, 183 p.
- BORN, M. 1969. *Física atômica*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 555 p.
- BOWEN, R.L. 1970. Epi-Paleozoic hypersalinity and marine biotic extinctions. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, **54**:1783. (abstract).
- BULLARD, E.; EVERETT, J. e SMITH, A. 1965. The fit of the continents around the Atlantic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **1089**(258A):41-51.
- CASSIRER, E. 1944. *Antropologia filosófica*. São Paulo, Editora Mestre Jou, 379 p.
- DAVIS, P.J. e HERSH, R. 1988. *O sonho de Descartes*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 335 p.
- DIETZ, R. e HOLDEN, J. 1970. The breakup of Pangaea. *Scientific America*, **223**(4):30-41.
- DIRAC, P. 1991. Métodos em Física teórica. In: A. SALAM (ed.), *Em busca da unificação*. Lisboa, Gradiva, p.109-123.
- ERWIN, D.H. 1993. *The great Paleozoic crisis; life and death in the Permian*. New York, Columbia University Press, 345 p.
- ERWIN, D.H. 1994. The Permo-Triassic extinction. *Nature*, **367**:231-236.
- FEYERABEND, P. 1985. *Contra o método*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 487 p.
- FEYERABEND, P. 1991. *Adeus a razão*. Rio de Janeiro, Edições 70, 371 p.
- FISHER, A.G. 1964. Brackish oceans as the cause of the Permo-Triassic marine faunal crisis. In: A.E.M. NAIRN (ed.), *Problems in paleoclimatology*. New York, Interscience, p. 566-77.
- FREELAND, G. e DIETZ, R. 1971. Plate tectonic evolution of the Caribbean-Gulf of Mexico region. *Nature*, **232**:20-23.
- HALLAM, A. 1983. Supposed Permo-Triassic megashear between Laurasia and Gondwana. *Nature*, **301**:499-501.
- HATFIELD, C.G. e CAMP, M.J. 1970. Mass extinctions correlated with periodic galactic events. *Bulletin of the Geological Society of America*, **81**:911-914.
- HAYS, J.D. 1971. Faunal extinctions and reversals of the Earth's magnetic field. *Bulletin of the Geological Society of America*, **82**:2433-2447.
- HAWKING, S.W. 1988. *Uma breve história do Tempo*. Rio de Janeiro, Editora Rocco Ltda., 262 p.
- HEISENBERG, W. 1958. *Física e filosofia*. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 158 p.
- HEISENBERG, W. 1991. Teoria, crítica e uma filosofia. In: A. SALAM (ed.), *Em busca da unificação*. Lisboa, Gradiva, p. 77-108.
- HERMAN, Y. 1981. Causes of massive biotic extinctions and explosive evolutionary diversification throughout Phanerozoic time. *Geology*, **9**:104-108.
- IRVING, E. 1977. Drift of the major continental blocks since the Devonian. *Nature*, **270**:304-309.
- JOHNSON, J.G. 1974. Extinction of perched faunas. *Geology*, **2**: 479-482.
- KOYRÉ, A. 1986. *Estudos de história do pensamento científico*. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 388 p.
- KUHN, T.S. 1976. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo, Editora Perspectiva, 257 p. (Série Debates).
- KUHN, T.S. 1989. *A tensão essencial*. Lisboa, Edições 70, 422 p.
- LANTZY, R.J.; DACEY, M.F. e MACKENZIE, F.T. 1977. Catastrophe theory: application to the Permian mass extinction. *Geology*, **5**:724-728.
- LAVINA, E.L. 1995. Paleovertebrados e uniformitarismo. Conflitos. *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia UBEA/PUCRS*, **1**:95-100. (Série Ciências da Terra).
- LAVINA, E.L. 2004. O século XX e as rupturas entre o real científico e o senso comum. *Filosofia Unisinos*, **5**(8):123-137.
- LOPER, D.E.; MCCARTNEY, K. e BUZYNA, G. 1988. A model of correlated episodicity in magnetic-field reversals, climate, and mass extinctions. *Journal of Geology*, **96**(1):1-15.
- McALESTER, A.L. 1970. Animal extinctions, oxygen consumption, and atmospheric history. *Journal of Paleontology*, **44**:405-409.
- McLAREN, D.J. 1970. Time, life, and boundaries. *Journal of Paleontology*, **44**:801-815.
- MOREL, P. e IRVING, E. 1978. Tentative paleocontinental maps for the Early Phanerozoic and Proterozoic. *Journal of Geology*, **86**:535-561.
- MORIN, E. 1981. *Para sair do século XX*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 361 p.
- NEWELL, N.D. 1967. Revolutions in the history of life. *Geological Society of America*, **89**:63-91. (Special Paper).
- NIETZSCHE, F. 1886. *A gaia ciência*. São paulo, Hemus, 249 p. (trad. 1981).
- NIETZSCHE, F. 1887. *O livro do filósofo*. Porto, RES-Editora, 131 p. (trad. 1984).
- NIETZSCHE, F. 1888. *Crepúsculo dos ídolos. Ou, como se filosofa às marteladas*. Lisboa, Guimarães Editores Lda., 160 p. (trad. 1985).
- PAL, P.C. e CREER, K.M. 1986. Geomagnetic reversal spurts and episodes of extraterrestrial catastrophism. *Nature*, **320**:148-150.
- PINTO, I.D. 1972. Permian insects from the Parana Basin, South Brazil I. Mecoptera. *Revista Brasileira de Geociências*, **2**:105-116.
- POINCARÉ, H. 1902. *A ciência e a hipótese*. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 181 p.
- POPPER, K.R. 1968. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, Cultrix, 567 p.
- POPPER, K.R. 1972. *Conjecturas e refutações*. Brasília, Editora da Universidade de Brasília, 450 p.
- POPPER, K.R. 1975. *Conhecimento objetivo*. São Paulo, Editora Itatiaia, 394 p.
- POPPER, K.R. 1986. *Autobiografia intelectual*. São Paulo, Cultrix, 261 p.

- RAILSBACK, L.B. e ANDERSON, T.F. 1987. Control of Triassic seawater chemistry and temperature on the evolution of post-Paleozoic aragonite-secreting faunas. *Geology*, **15**:1002-1005.
- RAMPINO, M.R. e STOTHERS, R.B. 1984. Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the sun's motion perpendicular to the galactic plane. *Nature*, **308**:709-712.
- RAMPINO, M.R. e VOLK, T. 1988. Mass extinctions, atmospheric sulphur and climatic warming at the K/T boundary. *Nature*, **332**:63-65.
- RAUP, D.M. 1976. Species diversity in the Phanerozoic: an interpretation. *Paleobiology*, **2**:289-297.
- RAUP, D.M. 1979. Size of the Permo-Triassic bottleneck and its evolutionary implications. *Science*, **206**:217-218.
- RAUP, D.M. 1985. Magnetic reversals and mass extinctions. *Nature*, **314**:341-343.
- REID, G.C.; ISAKSEN, I.S.A.; HOLSER, T.E. e CRUTZEN, P.J. 1976. Influence of ancient solar-proton events on the evolution of life. *Nature*, **259**:177-179.
- RENNE, P.R.; ZICHAO, Z.; RICHARDS, M.A.; BLACK, M.T. e BASU, A.R. 1995. Synchrony and causal relations between Permian-Triassic boundary crisis and Siberian flood volcanism. *Science*, **269**:1413-1416.
- ROSS, C.A. 1979. Late Paleozoic collision of North and South America. *Geology*, **7**:41-44.
- ROWETT, C.L. 1975. Provinciality of Late Paleozoic invertebrates of North and South America and a modified intercontinental reconstruction. *Pacific Geology*, **10**:79-94.
- RUSSEL, B. 1917. *Misticismo e lógica*. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 236 p.
- RUSSEL, B. 1945. *Historia da filosofia ocidental*. 4ª ed., v. 1, Brasília, Companhia Editora Nacional, 310 p. (Coleção Pensamento Científico).
- RUSSEL, B. 1977. *Fundamentos de filosofia*. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 314 p.
- SALAM, A. 1991. Unificação das forças fundamentais. In: A. SALAM (ed.), *Em busca da unificação*. Lisboa, Gradiva, p. 7-73.
- SCHOPF, T.J.M. 1974. Permo-Triassic extinctions: relation to sea-floor spreading. *Journal of Geology*, **82**(2):129-143.
- SCOTSESE, C.; BAMBACH, R.; VAN DER VOO, R. e ZIEGLER, A. 1979. Paleozoic base maps. *Journal of Geology*, **87**:217-268.
- SCOTSESE, C. e MCKERROW, W.S. 1990. Revised world maps and introduction. In: W.S. MCKERROW e C. SCOTSESE (eds.), *Palaeozoic palaeogeography and biogeography*. London, Geological Society, p. 1-21. (Memoir 12).
- SEPKOSKI, J.J. 1982. Mass extinctions in the Phanerozoic: a review. In: L.T. SILVER e P.H. SCHULTZ (ed.), *Geological implications of impacts of large asteroids and comets on the Earth*. Geological Society of America, p.283-289. (Special Paper 190).
- SIMBERLOFF, D.S. 1974. Permo-Triassic extinctions: effects of area on biotic equilibrium. *Journal of Geology*, **82**:267-274.
- SMITH, A.G.; HURLEY, A.M. e BRIDEN, J.C. 1981. *Phanerozoic paleocontinental world maps*. London, Cambridge University Press, 87 p.
- SNYDER, L.E.; BUHL, D. e ZUCKERMAN, B. 1973. Cometary collisions and geological periods. *Nature*, **242**:32-33.
- STANLEY, S.M. 1984. Temperature and biotic crisis in the marine realm. *Geology*, **12**:205-208.
- STANLEY, S.M. 1988. Climatic cooling and mass extinctions of Paleozoic reef communities. *Palaos*, **3**:228-232.
- STEVENS, C. 1977. Was development of brackish oceans a factor in permian extinctions? *Geological Society of America Bulletin*, **88**:133-138.
- TAPPAN, H. 1968. Primary production, isotopes, extinctions and the atmosphere. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **4**:187-210.
- TUCKER, W.H. 1977. The effect of a nearby supernova explosion on the Cretaceous-Tertiary environment. *Syllogeus*, **12**:111-124.
- UREY, H.C. 1973. Cometary collisions and geological periods. *Nature*, **242**:32-33.
- VALENTINE, J.W. e MOORES, E.M. 1970. Plate-tectonic regulation of faunal diversity and sea level. *Nature*, **228**:657-669.
- WALPER, J. e ROWETT, C. 1972. Plate tectonics and the origin of the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico. *Transactions of the Gulf Coast Association of Petroleum Geologists*, **22**:105-166. (22nd Annuary Convention).
- WATERHOUSE, J.B. 1973. The Permian-Triassic boundary in New Zealand and New Caledonia and its relationship to world climatic changes and extinction of Permian life. In: A. LOGAN e L.V. HILLS (ed.), *The Permian and Triassic systems and their mutual boundary*. Alberta, Canadian Society of Petroleum Geologists, p. 445-464. (Memoir 2).
- WAUGH, B. 1973. The distribution and formation of Permian-Triassic red beds. In: A. LOGAN e L.V. HILLS (ed.), *The Permian and Triassic systems and their mutual boundary*. Alberta, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, **2**:678-693.
- WEGENER, A. 1915(-1929). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* [The Origin of Continents and Oceans, facsimile of the first German edition with handwritten emendations and comments by Alfred Wegener and facsimile of the fourth, expanded edition published in 1929.]. Bremerhaven, Alfred-Wegener Institut für Polar und Meeresforschung, Seiten, 481 p.
- WESTPHAL, 1977. Configuration of the magnetic field and reconstruction of Pangaea in the Permian period. *Nature*, **267**:136-137.
- WHYTE, M.A. 1977. Turning points in Phanerozoic history. *Nature*, **267**:679-682.
- WIENER, N. 1968. *Cibernética e sociedade*. São Paulo, Cultrix, 190 p.