



Da Deriva dos Continentes a Teoria da Tectônica de Placas: uma abordagem epistemológica da construção do conhecimento geológico, suas contribuições e importância didática.

Joil José Celino¹, Edna Cristina de Lucena Marques¹, Osmário Rezende Leite¹

¹Universidade Federal da Bahia Instituto de Geociências - DGGA Rua Barão de Geremoabo, s/no., SALA 308-C, Ondina Salvador - BAHIA - BRASIL CEP 40170-290

RESUMO

A compreensão da evolução do conhecimento científico em Geociências pode ser enquadrada na epistemologia racionalista. Este trabalho é uma contribuição a estratégia para o trabalho didático da controvérsia entre a Deriva Continental versus a Tectônica de Placas, define as finalidades das controvérsias geológicas e incorpora os componentes da epistemologia e história da geologia no início do século vinte. Algumas implicações na relação ensino-aprendizagem das geociências são também abordadas.

Palavras-chave: Deriva continental, Tectônica de placas, Conhecimento científico, Epistemologia, História da ciência.

ABSTRACT

Evolution of scientific knowledge in the Geoscience can best be understood taking the rationalist epistemologies as a frame reference. We present here a contribution to the strategy for the didactic work concerning the controversy between “Continental Drift” versus “Plate Tectonics”. The theme offers the opportunity for the re-creation of so important controversy in the history of Geology in the beginning of the twenty century. Educational implications namely those concerned with in service training are stressed.

Keywords: continental drift, plate tectonics, scientific knowledge, epistemology, history of science



INTRODUÇÃO

A Teoria da Tectônica de Placas, desenvolvida nos anos 60, sustenta que as maiores feições da superfície da Terra são criadas pôr movimentos horizontais da litosfera. Tal teoria se destaca pela sua simplicidade, elegância e habilidade para explicar uma enorme gama de observações, sendo rapidamente aceita (SENGÖR, 1990). Em 1971, um autor de um livro de Geologia Introdutória afirmava:

Durante a ultima década, houve uma revolução nas Ciências da Terra, que resultou na aceitação de que os continentes se movimentam sobre a superfície da Terra e que o assoalho oceânico se "espalha", sendo continuamente criado e destruído. Finalmente, nos últimos, dois ou três anos, culminou com o aparecimento de uma teoria global, conhecida como "Tectônica de Placas". O sucesso da teoria das placas tectônicas não se deu apenas porque ela explica as evidências geofísicas, mas também porque apresenta um modelo no qual dados geológicos, acumulados durante os últimos 200 anos se encaixam. Além disso conduziu as ciências da Terra até um estágio onde ela não apenas explica o que aconteceu no passado, o que está acontecendo no presente, mas também o que

acontecerá no futuro.

Cerca de 40 anos antes da Tectônica de Placas, uma teoria semelhante foi rejeitada pela comunidade geológica. Em 1912, o meteorologista e geofísico alemão Alfred Wegener, propôs que os continentes eram móveis, desenvolvendo suas idéias na "Teoria da Deriva Continental". Para um geólogo moderno, o livro de Wegener, "*The origin of continents and oceans*", é um documento impressionante e presciente, contendo muitos dos pontos essenciais da Tectônica de Placas. Na Inglaterra esta teoria teve alguns adeptos, mas nos Estados Unidos ela foi inteiramente rejeitada e ridicularizada. Havendo tantas concordâncias entre as idéias de Wegener e as da Tectônica de Placas, por que a rejeição?

O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO:

Objetivos

Geólogos e historiadores, atribuem essa rejeição à falta de um mecanismo causal adequado na teoria de Wegener (HELLMAN, 1999). Porém, evidências históricas demonstram que a deriva continental foi rejeitada apesar da existência



de explicações plausíveis para os movimentos dos continentes, e que a tectônica de placas foi aceita sem estas explicações. O objetivo deste texto é demonstrar que a principal diferença entre a deriva continental e a tectônica de placas não está nas teorias, mas na natureza das evidências usadas para demonstrá-las.

A compreensão da evolução do conhecimento científico nas Geociências pode ser enquadrada na epistemologia racionalista (MARQUES, 1996). Desta forma, os pontos de vista de Kuhn, Popper e Lakatos podem ajudar a compreender a substituição que ocorreu na comunidade científica das perspectivas fixistas pelas mobilistas, hoje bem expressas na Teoria da Tectônica de Placas.

Um outro ponto a ser debatido se refere ao enquadramento teórico para a interpretação de situações concretas relativas ao desenvolvimento do conhecimento em Geociências com implicações consideradas relevantes para o ensino.

Desta maneira, a dimensão epistemológica é útil aos professores, na medida em que permite estabelecer mais facilmente a ponte para a problematização do ensino e a aprendizagem das ciências.

REFERENCIAL TEÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

Um conhecimento de raiz empirista

O conhecimento era passado por rupturas com o conhecimento de senso comum. Na perspectiva Empirista Baconiana: a experiência e a técnica constituem a base e o objetivo do conhecimento. Sendo assim a **ciência** é conceituada como uma sucessão de observações à partir das quais se alcançam os princípios gerais através do pensamento indutivo, que conduz a conhecimentos seguros (PRAIA, 1995).

Com o desenvolvimento das ciências experimentais desembocou-se no positivismo lógico onde: a realidade surge dotada de exterioridade; o conhecimento científico é uma representação do real; existe a dualidade entre fatos e valores; existe um rechaço evidente da metafísica; e há uma preocupação real pela unificação da ciência (MARQUES, 1996).

Segundo SOUSA SANTOS (1989) este positivismo lógico materializa a dogmatização da ciência: *um aparato privilegiado da representação do mundo, sem outros fundamentos das proposições básicas sobre a coincidência entre a*



linguagem unívoca da ciência e a experiência e observação imediata, sem outros limites que não seja o resultado de um estudo do desenvolvimento dos instrumentos experimentais ou lógico-dedutivo.

A perspectiva de natureza racionalista

Uma via pós-moderna de entendimento da construção do conhecimento pretende: valorizar o referencial teórico prévio à observação; defender o pluralismo metodológico; mostrar que o avanço do conhecimento ocorre por rupturas e discontinuidades mais do que vias lineares e acumulativas; redimensionar o papel desempenhado pelas situações de erro; e destacar a importância que tem o consenso da comunidade científica para a validade do conhecimento.

Os críticos ao empirismo apresentam também diferenças sensíveis quanto à evolução do conhecimento científico. Para Popper, os critérios definidores da evolução são exclusivamente internalistas (por exemplo, lógico-rationais ou empíricos), para outros como Kuhn, são eminentemente externalistas (por exemplo, sociológicos). Finalmente, Lakatos manifesta uma

perspectiva intermediária. Sendo assim, ao longo do texto será feita uma abordagem central do pensamento de cada um deles.

A TEORIA DE WEGENER

Wegener apresentou sua teoria do deslocamento continental em 1912, no encontro da Sociedade Geológica de Frankfurt. Ele propôs que os continentes "derivam" lentamente sobre as bacias oceânicas, de vez em quando colidindo um com outro e mais uma vez se separando. Em 1915, Wegener apresentou estas idéias em um livro, e em 1926, teve um resumo lido nos Estados Unidos, numa conferência patrocinada pela American Association of Petroleum Geologists (A.A.P.G.). Apesar de vários outros geólogos terem proposto a mobilidade continental (até um americano: Frank Taylor), o tratamento dado por Wegener foi o mais desenvolvido. A teoria de deslocamento de Wegener é facilmente sumariada (HELLMAN, 1999):

- 1) Os continentes são constituídos de material menos denso que o das bacias oceânicas.
- 2) O material que compõe o assoalho oceânico também existe sob os continentes,



e a diferença de densidade entre eles permite que os continentes "flutuem" em equilíbrio isostático sobre o substrato oceânico mais denso.

3) Os continentes são capazes de se deslocar sobre o substrato porque este se comporta, no tempo geológico, como um líquido altamente viscoso.

4) As maiores feições geológicas da terra (cadeias de montanhas, *rifts*, arcos de ilhas oceânicas) e fenômenos geológicos maiores (terremotos, vulcões) são causados pelo movimento horizontal e interação entre os continentes. Montanhas são formadas pôr compressão nos bordos de continentes em movimento.

5) Originalmente, toda a Terra era coberta pôr uma camada fina, contínua de material continental, a qual gradualmente se quebrou em pedaços que foram se espessando por "amontoamento". Durante o Mesozóico, alguns dos maiores continentes estavam reunidos num grande supercontinente chamado *Gondwanaland*.

Os dois primeiros pontos são reafirmações da Teoria da Isostasia. O terceiro ponto, o conceito de substrato móvel, era um conceito geológico já estabelecido, mas não aplicado para explicar grandes movimentos horizontais. Apenas os

dois últimos pontos continham realmente algo novo, apesar de Wegener ter emprestado o termo *Gondwanaland* de Suess; mas enquanto Suess dizia que parte deste supercontinente já tinha "afundado", Wegener argumentava que ele ainda estava entre nós, em pedaços.

À luz de como se desenvolveria o conhecimento científico, POPPER (1963) supõe que os fundamentos teóricos das Ciências da Terra estão baseados em especulações sensatas avançadas com muita criatividade e na qual o próprio conhecimento científico é sempre susceptível de refutação do que confirmação e prova.

Assim como na ciência moderna, a atividade de investigação se apresenta como um processo contínuo de aproximação gradual a seus grandes objetivos, independente do que podem ou não alcançar plenamente (LAKATOS, 1993).

O ponto-chave é que está em questão processos dinâmicos complexos e não uma simples adição de conhecimentos que supõe sua ordenação, preservação e difusão por repetição.



AS EVIDÊNCIAS DA DERIVA

Wegener construiu sua teoria para explicar porque alguns continentes se encaixavam. Os contornos da América do Sul e África, e da Europa e América do Norte eram muito semelhantes para ser apenas uma coincidência. Wegener afirmava que os continentes tinham estado unidos e se separaram, resultando em formas que se encaixam, em tempos geológicos relativamente recentes. Discrepâncias menores resultariam de deformações durante a ruptura e incertezas sobre os contornos das plataformas continentais. (Wegener baseou sua reconstrução nas bordas das plataformas continentais, vez que é sabido que as linhas de costa mudam devido a flutuações do nível do mar e/ou erosão)

O encaixe dos continentes foi notado antes, mas Wegener encontrou argumentos abundantes para sua idéia através de uma vasta pesquisa na literatura geológica. As seqüências estratigráficas da América do Sul e África eram muito similares durante o Mesozóico. Do mesmo modo, complexos ígneos e estruturas apresentavam continuidade quando os continentes se encaixavam. Continuidades comparáveis eram observadas quando se unia a América

do Norte à Europa, e a África com a Índia. Estes fatos podiam ser usados para determinar a cronologia dos episódios de "junção" e "quebra" continentais, permitindo reconstruir a história da Terra.

A idéia de Wegener explicava também os dados paleontológicos. Em 1850, o zoólogo britânico Sclater, notou que a ilha de Madagascar não possuía os animais mais comuns da África (macacos, leões, girafas...), mas sim numerosas espécies de lêmures, um animal comum também na Índia. Além disso, alguns lêmures de Madagascar eram quase idênticos a alguns dos tipos encontrados na Índia. Para explicar este fato, Sclater postulou a existência de um continente afundado: a Lemúria. O advento da teoria da evolução de Darwin (1860) alimentou esta idéia. Os lêmures eram muito similares para terem evoluído independentemente. Paleontólogos estabeleceram similaridades faunais em continentes atualmente separados por oceanos: Austrália e Índia, África e Brasil. Estas similaridades foram usadas por Suess como argumento para a idéia dos continentes afundados, e o levaram a postular a existência de um supercontinente anterior: o *Gondwanaland*.



Wegener apontou também outras evidências que indicavam que alguns continentes estavam juntos: a flora *Glossopteris*, répteis Mesosaurídeos, a distribuição dos marsupiais, etc. A distribuição certas espécies de minhocas parece ser bastante significativa, vez que elas não nadam, nem voam, nem têm ovos resistentes, mas são encontradas apenas nas zonas costeiras de cada lado do Atlântico.

As associações fossilíferas sugerem que o clima da Europa era mais quente no início do Terciário que atualmente. Por outro lado, no Permiano, temos depósitos glaciais na África do Sul, enquanto que na Europa desenvolvia-se uma luxuriante vegetação, indicando mudanças climáticas não explicadas pelas Teorias Fixistas. O meteorologista Wegener sabia que existem várias causas possíveis para mudança de clima, mas argumenta que, sendo a latitude o controlador predominante do clima moderno, a deriva latitudinal seria a melhor explicação para estas mudanças.

DERIVA versus PERMANÊNCIA

Wegener ficou impressionado pela aparente unanimidade dos paleontólogos a respeito das "antigas conexões" (pontes)

entre os continentes. Os geofísicos, por seu turno, não concordavam com o "afundamento" de continentes. Aí se configurava um dilema:

A teoria da isostasia prova a impossibilidade de considerar o soalho oceânico atual como continentes afundados...(e) "a "teoria da Permanência" nos parece a conclusão lógica, a partir do nosso conhecimento geofísico, sem considerar, é claro ... a distribuição dos organismos. Então temos o estranho espetáculo de duas teorias contraditórias sobre a configuração pré-histórica da Terra sendo sustentada simultaneamente - na Europa, uma adesão quase universal à idéia de Pontes Continentais; enquanto que na América, todos aderiram à teoria da permanência de bacias oceânicas e blocos continentais.

Respondendo, Wegener afirmava que os continentes atuais são os únicos que sempre existiram, mas eles se movimentaram horizontalmente. Com suas palavras (WEGENER, 1966):

"Este é o ponto de partida da Teoria da Deriva ou Movimento. A suposição "básica óbvia" comum às teorias das pontes continentais e da permanência - que a posição relativa dos continentes, sem



considerar suas coberturas variáveis e águas rasas, nunca se alterou - deve estar errada. Os continentes devem ter se deslocado... Houveram "conexões de terra", mas formadas pelo contato entre blocos atualmente separados, mas não por meio de continentes que posteriormente afundaram; há permanência, mas na área do oceano e na área do continente como um todo, mas não para oceanos ou continentes individuais"

Wegener entendeu que ele estava propondo uma teoria de Tectônica, isto é, de movimentos da crosta terrestre, incluindo de formação de montanhas. O livro de Wegener começa com um ataque à Teoria de Contração da Terra. A descoberta do calor radiogênico fê-lo assumir como falsa, a antiga premissa de que a Terra estava esfriando. Com uma fonte interna perpétua de calor, a Terra estaria em equilíbrio térmico, ou talvez até se aquecendo. Assim, a contração termal não podia mais ser considerada como "motor" da tectônica. Movimentos horizontais teriam que ocupar este lugar. O que fosse que causava o movimento dos continentes, formaria também as montanhas:

"As forças que deslocam os continentes são as mesmas que produzem as

grandes cadeias de montanhas dobradas.

Deriva continental, falhas e compressões, terremotos, vulcanismo, ciclos transgressivos, deslocamento dos polos, estão, sem dúvida, relacionados às mesmas causas. A intensificação destes fenômenos em certos períodos da história da Terra, mostra que isto é verdade. Mas, o que é a causa e o que é efeito, apenas o futuro irá revelar (WEGENER, 1966)."

Diferentemente dos modelos de Suess e de Dana, a teoria de Wegener podia explicar montanhas nas bordas de um continente ou mesmo no interior dele. A teoria da deriva previa que montanhas podiam se formar nas bordas de blocos continentais, mas podiam ser encontradas dentro dele, onde resultavam do amalgamento de dois blocos que colidiram. Conseqüentemente, as montanhas no interior dos continentes deviam ser mais antigas que as das suas margens. A teoria também previa que as similaridades estratigráficas e fossilíferas estariam restritas às épocas geológicas nas quais os continentes estavam reunidos, e finalizariam, de modo relativamente brusco, quando eles se separassem.

Uma conseqüência imediata da teoria da deriva era que se os continentes se



movimentaram no passado, eles devem estar se movimentando hoje. Wegener acreditava que teria evidências destes movimentos a partir de medidas feitas por diferentes observadores em expedições na Groenlândia (1823, 1879 e 1907), que teriam revelado um deslocamento ativo da ilha para oeste. O próprio Wegener calculou os seguintes deslocamentos (WEGENER, 1966): de 1823 a 1870 - 420m (9m/ano); de 1870 a 1907 - 1190m (32m/ano)

Ele utilizou o tempo de transmissão de ondas de rádio para medir os deslocamentos, mas não discutiu as grandes diferenças encontradas, nem a relativa precisão dos dois métodos utilizados (a velocidade das ondas de rádio dependem das condições meteorológicas). Em 1930 ele retornou para a Groenlândia para tentar esclarecer estas ambigüidades e confirmar o deslocamento horizontal, mas morreu durante esta expedição.

A teoria da Deriva Continental tem 3 pontos em comum com a moderna tectônica de placas: 1) a premissa fundamental da mobilidade horizontal dos fragmentos da crosta terrestre; 2) reconhecimento das diferenças entre crosta continental e oceânica; 3) suposição de uma relação de causa entre os movimentos horizontais e a

formação de cadeias de montanhas. Mas existem também diferenças: os continentes se movimentavam independentemente da crosta oceânica; e a teoria da Deriva não explicava como era formada a crosta oceânica.

A REJEIÇÃO DA DERIVA CONTINENTAL

A teoria da deriva continental apresentou uma possível solução para um antigo problema geológico, a formação das cadeias de montanhas. Ao contrário da teoria da contração, a Deriva Continental poderia conciliar as visões conflitantes dos geofísicos e paleontólogos, e unificar uma vasta gama de observações estratigráficas e paleoclimáticas. Além disso, a deriva não estava relacionada a qualquer teoria de origem da terra. Apesar disso, ela foi rejeitada pela comunidade geológica nos anos 20 e 30.

A explicação usual para a rejeição foi resumida por Press & Siever (1974 *apud* HALLAM, 1985):

"O problema com a deriva foi que seus proponentes não apresentaram nenhum "motor" (ou mecanismo) plausível para explicar o movimento dos continentes".



Mas esta argumentação não resiste a uma análise mais profunda, pois muitos fenômenos científicos empíricos foram aceitos antes que suas causas fossem conhecidas. As glaciações, cavalgamentos alpinos e inversões do campo magnético, são exemplos disso.

Longwell (1920 *apud* HALLAM, 1985) argumentou que as evidências eram convincentes, então "os geólogos deviam se contentar em aceitar o fato do deslocamento, e deixar a explicação para o futuro". Exatamente o que aconteceu durante os anos 60: "A aceitação popular da Tectônica de Placas não é baseada no conhecimento do mecanismo que movimenta as placas". Outros, acham que a falha estava na ausência de uma adequada base mecânica: "a deriva foi rejeitada porque ninguém visualizava um mecanismo físico que permitisse aos continentes "deslizar" sobre a crosta oceânica aparentemente sólida".

A teoria de Wegener supôs um mecanismo concebível, que já tinha sido invocado em outras circunstâncias. Ele argumentou que o substrato basáltico sobre o qual estão os continentes, poderia se comportar como um líquido viscoso no tempo geológico, como o vidro pode fluir se sujeito a pequenas tensões durante tempo

suficiente. Este conceito era inerente à teoria da isostasia, desde que continentes só poderiam flutuar se o substrato no qual estavam apoiados se comportasse como um fluido. No final do século 19, a isostasia foi usada para explicar o levantamento da península escandinava. Diante disso Wegener argumentou que se os continentes podem se movimentar verticalmente, eles também poderiam se movimentar horizontalmente. Assim, o problema de Wegener não era se o substrato poderia se comportar da maneira requerida, mas se as forças disponíveis eram suficientes para impulsionar os continentes através dele.

Em seu livro, Wegener propôs que a fricção tidal e efeitos de gravidade diferencial resultantes de pequenos anomalias da forma da Terra, poderiam causar os movimentos dos continentes. A maioria dos geólogos consideravam estas forças muito fracas. Holmes (1929 *apud* HALLAM, 1985), lança mão das idéias de Joly (1925 *apud* HALLAM, 1985) sobre fusões periódicas, e propõe um interessante modelo:

"Por razões físicas (isostasia) é impossível se afundar um continente, pelas mesmas razões que não se consegue afundar um iceberg no oceano. Sabemos que locais



de áreas consideráveis no Atlântico e Índico estavam antes ocupadas por massas continentais, e desde que estas massas continentais não estão mais lá, somos conduzidos a pensar que este material se movimentou para o lado. Estruturas de cavalgamento alpino também são evidências de movimentos laterais. ... Movendo-se de volta os continentes nas direções indicadas pelas evidências, teremos a reconstrução de um super-contidente semelhante ao proposto por Wegener. Disto se conclui que existem agora evidências convincentes de uma antiga deriva continental, numa escala prevista por Wegener".

Muitos geólogos hesitam em aceitar esta inquestionável e consistente interpretação das rochas, porque não se acredita ser possível se descobrir qualquer força gravitacional adequada para mover fragmentos continentais... Admitindo que os continentes se movimentaram, parece não haver outra alternativa senão deduzir que correntes lentas mas poderosas devem ser originadas em subsuperfície, várias vezes durante a história da Terra... estas correntes de convecção podem ser geradas nas camadas inferiores, como resultado de aquecimento diferencial provocado por radioatividade.

Entre 1925 e 1933, Holmes publicou uma série de artigos, desenvolvendo seus conceitos e integrando-os a uma teoria de tectônica e petrogenética (HELLMAN, 1999). Nesta teoria ele explicava diversos fenômenos tais como a origem das bacias oceanicas e a formação de rochas de alta pressão, como os eclogitos. Ele escreveu:

Os locais onde correntes ascendentes existem, se formariam bacias disruptivas (resultantes de esforços distensivos). Nestes locais a concentração de calor resultante do processo (de convecção) seria "descarregada" através do desenvolvimento de um novo soalho oceânico... Enquanto isso, a formação de montanhas estaria ocorrendo nas margens continentais ou em locais onde antigos geossinclinais se desenvolveram... A compressão das partes mais móveis do substrato para formar magmas crustais é uma saída atraente que abre novas perspectivas em petrogênese, e para explicar a origem dos basaltos.

Por volta de 1929, 3 poderosas teorias, a do "deslizamento gravitacional" de Daly, a da "Fusão subcrustal" de Joly, e a "convecção sub-crustal" de Holmes foram desenvolvidas para explicar a cinemática da Deriva. Todas eram consistentes com as propriedades físicas conhecidas da Terra.



Mas nenhuma destas teorias foi concebida como um ajuste/explicação para a teoria de Wegener. Os trabalhos de Joly não tinham relação com a Deriva. O modelo de Daly visava os Apalaches, enquanto que a teoria de Holmes derivou de estudos sobre a radioatividade. A Teoria da Deriva Continental não caiu por falta de um mecanismo!

RAZÕES ALTERNATIVAS PARA A REJEIÇÃO DA DERIVA

Alguns dizem que a comunidade geológica não estava preparada para aceitar este tipo de modelo. A evidência histórica sugere o inverso. A queda da teoria da contração face à geração de calor pela radioatividade, o conflito entre isostasia e as "pontes continentais", e a controvérsia que a teoria de Wegener causou, mostram que já haviam condições para a aceitação de uma nova teoria.

Outra possibilidade: a falha estaria no próprio Wegener, ou seja, que suas deficiências como cientista resultaram no descrédito de sua teoria. Ele era constantemente criticado por sua falta de objetividade. Não há dúvidas de que Wegener muitas vezes se expressava de

modo despreocupado e sem as devidas precauções. Mas uma linguagem enfática caracterizou os dois lados das discussões, como também iriam caracterizar as discussões sobre Tectônica de Placas, anos mais tarde. As contribuições de Wegener na Meteorologia e Geofísica eram largamente reconhecidas; sua morte foi registrada na revista Nature como uma "*grande perda para a ciência*".

A causa mais provável para a rejeição da deriva continental parece estar nas evidências colocadas para sustentá-la. Esta possibilidade tem sido ignorada, pois consideramos as evidências levantadas por Wegener e sua interpretação como "*corretas*", porque elas foram validadas pela teoria das Placas Tectônicas. Uma comparação dos anos 20 e os anos 60 revela um fato importante: a Tectônica de Placas foi fundamentada a partir de evidências completamente diferentes daqueles utilizados para a Deriva. Isto sugere que a diferença essencial entre Deriva e a Tectônica de Placas não está nas teorias em si, mas nas evidências usadas para sustentá-las.

Muitas discussões foram centradas na validade de homologias geológicas (HALLAM, 1985). Evans, do Imperial



College, confirmou a existência de "similaridades bem conhecidas de formações geológicas em lados opostos dos oceanos". Wright colocou que a Deriva poderia explicar porque "uma comparação crítica das formações dos dois lados do Atlântico Norte mostra uma notável correspondência, tanto estratigráfica como paleontológica, desde o Arqueano até o Cretáceo (HALLAM, 1985). A teoria fornece ainda "uma explicação simples para problemas não resolvidos sobre a glaciação permo-carbonífera". Apesar destes e de muitos outros depoimentos, ninguém sugeriu ou afirmou que a teoria tinha sido provada. As homologias eram descritas como "evidências melhores que as esperadas....

Na reunião da AAPG, o problema sobre o mecanismo da Deriva foi levantado por um participante, o geofísico Harold Jeffreys, que comentou que "a força rotacional considerada para explicar os movimentos dos continentes, era muito pequena e insuficiente para produzir a deformação das cadeias de montanhas do Pacífico". Mas sua argumentação foi insuficiente para demover os geólogos.

Alguns outros cétricos levantaram ambigüidades e contradições em relação às

evidências: os continentes não se encaixam exatamente como peças de um quebra-cabeças, as reconstruções de Wegener explicam os depósitos glaciais do hemisfério sul mas não alguns depósitos de tilito; a flora *Glossopteris* não estava totalmente reunida... Alguns ponderaram que "se os continentes se moveram, muitas dificuldades desapareceriam". Um deles afirmou, com evidente ambigüidade (HALLAM, 1985):

"Wegener prestou um valioso serviço, chamando a atenção ao fato de que massas continentais podem ter se movido em relação umas às outras. Ele não provou que elas se moveram, e muito menos mostrou que elas se moveram do modo que ele imagina. Ele sugeriu muito mas não provou nada".

Anos depois, em 1930, Joly e Holmes responderam às objeções de Jeffreys num simpósio da Royal Society sobre paleoclimas. Eles concluíram que "grandes mudanças de temperatura média anual só podem ser causadas por movimentos da crosta em relação aos pólos, do modo descrito por Wegener". Depois disso, a teoria da Deriva parece ter sido progressivamente abandonada na Inglaterra. Holmes continuou advogando a Deriva como uma hipótese altamente provável, mas



não provada. Muito pouco foi acrescentado até o súbito desenvolvimento da ciência do paleomagnetismo nos anos 50.

A RESPOSTA AMERICANA PARA AS EVIDÊNCIAS

Nos Estados Unidos a reação à teoria de Wegener foi quase totalmente negativa. Durante um Simpósio promovido pela A.A.P.G., ele foi criticado por motivos geológicos e metodológicos. Apenas alguns poucos cientistas de origem européia, demonstraram simpatia pela teoria. A objeção mais comum levantada pelos americanos foi a ausência de um mecanismo adequado para explicar o movimento dos continentes (daí se entende porque, tanto os geólogos como os historiadores deram tanta ênfase a esta objeção!).

Foi argumentado que "*continentes rígidos se deslocando sobre um substrato fluido deveriam deformar o substrato, e não os continentes; então, não poderia ser este o mecanismo de formação de cadeias de montanhas continentais*". Daly respondeu a esta objeção lembrando que eram os sedimentos adjacentes aos continentes que eram deformados para formar as montanhas.

Outros criticaram as reconstruções

preconizadas por Wegener, argumentando que o encaixe dos continentes não era tão bom quanto Wegener pretendia; outros, ao contrário, levantaram que falhamentos durante a quebra/separação dos continentes e erosão das costas teriam modificado consideravelmente os seus contornos (de modo que o encaixe estaria bom demais). Uma declaração de Schuchert é bem representativa desta corrente:

Wegener...nos quer fazer acreditar que as linhas de fratura originais praticamente teriam conservado sua forma geográfica original durante 120 milhões de anos. Existe algum geólogo que subscreveria esta surpreendente afirmação?

Enquanto os britânicos debatiam se os dados se encaixavam na teoria (e em muitos casos isto aconteceu), os americanos questionavam sobre qual o tipo de dados eram necessários. Uns procuravam similaridades dos contornos dos continentes, outros procuravam diferenças. Enquanto os britânicos discutiam se a teoria preenchia suas previsões, os americanos discutiam quais eram estas previsões. Para os americanos, as consequências da Deriva e as homologias geológicas (similaridades de padrões e formas baseados na observação direta das rochas no campo) eram temas de



controvérsia. Os britânicos consideravam a correspondência dos fósseis "tão boa quanto podia se esperar", mas o quanto era este "tão boa"? Segundo Schuchert as similaridades faunais eram muito poucas para que se afirmasse que os continentes estiveram unidos algum dia. Wegener responde que isto era consequência da preservação incompleta do registro fóssilífero. Este era um argumento familiar na comunidade geológica, ao qual os britânicos aderiram baseados em sua experiência, mas os americanos continuavam a debater. As evidências homológicas, que os britânicos achavam "*praticamente requerer*" a deriva, não eram convincentes para os americanos, que as descartavam como "*circunstanciais*", não constituindo uma "*prova direta*".

Entre os frequentes e emocionados ataques à metodologia e objetivo de Wegener, temos:

"Minha principal objeção à hipótese de Wegener está baseada no método do autor. Em minha opinião este método não é científico, mas toma o familiar caminho de uma idéia inicial, busca seletiva de evidências concordantes na literatura, ignorando a maioria dos fatos que se opõem à idéia, e terminando num estado de auto-intoxicação, no qual a idéia subjetiva passa

a ser considerado um fato objetivo. Se tivermos que acreditar na hipótese de Wegener, teremos de esquecer tudo o que tem sido aprendido nos últimos 70 anos e começar tudo de novo".

Nos anos que se seguiram, as teorias fixistas continuaram em voga. Outros insistiam nas "*pontes continentais*". Em muitas Universidades americanas a Deriva se tornou alvo de piadas de salas de aula, ou considerada um "*conto de fadas*". Talvez traduzindo um sentimento anti-germânico, existente entre as duas guerras.

Porque os americanos eram mais céticos que os ingleses em relação às homologias, e muito mais preocupados com argumentos geofísicos sobre a dinâmica e cinemática da deriva? Quatro possibilidades se apresentam:

- 1) No início do século 20, os americanos estavam profundamente envolvidos numa rápida expansão da geofísica e na aplicação de técnicas instrumentais às geociências. A instrumentação tomou uma significativa porção das geociências americanas.
- 2) Os geólogos americanos tinham menos experiência em raciocínio envolvendo evidências geológicas tradicionais, que os ingleses. Nas universidades e entre os "patrões" da ciência americanos, a História



Natural era considerada inferior às ciências práticas.

3) A maior parte das evidências estratigráficas e paleontológicas resultaram de estudos de campo realizados na África, América do Sul e Índia. Por interesses da Coroa Britânica, os geólogos ingleses conheciam estes lugares bem melhor que os americanos. A deriva foi quase que imediatamente aceita pelos ingleses

4) O principal problema para os americanos eram os dados paleontológicos e outras homologias geológicas. Mas a paleontologia nunca foi valorizada nos Estados Unidos, pelo contrário era sempre alvo de controvérsia.

DA DERIVA DOS CONTINENTES A TEORIA DA TECTÔNICA DE PLACAS

As primeiras idéias relacionadas com a Teoria da Tectônica de Placas remontam séculos antes de sua consolidação e aceitação na comunidade científica, onde várias controvérsias surgiram e persistiram até o séc. XX, mesmo após tantas descobertas científicas e avanços tecnológicos terem servido de apoio para a TTP. Nas tabelas e nos textos a seguir, baseada em HALLAM (1985), WYLLIE (1995), SALGADO-LABORIAU (1996) e Hellman (1999), tem-se uma breve história de como esta teoria evoluiu até o momento atual.



Tabela 1 – História das teorias e fatos científicos afins com a TTP; dados baseados em HALLAM (1989) e SALGADO-LABORIAU (1996).

Autor	Descobertas
Francis Bacon (1620)	Em sua obra, <i>Novum Organum</i> , sugere um ajustamento da costa oriental da América do Sul com a costa ocidental da África.
François Placet (1666)	Em sua obra, <i>La Corruption du gran et petit Monde</i> , defendeu que, antes do Dilúvio bíblico, as terras deveriam estar unidas, separando-se a partir do momento em que houve o afundamento da Atlântida e um continente ocidental ergueu-se ou formou-se pela aglomeração de ilhas.
Alexander de Humboldt (1801)	Observou o mesmo ajuste dos continentes Africano e Sul-americano que Bacon já observara; concluiu que o oceano Atlântico correspondia a um extenso vale através do qual as águas oceânicas invadiram, sugerindo a separação dos continentes.
Dana (1846)	Em suas observações sobre a ocorrência de sedimentos marinhos nos continentes, geralmente em suas bordas, Dana concluiu que estes seriam depositados durante inundações temporárias do mar sobre a terra, descartando a possibilidade de haver movimentos verticais dos continentes, cujo afundamento explicaria a ocorrência de tais sedimentos.
Antonio Snider-Pellegrini (1858)	Em sua obra, <i>La création et ses mystères dévoilés</i> , descreve que, quando a massa em fusão da Terra se esfriou e cristalizou, os continentes se concentraram em um só lado, criando uma instabilidade que só se equilibrou após o Dilúvio Bíblico, provocando extensas fraturas e separação das Américas em relação ao Velho Mundo. Nesta obra, ele acrescenta o ajustamento dos continentes Africano e Sul-americano.
Osmond Fisher (1879)	Em sua obra geofísica, <i>Physics of the Earth's crust</i> , subsidiada pela idéia de Sir George H. Darwin afirma sobre a origem da lua a partir da Terra no início da sua história, resultando nesta uma gigantesca cicatriz no Pacífico; como consequência, a crosta continental resfriada, se fragmentaria e deslocaria lateralmente. O mecanismo de deslocamento seria um interior da Terra fluido cujas correntes de convecção ascendiam debaixo dos oceanos e desciam sobre os continentes.
Taylor (1910)	Em sua monografia, Taylor relatou diversas correlações de feições geológicas e geomorfológicas entre os continentes, descrevendo os possíveis movimentos que justificassem tais feições. O seu ponto de partida foi o trabalho de Suess sobre as cadeias de montanhas terciárias da Eurásia cuja origem estaria associada a compressões continentais e afundamentos oceânicos.

Os principais fatos científicos que levaram a formulação e consolidação da

Teoria da Tectônica de Placas, são relacionados na tabela a seguir:



Tabela 2 – Fatos científicos que fundamentaram a Teoria da Tectônica de Placas; dados de HALLAM (1985), WYLLIE (1995), SALGADO-LABORIAU (1996) e HELLMAN (1999).

Período	Evento
1930 a 1950	<p>Arthur Holmes propõe um modelo de estrutura interna da Terra mais condizente com as descobertas científicas da época, com auxílio do método radiométrico para datação de rochas que ele desenvolvera em 1911. O empenho de Holmes também se deu na investigação do mecanismo de movimentação dos continentes, retomando as correntes de convecção do manto, já propostas anteriormente por Fisher. O coroamento de todo trabalho de Holmes se deu com a sua publicação <i>Principles of physical geology</i>, em 1965.</p> <p>O geólogo sul-africano, Alexander Du Toit, ficou conhecido principalmente pela sua obra <i>Our wandering continents</i>, em 1937, tendo anteriormente, em 1927, sido fonte de dados para Wegener sobre as correlações entre a geologia Paleozóica e Mesozóica da África do Sul e do leste da América do Sul.</p>
1950 e 1960	<p>Bullard e Elsaser elaboram teoria do campo geomagnético da Terra a qual funciona como um dínamo auto-induzido cuja fonte se deve ao conteúdo em ferro do seu núcleo. Cox, Tarling e McDougall contribuíram com a interpretação das inversões das polaridades geomagnéticas, descobertas por Vine e Matthews, em 1963.</p> <p>Heezen, Swallos e Ewing, entre outros, mapearam através de métodos sísmicos e gravimétricos, a topografia e a geologia do assoalho oceânico, descobrindo feições importantes que registravam a movimentação dos continentes.</p> <p>Mohorovicic e Gutenberg identificaram descontinuidades entre as camadas internas da Terra (crosta, manto e núcleo) através de métodos sísmicos, delimitando-as com maior precisão.</p>
Década de 1960	<p>Uma hipótese sobre a Expansão do Assoalho Oceânico é proposta por Dietz, publicada em 1961, na <i>Nature</i>, onde a idéia de uma crosta oceânica se reciclando justificaria os dados geológicos e geofísicos encontrados até o momento. Mas coube a Hess cujo trabalho se mostrou mais amplo e melhor articulado, a fama pela hipótese. As anomalias gravimétricas negativas encontradas nas fossas oceânicas por Meinesz, despertaram a curiosidade de Hess, levando-o a propor tal hipótese. Com a contribuição de Vine, Matthews, Cox e outros, sobre a inversão de polaridade das anomalias magnéticas associadas às cadeias mesoceânicas e com dados geocronológicos, Hess conseguiu resolver alguns problemas pendentes do trabalho que realizou.</p>
1965	<p>J. Tuzo Wilson publicou um artigo na <i>Nature</i>, no qual estabeleceu que os movimentos dos continentes se orientavam de acordo com grandes estruturas da crosta, tais como cadeias de montanhas, as cordilheiras mesoceânicas e falhas. Estas últimas foram alvo especial de estudo, onde Wilson conceituou as chamadas falhas transformantes que cortam transversalmente as cordilheiras mesoceânicas. Wilson define o termo placas relativo ao movimento dos continentes.</p>
1968 a 1970	<p>Com o financiamento da Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos, cumprindo um programa denominado <i>Joint Oceanographic Institutes Deep Earth Sampling Programme</i> (J.O.I.D.E.S.), um navio contendo equipamento de perfuração, o <i>Glomar Challenger</i>, iniciou uma série de expedições multinacionais. Cada um dos vários dados obtido, veio a corroborar com a hipótese de Hess, sobre a Expansão do Assoalho Oceânico, passando a ser considerada como teoria.</p>
1967 e 1970	<p>A Teoria da Tectônica de Placas é apresentada num encontro da American Geophysical Union por Jason Morgan com auxílio de Vine e é aceita na comunidade científica.</p>



De acordo com ANGUIITA (1996), a Tectônica de Placas auxiliou de forma recíproca, na melhor definição da estrutura interna da Terra, onde os dados geofísicos estabeleceram que a movimentação se dava entre uma camada externa denominada litosfera, constituída de crosta mais a porção superior do manto e a astenosfera, camada imediatamente inferior e localizada no manto. A litosfera é composta por placas como num mosaico que se articulam de acordo com os tipos de interação: construtivas, onde crosta oceânica se forma nas dorsais; destrutivas, nas zonas de convergência das placas, havendo choque de placas, com subducção de uma destas, isto é, afundamento de uma placa sob outra; conservadora, que é o tipo de interação onde as placas deslizam uma em relação à outra através de falhas transformantes.

Não existe dúvida para os geofísicos, de que o manto possui algum tipo de circulação térmica do tipo convectiva. Através de um grande projeto da geofísica européia recente, o *Geotransversal Europeu*, que consistiu num perfil tomográfico desde o Cabo Norte até o Mediterrâneo, tendo a região da Escandinávia como exemplo, concluiu-se que a tal zona plástica necessária para sustentar os movimentos

isostáticos e da tectônica das placas existe mas não como uma camada contínua e uniforme como era descrita a astenosfera e sim, como diferenciadas áreas mantélicas com profundidades diferentes e podendo ter influência do calor gerado pelo núcleo. Assim, definiu-se mais tarde, as chamadas plumas térmicas que não mostram relação com as correntes de convecção mas com calor do núcleo e material ejetado da base do manto, gerando os pontos quentes (*hot spots*).

Estes questionamentos se estenderam também para as zonas das dorsais mesoceânicas onde por uma questão geométrica e geofísica, observou-se que as correntes de convecção também não sustentariam os movimentos de expansão associados às falhas transformantes. Este seria o caso das placas Sul-americana e Africana onde as porções litosféricas de natureza oceânica não são subducionadas sob as porções de natureza continental, categorizando tais limites continentais como margem continental passiva; alega-se então que os movimentos são gerados pelo processo de advecção, isto é, por geração de calor adiabático quando a crosta se fratura, rebaixando a pressão e causando a fusão parcial a uns 60 a 80 km de profundidade.



Uma outra visão ortodoxa na Teoria da Tectônica de Placas estava na questão de que a porção continental da placa litosférica não se subducionava por constituir de material menos denso do que o seu substrato mantélico. Observando a mineralogia de algumas rochas localizadas em orógenos (por exemplo, nos Alpes), encontrou-se minerais que para se formarem, necessitariam de altíssimas pressões só disponíveis em profundidades da ordem dos 100 km. Assim, o único mecanismo para a formação destes minerais nos orógenos seria, anteriormente, haver subducção de parte da crosta continental, tendo sido soerguido mais tarde pelo efeito do próprio choque no processo de convergência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do fixismo a Teoria da Deriva dos Continentes

A falta de uma perspectiva integrada (visão holística da natureza) e o predomínio de uma visão setorial limitada à certas áreas particulares das Ciências da Terra alimentaram esta discussão. A Teoria da Deriva dos Continentes não tinha antecedentes e estava de acordo com os

resultados obtidos pela investigação científica em diversas áreas.

A Teoria da Deriva dos Continentes congrega grande número de conhecimentos relativos a isostasia e a radioatividade, indo ao encontro de soluções para diversos problemas ainda não resolvidos e apresentando a possibilidade de poderiam se confirmar no futuro (POPPER, 1992).

Uma "nova era" da geologia se anunciava, não pela elucidação da causa do movimento dos continentes, nem pelo mecanismo pelo qual ele ocorre, mas pela disponibilidade de um novo tipo de evidência. "Um passo básico em todo trabalho científico, mas raramente discutido, é o processo de remover o discurso do nível pessoal para chegar a conclusões que não variem em função do indivíduo que observa". Qualquer um que tenha feito trabalhos de campo em Geologia ou tentou descrever um fóssil, sabe como é difícil chegar a uma descrição que não "dependa do observador". Apelar para instrumentos é uma tentativa de se remover as opiniões pessoais. Assim, a rejeição da Deriva Continental foi uma rejeição de evidências dependentes-do-observador, apesar da força dessas evidências. A rápida aceitação da Tectônica de Placas foi uma afirmação de



um tipo de dado despersonalizado, o qual, porém, conduziu ao mesmo resultado que as evidências rejeitadas.

Contribuições das controvérsias

À luz de uma epistemologia racionalista, contribuem para a construção do conhecimento um conjunto diversificado de aspectos internalistas e externalistas, os quais poderiam ser citados (MARQUES, 1996):

(a) Discussão Interdisciplinar:

Durante este amplo período da controvérsia sobre a Deriva, dois pontos foram importantes no que diz respeito às diferentes áreas de conhecimento envolvidas:

(1) os geólogos estavam preocupados com o conhecimento local (interpretados à luz do Uniformitarismo) e menos interessados em explicações globais (WINDLEY, 1993) o que criava conflito com especialistas de outros domínios e entre eles próprios; e
(2) os geólogos estavam "competindo" com geofísicos e paleontólogos argumentando com especialistas de geologia estrutural. Por exemplo, no começo do século, os geofísicos apesar de apoiar a isostasia, não concordavam com o deslocamento dos

continentes (THOMPSON, 1991).

(b) Relevância das Relações Pessoais

Se é verdade que as teorias se desenvolvem segundo "programas de investigação", também vale a pena ressaltar o importante papel desempenhado pela cooperação entre grupos de pesquisadores. Isto mostra a forte conotação social para a construção do conhecimento científico KUHN (1970).

(c) Papel Relevante do Desenvolvimento Tecnológico

O aparecimento "tardio" da Teoria da Tectônica de Placas está diretamente relacionado ao desenvolvimento tecnológico de: metodologias de trabalho de campo para estudo dos fundos oceânicos; da melhoria da sensibilidade dos gravímetros, magnetômetros, sismógrafos com aperfeiçoamento do registro das ondas sísmicas; das novas técnicas radiométricas (K-Ar); de espectrômetros de massa (isótopos) mais precisos e da construção de uma escala de tempo magnética.

(d) Importância da Linguagem e Significado da Comunicação

Desenvolver hábitos de comunicação



é importante para qualquer cientista. Wegener escreveu em alemão, o que constituiu um obstáculo a difusão e interpretação dos seus pontos de vista. Quando se recorda da visão Kuhniana de "revolução científica", aceita-se que novas e velhas teorias exigem uma "tradução" das suas "linguagens" usadas para serem comparadas (KUHN, 1970).

A Importância Didática

Como ferramenta para determinação de obstáculos epistemológicos : significa terminar com a repetição de informações que não podem ser compreendidas pelo aluno, permitindo a realização de um trabalho cognitivo para superar os obstáculos da aprendizagem (CELINO, 1994). Quais? Os obstáculos lógicos (psicologia genética), obstáculos derivados de problemas afetivos ou psicológicos, desvalorização do aluno (psicanálise) e os obstáculos derivados da estrutura do sistema cognitivo ou obstáculo epistemológico, ou seja, a incapacidade de construir um novo conhecimento e necessariamente lógica, afetiva e epistemológica, pois não se pode separar esses três níveis.

A escola/universidade já não é "o

lugar onde se aprende ciência", mas sim "o lugar onde se transforma o sistema cognitivo para poder aprender ciência". Superar esse obstáculo requer conhecer bem a ciência que se ensina e, também, conhecer sua história.

Para definir os conteúdos dos cursos: um ensino fundamentado nos conceitos estruturais reduz os temas a ensinar e permite dedicar mais tempo ao desenvolvimento da capacidade dos alunos. Os conceitos estruturais devem ser determinados a partir da análise das teorias científicas atuais e de sua história, que permite visualizar sua transformação, a elaboração de novas teorias, a utilização de novos métodos e novos instrumentos conceituais. Desta forma, os alunos "descobrem novos problemas a resolver" quando constroem certos conceitos e esses problemas os motivam a seguir aprendendo (CELINO, 1997).

Utilizando a história da (Geo)Ciência e a ciência da Epistemologia: isso permite introduzir na classe a discussão sobre a produção, a apropriação e o controle dos conhecimentos (CELINO, 2000). Então, não será mais um conteúdo e sim um instrumento para compreender a sociedade humana, os mecanismos de produção e de reprodução social e individual de



conhecimentos e técnicas de transformação da natureza. Desenvolve-se, assim, a relação aluno - aluno, aluno - sociedade, ...

É importante que os alunos tomem consciência de que reproduzem conhecimento já elaborado socialmente, porém num processo de reconstrução. É nesse sentido que a história da ciência e a Epistemologia permitem ver as diferenças entre os processos individuais e os institucionais de construção de conhecimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGUITA, F. La evolution de la tectónica de placas: el nuevo interior de la tierra. Enseñanza de la Ciencia de la Tierra, 1996, vol. 3.3, pg. 137-148.
- CELINO, J.J. Em Busca do Elo Perdido para Construção Crítica do Conhecimento Geológico: A Dinâmica Pedagógica no Ensino de Geologia Econômica. Monografia de Especialização (inédito). AEAG-IG-UNICAMP. 113p. 10 anexos. (1994).
- CELINO, J.J. Diagnóstico general de los componentes educativos de las geociencias en tercer grado y su influencia en la reforma curricular: estudio de un caso. Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra, Espanha, vol. 5.3, pg. 200-204.(1997).
- CELINO, J.J. A Dinâmica Pedagógica no Ensino de Geologia Econômica na UFBA: Planejamento, Aplicação e Avaliação. Cadernos IG-UNICAMP, vol. 8, no. 1/2. pg. 51-65.(2000).
- HALLAM, A. Grandes Controvérsias Geológicas. Editorial Labor. Barcelona. pg. 29-63; pg. 109-171. (1985).
- HELLMAN, H. Grandes Debates da Ciência: Dez das maiores contendas de todos os tempos. Trad.: José Oscar de Almeida Marques. São Paulo; Ed. UNESP. pg. 183 - 203. (1999).
- KUHN, T.S. The Structure of Scientific Revolution. University of Chicago Press. 280p. (1970).
- LAKATOS, I. La metodología de los programas de investigacion científica. 2a ed. Alianza Editorial. Madrid. 170p. (1993).
- MARQUES, L. Construcción del conocimiento científico. Algunos ejemplos de Geociencias. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 4.1, pg. 4-12. (1996).
- POPPER, K. R. Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge. London. Routledge and Kegan Paul Ed. 235p. (1963).
- POPPER, K.R. O Realismo do Objectivo da Ciência. 2a Ed. Publicações Dom Quixote. Lisboa. 155p. (1992).
- PRAIA, J. Formação de Professores no ensino de Geologia: Contributos para uma Didáctica fundamentada na epistemologia das Ciências. O caso da Deriva Continental. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, Portugal. 250p. (1995).
- SALGADO-LABORIAU, M. L. História Ecológica da Terra. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2. ed, (1996).
- SENGÖR, A.M. C. Plate Tectonics and Orogenic Research after 25 Years: A Tethyan Perspective. Earth Science Reviews, 27 pg. 1-201. Elsevier Sc. Pub., Amsterdam. (1990).
- SOUSA SANTOS, B. Introdução a uma ciência pós-moderna. Edições Afrontamento. Lisboa. 305p. (1989).
- THOMPSON, D.B. Plate tectonics - A Revolution in Science. Unpublished course notes. Keele Sc. & Techn. Taechers Centre. 50p. (1991).
- WEGENER, A. The Origin of Continents and Oceans. London, Methuen & Co. Ltd. 120p. (1966).
- WINDLEY, B. F. Uniformitarismo today: plate tectonics is the key to the past. Journal of Geological Society, London. Vol. 150. p. 7 - 19. (1993).
- WYLLIE, P. J. A Terra: Nova Geologia Global. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 3. ed., 1995.