

A CONTROVERSA ACEITAÇÃO DA TEORIA DA TECTÓNICA DE PLACAS À LUZ DAS IDEIAS DE KUHN

ANTÓNIO ALMEIDA

Escola Superior de Educação de Lisboa

Ser científico é, entre outras coisas, ser objectivo e ter espírito aberto. Provavelmente nenhum de nós acredita que o cientista da vida real consegue na prática realizar tal ideal.

Kuhn

INTRODUÇÃO

Quando se aborda a necessidade de todas as pessoas terem uma formação científica básica pensa-se na aquisição de um conjunto de conhecimentos que, pelo seu valor intrínseco, pelo seu significado na história da humanidade, pela sua universalidade, se consideram essenciais para a compreensão do mundo em que vivemos. Contudo, Hodson (1998) defende que a literacia científica implica não apenas uma mas três dimensões fundamentais: **aprender ciência** — adquirir conceitos e conhecimentos teóricos; **fazer ciência** — desenvolver capacidades específicas inerentes ao processo científico, nomeadamente através do trabalho prático; **reflectir sobre a natureza da ciência** — compreender o modo como o conhecimento científico se constrói e as características da sua metodologia. Para este aspecto é fundamental adquirir métodos de análise filosófica e algum conhecimento de História da Ciência.

Se, em Portugal, o domínio da aquisição de conhecimentos sempre foi o objectivo central dos diferentes currículos de ciências, a segunda dimensão só veio a adquirir um peso crescente a partir do início da década de setenta. Assim se explica a valorização que progressivamente foi dada à realização de actividades práticas centradas nos alunos e, por isso, implementadas com finalidade não meramente ilustrativa. Por seu lado, a componente epistemológica tem sido a menos desenvolvida, senão mesmo ignorada, tanto por aqueles que concebem os currículos como pelos autores de manuais escolares. Estes, em geral, limitam-se a oferecer aos alunos dos diferentes níveis de ensino (do 1º ciclo ao superior) uma visão de

ciência (quase) sem História, que ignora tanto o progresso do conhecimento científico como os seus processos de construção.

É certo que, por vezes, surgem nos manuais, em algumas unidades dos diferentes programas das várias Ciências Naturais, concepções e teorias ultrapassadas. Todavia, o modo como são introduzidas e exploradas induzem à consideração frequente de que os nossos antepassados sofriam de uma certa ingenuidade colectiva, já para não referir situações nas quais essas teorias são apresentadas como claro sinal de insensatez, em que concepções desprovidas de cientificidade são contrapostas às ideias actuais, estas sim, “científicas”, verdadeiras e definitivas. Outras vezes, apontam-se percursos para as ideias vigentes que são propositadamente descontextualizados, fragmentam-se e valorizam-se as partes do trabalho que podem ser facilmente consideradas como contribuições do enunciado actual, procura-se acentuar a ideia de que as teorias hoje aceites foram objecto de uma construção lenta mas determinada no caminho da verdade, finalmente alcançada. Como pergunta Deléage (1993), não será este modo de olhar o passado apenas uma forma de dar satisfação aos critérios actuais da “boa” ciência? Ou então, como questiona Gould (1989), esta utilização do passado não visará exclusivamente criar heróis para os nossos propósitos actuais, ignorando a riqueza do pensamento humano ou a pluralidade das formas de conhecimento?

Pensamos que a **reflexão sobre a natureza da ciência** é uma componente da literacia científica que importa valorizar. Ela deve apoiar-se em dois elementos: na história das diferentes ciências naturais, a qual, também ao contrário

do que por vezes parece, raramente foi parcelar¹ e numa dimensão epistemológica que permita tornar mais explícita a ideia de progresso do conhecimento científico, problematizar questões relacionadas com os processos científicos, verificar a aplicabilidade de diferentes modelos de compreensão da ciência propostos por nomes tão diferentes como Popper, Kuhn, Lakatos ou Bachelard. Mas para que tal seja possível, é necessário que, também, os professores tenham tido alguma formação epistemológica. Esperamos que este estudo possa contribuir para mostrar a pertinência deste tipo de abordagens na formação de professores. Abordagens tanto mais importantes quanto elas permitirem contrariar a visão tendencialmente indutivista da construção da ciência encontrada entre os professores (Hodson, 1998).

É nosso objectivo proceder a uma aplicação das teses de Kuhn, expressas principalmente em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, ao domínio da Geologia, ciência à qual este autor apenas faz referências pontuais. Como se sabe, na exemplificação das suas ideias, Kuhn recorre fundamentalmente às teorias da Física e da Química, circunstância a que não é certamente alheio o facto de ter iniciado a sua carreira universitária como físico teórico.

A nossa atenção centrar-se-á na crise relacionada com a aceitação da teoria da deriva continental proposta pelo cientista alemão Alfred Wegener (1880-1930) no início do século XX e cujo desenvolvimento modificado, após uma acesa discussão de cerca de meio século, esteve na origem da posterior teoria da Tectónica de Placas. Esta teoria, que revolucionou as ciências geológicas a partir dos anos sessenta, altura em que foi subscrita por toda a comunidade científica, caracteriza-se pela defesa da tese da mobilidade lateral dos continentes e tem consequências na interpretação de praticamente todos os processos geológicos conhecidos.

Embora, como veremos, as ideias de Kuhn se mostrem especialmente pertinentes para a compreensão desse episódio recente da História da Geologia, tal não significa que não existam aspectos em que essa aplicabilidade se revela discutível.

Por último, e visto que a teoria da Tectónica de Placas é leccionada no Ensino Secundário em “Técnicas Laboratoriais de Geologia” e em “Ciências da Terra e da Vida” (se bem que de forma indirecta), e que a Filosofia da Ciência domina parte do programa de “Introdução à Filosofia”, a presente problematização tem ainda como objectivo contribuir para fomentar a interdisciplinaridade entre estas áreas do saber, num sistema de ensino onde a especialização se agudiza e as articulações entre disciplinas são praticamente inexistentes. Pensamos que algumas das dificuldades sentidas pelos alunos do Secundário em consequência da disciplinaridade estanque que caracteriza os nossos currículos poderiam ser ultrapassadas, visto que passariam a poder abordar alguns assuntos de forma

integrada, apoiados na reflexão epistemológica e na compreensão do desenvolvimento histórico de teorias científicas que lhes são familiares.

CONCEPÇÕES DE KUHN ACERCA DA CONSTRUÇÃO DA CIÊNCIA

Para caracterizar o empreendimento humano que constitui a Ciência, Kuhn considera as seguintes etapas que se desenvolvem ao longo do tempo: pré-ciência - ciência normal - crise/revolução - nova ciência normal - nova crise.

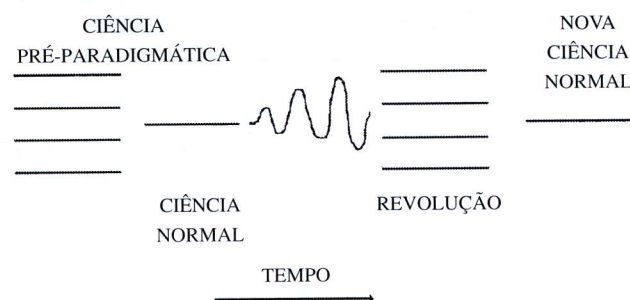


Figura 1. Ideia de Kuhn acerca do modo como a Ciência se constrói (Gieryn, 1989, p. 75).

Esta perspectiva descontinuista implica o entendimento de que qualquer teoria científica é efémera, muito embora o período de tempo durante a qual é aceite (ciência normal) possa ser mais ou menos longo. Daí que, em associação com o conceito de ciência normal, Kuhn tenha avançado com a noção de paradigma. “São paradigmas todas as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (Kuhn, 1992, p. 13). Adoptado por sucessivas gerações de cientistas, o paradigma é adquirido durante a sua formação. É ele que fornece “as regras do jogo, descreve as peças com que se deve jogar e indica o objectivo que se pretende alcançar” (Kuhn, 1979, p. 65). Por outras palavras, um paradigma é uma teoria explicativa, fonte de métodos e técnicas, áreas problemáticas e padrões de solução aceites por uma comunidade científica amadurecida.

Exemplos clássicos, apontados pelo próprio Kuhn, no seio das várias Ciências da Natureza, são os *Principia* e a *Óptica* de Newton, a *Electricidade* de Franklin, a *Química* de Lavosier ou a *Geologia* de Lyell. Segundo Kuhn, os paradigmas constituem uma aquisição tardia no processo de desenvolvimento científico. Na verdade, os primeiros consensos no seio das diferentes ciências da natureza surgem apenas após o Renascimento, ainda que muitos dos problemas científicos que eles vêm teorizar tivessem sido objecto de discussão desde a Antiguidade Clássica.

Desta forma, o estabelecimento do primeiro paradigma numa determinada ciência é sempre precedido de um

período pré-paradigmático (pré-ciência), que se caracteriza por uma multiplicidade de escolas em competição incapazes todas elas de fazerem prova das suas teses e, portanto, de produzirem consensos. No caso da Geologia, segundo Kuhn (1992) a fase pré-paradigmática compreende toda a Geologia Histórica antes de Hutton até ao século XVIII. A constituição do primeiro paradigma fica a dever-se ao contributo de dois geólogos: James Hutton (1726-1797) e Charles Lyell (1797-1875) que, embora não contemporâneos, devem ser associados pela proximidade e complementaridade das suas teorias. Na interpretação do registo geológico, ambos defendem o Princípio do Uniformitarismo em oposição à escola catastrofista dominante que, baseada na análise literal da Bíblia segundo a qual a Terra teria cerca de 6000 anos, considerava que o planeta tinha sido sujeito a uma série de acontecimentos catastróficos, relativamente recentes.

Ao propor o Uniformitarismo, Hutton afirma que o presente é a chave do passado. Grande parte do que compreendemos acerca do passado geológico é baseado na observação do funcionamento actual do planeta. Por essa razão os processos geológicos que vemos modificar a crosta continental devem ter actuado da mesma forma ao longo do tempo geológico. Daí que, como afirma, “o caos e a confusão não devem ser considerados como explicação da harmonia da natureza só porque certos factos se mostram à nossa observação como se resultassem de desordem. Tão-pouco se devem inventar causas quando se consideram insuficientes as que ressaltam da nossa experiência” (Hutton, citado por Read, 1976, p. 22). Estamos perante uma visão cíclica dos fenómenos em oposição à visão sequencial e linear aceite na época (Press e Siever, 1998), ideia que acabou por ter ilustração naquilo a que chamamos actualmente as discordâncias angulares e que foram objecto de um estudo interpretativo pormenorizado. Hutton é ainda recordado como pioneiro do Plutonismo, teoria que estabelecia a origem ígnea intrusiva do granito, em oposição ao Neptunismo, que lhe atribuía origem sedimentar.

As suas ideias, com reduzido impacto na comunidade científica da altura, foram retomadas e ampliadas no século XIX por Lyell em *Principles of Geology* (1830-3). Se Hutton pode ser legitimamente considerado como o pai fundador da Geologia moderna, a verdade é que só com a aceitação das ideias de Lyell pela comunidade científica a Geologia abandona o seu período pré-paradigmático e conquista o seu primeiro paradigma.

Esta perspectiva não é porém isenta de contestação. Assim, para Marques (1998) é difícil concluir que a comunidade geológica de 1850 a 1950 estivesse já unida em torno de um paradigma. Especialmente no decurso do século XIX, assiste-se ainda a uma competição saudável entre escolas com concepções díspares acerca das interpretações do mundo natural, tais como o Neptunismo e o Diluvionismo, o Catastrofismo, o Uniformitarismo, o Plutonismo, o Fixismo e o Mobilismo, isto é, não se

vislumbra uma visão holística interpretativa dos diferentes fenómenos geológicos. Todavia, porque a divulgação científica e a troca de ideias entre cientistas não tinha então qualquer paralelo com a actualidade e se traduzia por um muito menor número de conferências e publicações, é compreensível a coexistência de interpretações dissemelhantes durante períodos mais prolongados. Desta forma parece-nos aceitável a tese de Kuhn segundo a qual a aceitação das ideias de Lyell funcionou efectivamente como elemento aglutinador para a maioria dos geólogos, isto é, vai permitir a instauração do primeiro paradigma geológico no decurso do século XIX. A não observância deste aspecto levaria a admitir o prolongamento da fase pré-paradigmática da Geologia até depois da 2ª metade do século XX o que, dado o extraordinário progresso que as ciências geológicas alcançaram desde o século XIX, pensamos ser inadequado. Para além disso, a luta entre algumas das referidas escolas continua viva sem que tal faça verdadeiramente perigar a existência do paradigma vigente².

A CONSTRUÇÃO DO PRIMEIRO PARADIGMA GEOLÓGICO

Procuremos agora ver em que grandes linhas conceptuais se apoia o primeiro paradigma geológico.

No século XIX a interpretação geológica centrava-se na estratigrafia, considerando-se igualmente que as rochas não obedeciam todas à mesma dinâmica de formação. Consequentemente, as rochas magmáticas tinham a sua origem no interior do planeta, ao contrário das sedimentares que se formavam em bacias de sedimentação.

É então que a cronologia das formações para a História da Terra é definida, tendo sido posteriormente consolidada em 1901 por uma comissão internacional. Com base nos princípios fundamentais da estratigrafia (sobreposição, continuidade e identidade paleontológica), o sistema permitiu o estabelecimento de uma cronologia relativa para formações em vários pontos do globo centrada no registo fóssilífero. O facto de se encontrarem fósseis idênticos de animais e plantas terrestres em continentes afastados foi explicado, particularmente para os primeiros seres vivos, pela existência de antigos continentes entretanto submersos e/ou pela existência de antigas pontes transcontinentais. Assim se explicava a mobilidade inter-continental dos animais, uma vez que os processos de dispersão das plantas eram mais facilmente compreensíveis a partir dos agentes mais comuns, como o vento e animais voadores. Como se admitiam afundamentos de porções continentais, as regressões e transgressões marinhas eram também explicadas por oscilações na profundidade do mar, que aumentava quando os continentes se afundavam e diminuía devido à acumulação de sedimentos no seu fundo.

Admitia-se que toda a Terra sofre mudanças graduais ao longo do tempo e, devido à isostasia, existia mobilidade

vertical da crosta. Este processo resultava do facto de os continentes serem formados por rochas graníticas, ditas ácidas, ricas em sílica e alumínio (SIAL) “flutuando” sobre materiais mais densos de natureza basáltica, ricos em sílica e magnésio (SIMA). Quando a erosão ia levando ao desaparecimento da camada superficial de um continente, este tinha tendência a subir por alívio de carga (Allègre, 1988).

A formação de montanhas era igualmente objecto de análise interpretativa, procurando-se explicar processos de dobramento e falhamento em consonância com o seu interesse estratigráfico. Considerava-se a orogénese como o resultado de fenómenos de contracção decorrentes do arrefecimento do planeta, o qual implicava a acomodação gradual dos materiais e originava em simultâneo enormes depressões que constituíam as bacias oceânicas. Esta explicação não era contudo partilhada por Lyell que, embora não tenha dado grande desenvolvimento à orogénese na sua obra, explicava a formação das montanhas igualmente como produto da isostasia, visto que a expansão decorrente da subida da crosta seria responsável pela compressão lateral, deslocamento e conseqüente inclinação dos estratos (Gohau, 1988).

Embora marcado por algumas divergências, foi neste quadro teórico que se desenvolveu, quase até meados do século XX, um período de ciência normal na Geologia. Como sempre acontece, este paradigma geológico permitiu enormes progressos. De facto, “uma das razões pelas quais a ciência normal parece progredir tão rapidamente é a de que os seus praticantes se concentram em problemas que somente a sua falta de engenho pode impedir de resolver” (Kuhn, 1992, p. 60). A cumulatividade da pesquisa normal, que tem na sua base o pensamento convergente da comunidade científica adquirido no decurso da educação científica e acentuado pela vida profissional, “deve o seu sucesso à habilidade dos cientistas para seleccionar regularmente fenómenos que podem ser solucionados através de técnicas conceptuais e instrumentais semelhantes às existentes” (Kuhn, 1992, p. 130). Daí ser frequente uma novidade científica emergir simultaneamente em vários laboratórios.

PERÍODOS DE CRISE/REVOLUÇÃO

Segundo Kuhn, a crise começa com a consciência da anomalia. Mais do que um simples quebra-cabeças típico do período de ciência normal, a anomalia tem de ser suficientemente forte para pôr em causa, de forma clara, as generalizações fundamentais do paradigma vigente. O novo paradigma pode emergir antes que a crise esteja bem desenvolvida ou mesmo reconhecida (Kuhn, 1992).

Foi precisamente esse papel de iniciador da crise que coube a Alfred Wegener. Wegener causa um impacto imenso na comunidade científica do seu tempo ao defender a tese da mobilidade horizontal dos continentes (para além da

vertical, já admitida pela isostasia). Trata-se de uma tese para a qual Wegener apresenta uma multiplicidade de provas as quais, segundo Hallam (1985), ultrapassam largamente as propostas de outros cientistas que, quer antes quer na sua época, tinham avançado uma ideia semelhante. Tal foi o caso dos americanos Taylor e Baker que, exactamente na mesma data (em 1908), e de forma independente, haviam defendido ideias semelhantes às de Wegener. Se recuarmos um pouco mais, podemos ainda referir os casos de Snider e Fisher que, baseados principalmente na afinidade geométrica das linhas de costa da América do Sul e da África, ainda no século XIX (em 1858 e 1882, respectivamente) defendem a possibilidade de, pelo menos, alguns dos continentes, terem estado unidos. Snider recorria a ideias catastrofistas para justificar o afastamento, fazendo coincidir o decurso de uma série de acontecimentos entre a criação e o dilúvio com as descrições bíblicas. Fisher misturava concepções actualmente aceites com a ideia de contracção dos continentes. É por isso, que pretender encontrar neles os percursos do novo paradigma nos parece injustificado.

A ideia da mobilidade continental surgiu a Wegener pela primeira vez em 1910. Ela ter-lhe-á sido inspirada pela observação da quebra do gelo glacial aquando da formação dos icebergs e motivada pela notável correspondência existente entre as configurações das linhas costeiras de ambos os lados do Atlântico. A sua hipótese levou-o ainda a interpretar factos assinalados por paleontólogos da época e descritos em artigos acerca da existência de fósseis idênticos em continentes afastados, para além de outras evidências encontradas no seu trabalho de campo.

Especialmente importante terá sido também o facto de Wegener ser um crítico da ideia da contracção da Terra e do surgimento de enrugamentos como seu resultado. Ora, a hipótese de mobilidade continental permitia-lhe defender que as montanhas que se estendem ao longo do contorno ocidental da América do Norte e do Sul podiam ser explicadas como o resultado do efeito do enrugamento provocado pelas deslocações destes continentes para oeste. Os Himalaias teriam resultado da colisão da Índia com o resto da Ásia em tempos geológicos comparativamente mais recentes.

Mas, para que as suas ideias pudessem ser aceites pela comunidade, Wegener teve que apresentar um conjunto de argumentos muito forte. Como diria Kuhn, não só a novidade em ciência emerge com dificuldade, como ainda tem que enfrentar a resistência da comunidade científica mergulhada numa série de compromissos e adesões característicos da sua própria coesão.

Os principais argumentos de Wegener na defesa da deriva foram os seguintes (Hallam, 1985):

1. A análise estatística da topografia terrestre evidenciava dois nivelamentos predominantes, correspondentes à superfície dos continentes e ao

fundo oceânico abissal. O primeiro, formado por rochas mais leves de tipo granito; o segundo, de natureza basáltica, gabroica e peridotítica, logo de maior densidade. Assim, a subsidência de zonas continentais revelava-se completamente desajustada.

2. A teoria da isostasia supunha que o substrato subjacente à crosta terrestre actuava como um fluido, facilitador de movimentos verticais. Desta forma, não havia razões para que os continentes não pudessem mover-se igualmente na horizontal desde que existissem forças com magnitude capaz de os mover.
3. Pelo recurso a observações geodésicas, e com base na sua formação de astrónomo, Wegener procedeu à medição, pelo método da triangulação, de distâncias na superfície terrestre, o que lhe permitiu demonstrar o afastamento da Gronelândia em relação à Europa.
4. A similaridade litológica das formações de ambos os lados do Atlântico, associada ao ajustamento de zonas orogénicas, forneceu igualmente a Wegener um argumento geológico de peso para a tese da deriva dos continentes.
5. Em termos paleontológicos, Wegener verificou que muitos fósseis do Paleozóico superior e do Mesozóico eram comuns aos continentes meridionais, agora separados pelo oceano, o que lhe abria caminho para refutar também a tese da existência de pontes transcontinentais como forma de permitir a mobilidade dos animais. Para além de contrárias ao princípio da isostasia, as pontes transcontinentais revelavam-se de aplicabilidade nula para certos anelídeos, moluscos costeiros e terrestres e peixes de água doce.
6. De acordo com um último argumento, de natureza paleoclimática, Wegener mostrou que, no final do Pérmico, a América do Sul, a África, a Índia e a Austrália tinham vivenciado um processo de glaciação comum que só podia ser explicável se os referidos continentes se encontrassem unidos. Também só através da deriva era possível explicar a distribuição de depósitos de evaporitos e gesso, que indicam condições de formação calmas em ambiente árido, carvões indicadores de clima equatorial a subtropical, assim como uma série de outras rochas sedimentares.

Assim, em *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (1ª edição em 1915, com sucessivas edições reformuladas), Wegener propõe uma teoria consistente capaz de explicar a evolução nas posições dos continentes desde o final do Paleozóico, quando estes se encontravam unidos num supercontinente, a Pangea, até à sua fragmentação sucessiva até à actualidade.

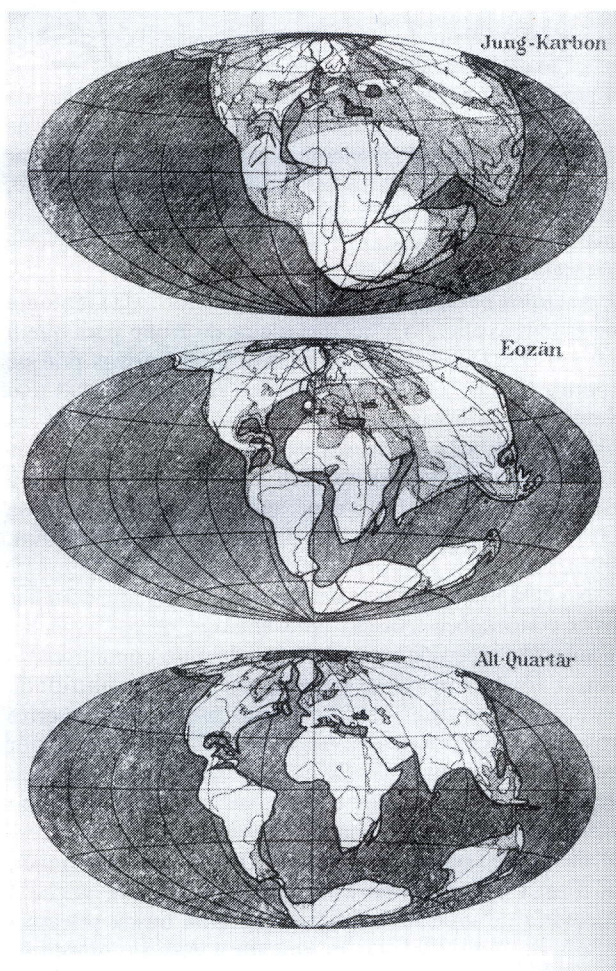


Figura 2. A Evolução na posição dos continentes proposta por Wegener respectivamente no Carbónico Superior, Eocénico e início do Quaternário (Bower, 1992).

Uma questão se pode então definitivamente colocar: Tendo o trabalho de Wegener alcançado uma tão elevada consistência, como explicar a relutância da comunidade científica em o aceitar?

O facto de se propor a mobilidade lateral de grandes massas continentais não deixa de ser uma ideia espectacular. Mas para possibilitar o movimento é necessária uma força (ou mais do que uma) que por ele possa ser responsável. Neste sentido, Wegener avançou a ideia de que a força impulsionadora das movimentações provinha da rotação do planeta associada à atracção gravitacional do Sol e da Lua (Young, 1986), e provocava a deslocação do Sial na camada mais densa, o Sima. Mas Wegener tinha consciência de que era em termos de explicação mecânica que a sua teoria revelava maior fragilidade. Sabia que a sua teoria oferecia algumas lacunas ao nível do mecanismo causador da deriva. Por isso, afirmava que o Newton da deriva continental ainda não tinha surgido. Quer isto dizer que, se

os cientistas tinham aceite o movimento orbital dos planetas em torno do Sol antes de Newton o ter explicado em termos da atracção gravítica provocada pela referida estrela, da mesma maneira, a comunidade científica podia aderir às suas ideias, independentemente de o fenómeno se encontrar totalmente explicado. Mas esta adesão não se verificou e, para tal, foi determinante a não indicação por Wegener de uma força credível capaz de explicar a movimentação dos continentes.

Estamos perante um episódio da História da Geologia que é bem explicado à luz das ideias de Kuhn para quem a maior parte dos cientistas recusa ideias novas porque procura manter a concepção teórica no seio da qual tem exercido toda a sua actividade investigativa a qual, em sua opinião, não pode ser posta em causa de forma irresponsável. Assim se explica a fonte de resistência à novidade e a certeza (ou a esperança) de que o paradigma antigo acabe por resolver todos os problemas (Kuhn, 1992).

No entanto, Kuhn faz também notar que, para além das novas concepções teóricas apresentadas, outros aspectos de natureza psicológica podem igualmente condicionar a aceitação de um novo paradigma pela comunidade científica. Mais uma vez, foi isso que se verificou na crise provocada por Wegener. Alguns cientistas, como por exemplo o paleontólogo Berry, puseram em dúvida não tanto as teses de Wegener como a sua categoria enquanto investigador evocando a sua metodologia de trabalho. Berry vai mesmo ao ponto de afirmar: “O método de Wegener, em minha opinião, não é científico, visto que segue a trajectória de uma ideia inicial, faz uma busca selectiva através da bibliografia para encontrar provas, ignora os aspectos opostos a esta ideia, e termina com um estado de autointoxicação no qual a sua ideia subjectiva acaba por ser considerada como um facto objectivo” (citado por Hallam, p. 126).

Como vemos, o método de Wegener foi objecto de duras críticas. Contudo, estas podem ser facilmente compreendidas face à concepção ferozmente indutivista da construção do conhecimento geológico, dominante na comunidade científica do final do século XIX e do princípio do século XX e que foi influenciada fortemente pelas posições expressas pelo geólogo americano Chamberlin, seguidor da concepção de Bacon defendida em *Novum Organon* em 1602. Chamberlin era contra aquilo que ele designava por uma teoria directiva. Assim, o geólogo deveria ir para o campo desprovido de teorias prévias, numa espécie de estado de inocência, com a mente como uma *tabula rasa*. Ora a construção de Wegener apoiava-se mais na articulação de estudos provenientes de diversas áreas do que num exaustivo trabalho de campo.

Outra objecção de natureza metodológica prendia-se com a compatibilidade entre a teoria da deriva e o já mencionado Princípio do Uniformitarismo, então globalmente aceite, e segundo o qual o passado é explicado

em função dos processos que podem continuar a ser observados nos dias de hoje. De facto, Wegener, embora argumentasse que a deriva se prolongava até à actualidade, postulava um seu misterioso começo no início do Mesozóico que havia prosseguido de forma direccional até ao presente, o que era interpretado, por alguns geólogos, como uma explicação contaminada pela perspectiva catastrofista (Bowler, 1992).

DOS RESISTENTES AOS VANGUARDISTAS

O quadro de resistência descrito é, para Kuhn, frequente sempre que surgem novas ideias. Este aspecto desmistifica algumas das características que vulgarmente são atribuídas aos cientistas, nomeadamente a sua abertura de espírito, disponibilidade para a inovação e capacidade de reconhecimento do erro. Esta visão idealizada dos cientistas ignora a dificuldade que estes manifestam em aceitar novas ideias, esquece que, sendo a Ciência um empreendimento humano, há factores de natureza sociológica, psicológica, política e económica que influenciam os indivíduos (Hodson, 1998). De facto, a emergência de um novo paradigma pode pôr em causa o trabalho e a aprendizagem de uma vida, o prestígio e a própria sobrevivência económica dos praticantes da ciência normal. Se é no quadro de um paradigma que os cientistas constroem a sua reputação, o seu abandono vem pô-la em causa, o que naturalmente induz uma enorme rigidez profissional.

Muitos agarram-se à falta de provas, atacando as lacunas do novo paradigma, embora ignorem as lacunas do seu próprio. Foi o que aconteceu quando a descoberta da radioactividade em 1909 veio provar que o calor produzido pelo decaimento radioactivo era incompatível com a ideia de uma Terra em arrefecimento, isto é, veio tornar impossível explicar a orogénese a partir da contracção do planeta. Kuhn refere ainda que, mesmo quando as anomalias se acumulam e as evidências se tornam irrecusáveis, são em geral detectados casos de teimosia. Como o próprio Wegener, inconformado com algumas críticas, reconhece relativamente a alguns colegas: “Se tivessem aprendido as teorias das translações (dos continentes) na escola, defendê-las-iam do mesmo modo acrítico e com a mesma falta de compreensão com que defendem o afundamento dos continentes nos oceanos” (citado por Hallam, 1985, p. 128).

No entanto, nem sempre a resistência é tão brutal. Por vezes manifestam-se formas atenuadas de cepticismo. A este nível importa recordar as palavras de Lamplugh, um dos cientistas presentes na reunião da Royal Geographical Society, em 1923: “Poderá parecer surpreendente que nos dediquemos à discussão de uma teoria tão vulnerável como a de Wegener. No entanto, quero chamar a atenção para o facto de a ideia de os continentes poderem não estar fixos provocar nos geólogos alguma predilecção, apesar do fracasso demonstrado por Wegener ao tentar prová-la” (Hallam, 1985, p. 122).

Ainda, segundo Kuhn, as questões mais pertinentes são aquelas que surgem no ataque aos pontos mais frágeis da nova teoria. Na teoria em análise, tal foi o caso das críticas de Jeffreys, geofísico inglês que, em *The Earth*, publicado em 1924, demonstrou, através de cálculos matemáticos, a impossibilidade de as forças apresentadas por Wegener, dada a sua fraca magnitude, serem geradoras da deriva continental. E, de facto, não é de estranhar que a comunidade científica tenha mostrado o seu cepticismo, evocando em primeiro lugar os problemas não resolvidos que a nova teoria apresentava. Que força pode ser responsável pela deriva continental? Por que razão o supercontinente (a Pangea) começou a sua fragmentação? Se se considera que podem surgir grandes cordilheiras como resultado da movimentação das massas continentais, como explicar a existência de cadeias orogénicas mais antigas, como é o caso das cinturas caledónicas e apalachianas?

Como Kuhn afirma, com tantas perguntas e dúvidas “em tempos de crise, o equilíbrio entre argumento e contra-argumento pode algumas vezes ser muito grande e com frequência a balança penderá para a tradição” (Kuhn, 1992, p. 198). O que pretende mostrar é que as teorias não cedem ao primeiro ataque pois que, se tal acontecesse, era a própria ciência que estaria em risco por falta de coerência interna. Se o confronto conceptual durante os períodos de crise pode levar alguns cientistas a abandonar a ciência face à sua inabilidade para lidar com a própria confrontação, no entanto, durante os períodos de crise há também aqueles que defendem o novo paradigma desde o início, apesar das múltiplas imprecisões que este em geral apresenta. Trata-se para Kuhn de uma questão de fé, motivada, é certo, pelo facto de o antigo paradigma se revelar cada vez menos adequado. Mais uma vez, as teses de Kuhn se revelam pertinentes para a análise da crise em questão.

* A carta recebida por Wegener após a apresentação das suas ideias num congresso internacional do seu colega Milankovitch, com o qual tinha mantido anteriores contactos motivados pelo interesse de ambos pela paleoclimatologia, é eloquente: “Estou totalmente sob a influência da sua brilhante conferência. A impressão foi forte porque você se limitou aos factos mais importantes e porque os argumentos surgiram de uma forma muito precisa. Não me preocupa absolutamente nada que nem todos os detalhes geológicos encaixem na sua representação. O mesmo pode aplicar-se àqueles que se dedicam a investigar o mecanismo que existe por detrás de fenómenos naturais complexos. Quem passa a vida inteira acumulando factos, é incapaz de penetrar para lá desses factos” (citado por Hallam, p. 129).

Como aspectos determinantes para a não aceitação de um novo paradigma, Kuhn destaca, para além de factores de natureza psicológica, a experiência anterior do cientista, nomeadamente quando o seu trabalho depende de conceitos e técnicas postos em causa pela nova teoria. É por essa razão que considera serem os jovens cientistas os mais

abertos às novas ideias. Apesar de, enquanto estudantes, raramente serem encorajados a ler os clássicos do seu campo, aspecto que Kuhn considera fundamental para a interiorização de outras maneiras de olhar que permitem analisar problemas, conceitos e soluções padronizados que a comunidade científica actual rejeitou, a sua juventude torna-os mais atentos à novidade. Neste sentido, é pertinente recordar que Wegener tinha 30 anos quando lhe surgiu a ideia da deriva continental. Acresce que a sua rica formação e experiência pluridisciplinares lhe davam uma flexibilidade que muito terá contribuído para a combinação dos argumentos geofísicos, geodésicos, geológicos, paleoclimáticos e paleontológicos que apresentou.

Também, segundo Kuhn, são “os cientistas que partilham os interesses e as sensibilidades do indivíduo que descobre a teoria nova que aparecem provavelmente, *ipso facto*, com desproporcionada frequência, entre os primeiros apoiantes dessa teoria” (Kuhn, 1989, p. 392). Foi o caso do cientista sul africano Du Toit, que tinha chamado a atenção para a estreita semelhança entre a Geologia do Paleozóico e do Mesozóico da África do Sul e da parte oriental da América do Sul. Este trabalho é referenciado por Wegener na 4ª edição da sua obra anteriormente citada. Du Toit veio efectivamente a transformar-se num importante discípulo e apoiante incondicional de Wegener. Em *Our Wandering Continents*, publicado em 1937, já após a morte do cientista alemão, apresenta uma completa sistematização dos seus argumentos a favor da teoria da deriva dos continentes.

O quadro de crise apresentado não obedeceu a um crescendo ao longo do tempo na contestação ao paradigma vigente. A polémica foi-se atenuando até meados da década de cinquenta, fruto principalmente da incapacidade da nova teoria para encontrar um mecanismo gerador do movimento horizontal das massas continentais que fosse convincente.

O NOVO PARADIGMA

Como Kuhn repetidamente refere, o paradigma condiciona toda a actividade prática dos cientistas, uma vez que o tipo de instrumentos e equipamentos especializados a que os cientistas recorrem se encontram ao serviço da resolução de problemas da investigação normal. Todavia, não deixa de considerar que, frequentemente, certos instrumentos desenvolvidos numa especialidade podem, ao serem assimilados por uma outra área disciplinar, provocar nesta uma crise.

Na teoria em discussão esta ideia revela-se mais uma vez adequada visto poder constatar-se que pesquisas desenvolvidas com outros objectivos acabaram por possibilitar um acumular de novas evidências que, nos anos cinquenta, vieram recuperar as ideias de Wegener. Assim, após a segunda guerra mundial, investigações no domínio da geofísica e do estudo da topografia submarina, ainda que desenvolvidos para fins militares, transformaram o nosso conhecimento do planeta. Estudos geofísicos

evidenciaram que a crosta do oceano era diferente da crosta continental e estudos de refração sísmica permitiram determinar as respectivas espessuras e, indirectamente, a densidade, constatando-se a inexistência de continentes submergidos. Além disso, o desenvolvimento de sondas acústicas permitiu o estudo muito mais completo da topografia submarina, pondo a descoberto a existência de um sistema de cristas montanhosas em todos os oceanos, como a central atlântica e a dorsal pacífica, mais ou menos quebradas, e semelhantes às mais altas cordilheiras da terra firme. Posteriormente, outras investigações constataram a existência de vulcanismo activo nestas zonas.

Assim, nos finais dos anos cinquenta, Hess, geofísico americano, colocou a hipótese da expansão dos fundos oceânicos, em que, nomeadamente, propunha que o fundo oceânico se criava nas cristas oceânicas e se estendia até às fossas marinhas, introduzindo-se por debaixo delas no manto. Estabeleceu que neste processo os continentes eram transportados, numa perspectiva diferente da de Wegener, e recuperou as ideias do seu colega britânico Holmes segundo o qual o que provocava toda a movimentação (e igualmente a fragmentação) era a existência de correntes de convecção no manto. Como Hess afirma: “A crista do Atlântico central está numa posição média porque as áreas continentais de cada lado se têm afastado à mesma velocidade. Isto não é bem o mesmo que a deriva continental (...) uma vez que apenas são transportados passivamente sobre os materiais do manto, sendo os materiais deste que saem através das cristas e transladam lateralmente os materiais já formados” (citado por Hallam, 1985, p. 141).

A hipótese de Hess viria a ser confirmada em 1963 pela dupla Vine e Matthews através do aperfeiçoamento das

técnicas radiométricas e de datação das rochas e da interpretação do registo da magnetização das rochas da crista Calberg no Índico. Neste local foram detectadas rochas com magnetização, ora normal ora inversa ao esperado, apresentando este padrão uma simetria em relação à crista montanhosa. A interpretação proposta pela referida dupla foi a seguinte: Se a camada principal da crosta oceânica se formou como consequência de uma corrente convectiva ascendente no centro de uma crista oceânica, o resultado será a magnetização das rochas, ficando nelas o registo do campo magnético da Terra, ao tempo do seu arrefecimento. Com o alastramento do fundo oceânico formam-se faixas laterais e simétricas à crista correspondentes aos períodos em que o campo magnético foi normal e aos períodos em que foi invertido. Esta interpretação foi publicada no artigo “Magnetic anomalies over oceanic ridges” na conceituada revista *Nature*, em 1963. O próprio facto de ter sido aceite para publicação evidencia o desgaste do paradigma vigente, constituindo o ponto de viragem na recuperação da teoria da deriva continental, agora com novas evidências e numa nova perspectiva.

É a partir de 1965 que o geofísico canadiano Wilson propõe, pela primeira vez, a ideia de Tectónica de Placas que foi conceptualmente desenvolvida por Morgan. Este dividiu a Terra em vários blocos desiguais (placas), rígidos e com 100 km de profundidade média e, actualmente, denominados como placas litosféricas. Desta forma, e ao contrário da ideia de Wegener para quem o movimento dos continentes se processava por cima do sima, é a litosfera como um todo que se movimenta sobre a astenosfera, sendo os continentes meros passageiros (Fig. 3).

Estas placas encontram-se delimitadas por um ou mais

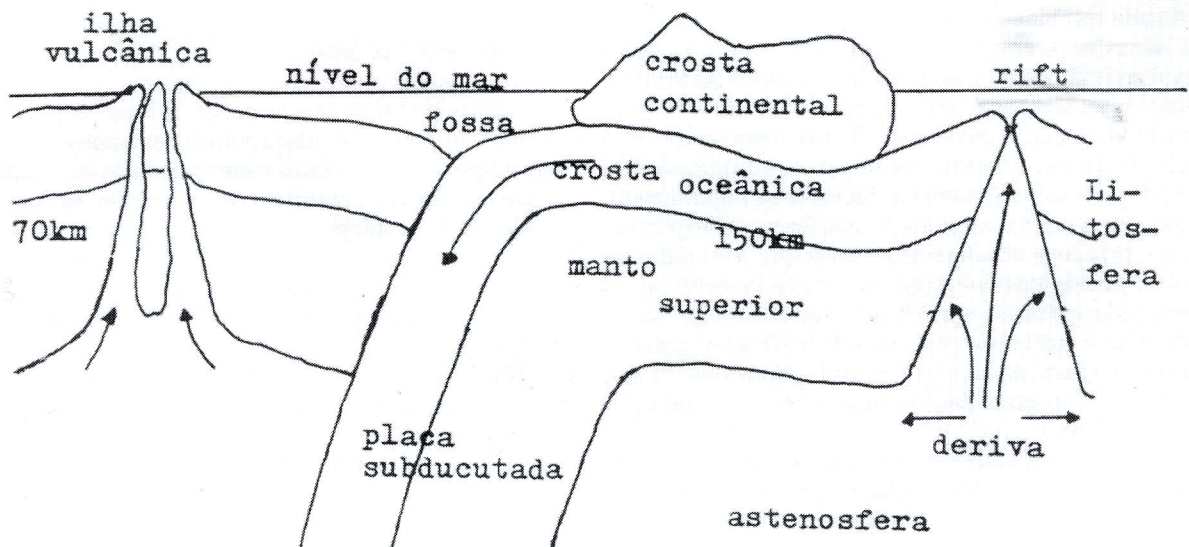


Figura 3. Na Tectónica de Placas os continentes são meros passageiros, arrastados pela expansão dos fundos oceânicos (Groves e Hunt, 1980).

dos três tipos de bordo que, de seguida, se mencionam: dorsais oceânicas, onde se cria nova crosta; fossas oceânicas, onde a crosta é destruída; falhas transformantes, onde não existe nem destruição nem criação. Um princípio básico desta teoria é que a quantidade de crosta criada nos bordos divergentes das placas deve ser igual à quantidade destruída por subducção nos bordos convergentes, o que permite ainda explicar a relativa juventude da crosta oceânica quando comparada com a continental. A Pangea, formada há aproximadamente 200 milhões de anos, terá sido o resultado da deriva de várias massas continentais que, colidindo, se agregaram. Para se aproximarem terão outrora estado juntas num anterior supercontinente que poderá ter existido há 750 M.A. e que sofreu um processo de fragmentação em tudo idêntico ao da Pangea (Press & Silver, 1998). Desta forma o processo tenderá a ser cíclico, em sintomia com o Uniformitarismo.

No final dos anos sessenta, a nova teoria desenvolvida por Morgan, Mackenzie e Le Pichon provocou uma verdadeira conversão da comunidade científica (Le Pichon foi um deles). O grupo dos defensores do imobilismo ficou reduzido a uma minoria obstinada que recusava qualquer nova evidência. Como diz Kuhn (1992) “num determinado momento do processo de aprendizagem de tradução, o indivíduo descobre que a transição já ocorreu e que ele deslizou para a nova linguagem sem ter tomado qualquer decisão a esse respeito” (p. 250).

Kuhn (1989) defende que uma teoria para ser aceite deve ter as cinco características seguintes: *Exactidão* — as consequências deduzíveis de uma teoria devem estar em concordância demonstrada com os resultados das experimentações e observações existentes; *Consistência* — interna e na sua relação com outras teorias aceites; *Alcance* — estender-se muito para além das observações; *Simplicidade* — ajudar a compreender fenómenos que sem ela dificilmente seriam interpretados; *Fecundidade* — desvendar fenómenos ou relações anteriormente não verificadas entre fenómenos conhecidos.

Foi exactamente isso que aconteceu com o novo paradigma da Tectónica de Placas. Estudos posteriores vieram reforçar a ideia de que a nova teoria oferecia aquelas características. Sendo notória a simplicidade dos seus conceitos, as observações revelaram-se consistentes com os seus princípios. O seu alcance explicativo, fecundidade e consistência permitiram incorporar fenómenos aparentemente tão díspares como: processos orogénicos - cordilheiras montanhosas e arcos insulares; distribuição de vulcões e sismos e profundidade dos epicentros; variação do fluxo térmico em diferentes locais; extinção de espécies e especiação numa articulação perfeita com a teoria da evolução. O novo paradigma permitiu ainda encontrar justificação para a formação de diferentes tipos de rochas e minerais (alguns com interesse económico) em função dos diversos ambientes geotectónicos. As diferentes posições das massas continentais ao longo do tempo ajudam também

a explicar alterações climáticas, em alguns casos relacionadas com processos de regressão e transgressão marinhos associados à distribuição e acumulação de gelo nos continentes, assim como prever a localização de jazidas com elevado interesse económico, como as dos combustíveis fósseis.

Para além destas características de uma “boa” teoria, Kuhn defende ainda que não são de menosprezar nem o poder argumentativo de quem a defende, nem factores estéticos, que funcionam para ele como mais um argumento. Como afirma: “nas artes, a estética é, por si, o objectivo do trabalho. Nas ciências é, quando muito, uma ferramenta: um critério de escolha entre teorias que, noutros aspectos, são comparáveis, ou um guia para a imaginação na procura de uma chave para a solução de um enigma técnico intratável” (1989, p. 410). Por isso considera que há razões que, tendo pouco a ver com a objectividade e o racionalismo, levam à aceitação de uma nova teoria. Relembremos a este propósito o título com que Du Toit denominou o livro onde defende a deriva continental, *Our Wandering Continents*. Tal designação metafórica constitui um apelo directo à nossa sensibilidade e somos quase obrigatoriamente conduzidos a uma espécie de sonho. Também Hess, em *History of the Oceans Basis*, publicado em 1962, obra na qual propõe a expansão dos fundos oceânicos, está consciente de que a sua ideia se encontrava pouco fundamentada e, por isso, a denominou de *geopoesia*.

EM POLÉMICA COM KUHN

Por último, gostaríamos de chamar a atenção para o facto de a Tectónica de Placas permitir questionar as dificuldades colocadas por duas das teses mais polémicas da epistemologia de Kuhn: a incomensurabilidade dos paradigmas e a não cumulatividade do conhecimento científico.

Kuhn defende que os paradigmas (antigo e novo) são incomensuráveis visto envolverem ideias e concepções distintas. Mesmo quando utilizam os mesmos termos, estes passam a ter um significado diferente. Segundo Kuhn e a sua tese da incomensurabilidade dos paradigmas estaríamos apenas perante um novo modelo explicativo dos fenómenos, novo modelo que não seria nem mais nem menos verdadeiro que o anterior mas apenas outro. A consistência entre a teoria e os factos existe em todos os paradigmas antes das anomalias graves gerarem crises importantes. Daí Kuhn afirmar que “talvez tenhamos que abandonar a noção, explícita ou implícita, segundo a qual as mudanças de paradigma levam os cientistas e os que com eles aprendem a uma proximidade sempre maior da verdade” (Kuhn, 1992, p. 213). Em aparente concordância com as teses de Kuhn, a Tectónica de Placas, uma vez estabelecida, passou a fornecer um quadro interpretativo distinto para fenómenos e factos já conhecidos. Fenómenos como a presença de fósseis idênticos em continentes afastados, a formação de

cadeias de montanhas, alterações climáticas associadas a fenómenos de regressão e transgressão, adquiriram agora um novo significado, sendo relacionados com as diferentes posições dos continentes ao longo da história geológica da Terra. Daí a concepção de que a ciência é não cumulativa porque o novo conhecimento não substitui a ignorância. Ele limita-se a anular factos científicos que passam a deixar de o ser. No entanto, como defender uma posição não cumulativista quando se constata que todo o sistema estratigráfico estabelecido em meados do século XIX foi objecto de um contínuo aperfeiçoamento ao longo do século XX, possibilitado pela utilização de microfósseis, e incorporado, em muitos dos seus aspectos, na dinâmica da nova teoria?

Kuhn admite que o novo paradigma leva a uma compreensão sempre mais refinada e detalhada da natureza o que constitui uma clara alusão à existência de progresso científico. No entanto, contesta a ideia de que essa compreensão obrigue a pensar o empreendimento científico como um processo em direcção à verdade. Mas não será pretensão de qualquer cientista essa aproximação? Será satisfatório compreender a evolução da Ciência apenas como um processo de refinamento não direccionado? Não seria nesse caso pertinente a crítica de Dunbar (1995) de que as teorias científicas passariam a ser um produto da cultura a que os cientistas pertencem sem qualquer validade externa? E, como Hallam (1995) vai ao ponto de afirmar, não será que a teoria da Tectónica de Placas, devido ao seu alcance explicativo, se tornou, para usar a terminologia de Popper, uma teoria impossível de falsificar? Mas, colocar esta questão não será incorrer na cegueira da comunidade científica em relação aos fenómenos que não se ajustam aos limites do paradigma para a qual justamente Kuhn alertou? Acreditar na teoria como solução definitiva não será cair naquela espécie de ilusão, consciente ou não, de que todos os problemas se encontram efectiva e definitivamente resolvidos, para a qual Kuhn constantemente chama a atenção?

Como Kuhn sublinha, a comunidade *acredita* no paradigma em que trabalha. Mas, simultaneamente, é nessa crença que têm origem a precisão e o alcance de um paradigma, aspectos que aumentam a sua sensibilidade às anomalias, ou seja, se essa é a causa da sua resistência à inovação, ela é também a raiz da sua fecundidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo teve-se como maior desafio a demonstração da aplicabilidade das ideias de Kuhn, tanto no modo como historicamente a Geologia surgiu como disciplina científica autónoma no final do século XVIII como, e especialmente, quando relacionadas com toda a controvérsia associada à aceitação da Teoria da Tectónica de Placas que teve como precursora a teoria da deriva continental proposta por Wegener na segunda década do

século XX. Noções como paradigma, pré-ciência, crise-revolução, anomalia, revelaram-se na globalidade um modelo consistente capaz de explicar o modo como se desenvolveram as etapas abordadas da História da Geologia. Mais, tivemos oportunidade de verificar a pertinência dos obstáculos psicologistas que Kuhn reconhece poderem entravar o processo do conhecimento científico. Na verdade, o reconhecimento retrospectivo de que as ideias de Wegener estavam correctas no essencial leva a questionar o porquê de uma controvérsia que se arrastou no tempo perto de 50 anos. Se é verdade que a sua teoria oferecia imprecisões, do exposto parece poder retirar-se que aspectos intrínsecos à natureza humana e, por isso, necessariamente presentes nos cientistas, acabaram por constituir o maior obstáculo à aceitação da sua proposta de mobilidade continental. Efectivamente, uma visão mais personalizada da ciência passa por considerar as formas pelas quais o conhecimento, a experiência, os valores e aspirações dos cientistas influenciam o tipo de ciência que produzem, assim como condicionam os seus procedimentos e atitudes. Nesse sentido, que melhor ilustração do que a afirmação proferida por Chamberlin, num simpósio em 1926: “Se temos de acreditar na hipótese de Wegener temos de duvidar de todos os conhecimentos que aprendemos nos últimos setenta anos e começar de novo”(citado por Hallam, 1985, p. 151).

Porém, algumas das ideias de Kuhn não deixaram de se revelar igualmente polémicas quando consideradas na presente abordagem. Nesse sentido, pensamos que a epistemologia de Kuhn só teria a ganhar se reconhecesse o valor da interdisciplinaridade na construção do conhecimento científico. Embora Kuhn não deixe de salientar que, por vezes, as descobertas noutros campos são responsáveis pelo surgimento de situações de crise em áreas mais ou menos longínquas, a verdade é que para Kuhn é a matriz disciplinar que invariavelmente se encontra na base da comunicação profissional e da unanimidade relativa do juízo profissional. Não será que a especialização em ciência constitui um obstáculo à inovação e um reforço da actividade rotineira que caracteriza os períodos de ciência normal? Não será que, embora menos comprometidos com o paradigma vigente, porque mais novos e portanto sem um percurso já feito a defender, os jovens cientistas revelam menor sensibilidade interdisciplinar em virtude do modelo de formação escolar tendencialmente especializado que vivenciaram? Por outras palavras, não será a consciência interdisciplinar uma determinação que se vai acentuando com a experiência, o mesmo é dizer com a idade?

É possível que estas duas dimensões, a juventude dos cientistas e a formação interdisciplinar, apesar de funcionarem como tendências contrárias, possam ser determinantes para o questionamento de um paradigma. Ora, o que é mais surpreendente é que, neste caso, Wegener, o grande proponente da teoria da deriva dos continentes, é

alguém que, simultaneamente, reúne essas duas dimensões. Apesar de jovem, era doutorado em astronomia e tinha uma visão alargada da ciência, o que lhe permitiu a liberdade intelectual e a mobilidade conceptual necessárias para conceber uma hipótese que se afastava das linhas da Geologia tradicional. Desta forma soube incorporar estudos de outros domínios na sua proposta e criticou sempre a parcialidade disciplinar dos seus críticos, considerando a Geologia uma disciplina integrativa.

Quantos outros debates igualmente estimulantes e capazes de contribuir para melhor compreender a natureza da Ciência se encontram ignorados?

Notas

¹ Esta visão é frequente e traduz-se, por exemplo, pela publicação da História da Física, a História da Biologia ou a História da Geologia, correspondendo na prática a uma visão redutora da construção do conhecimento científico mas compreensível face à organização do mesmo.

² A este propósito são de assinalar as actuais discussões acerca da extinção dos dinossáurios em que o confronto entre catastrofistas e gradualistas assume enorme relevância.

REFERÊNCIAS

Allègre, C. (1988). *A espuma da terra*. Lisboa: Gradiva.

Bower, P. J. (1992). *The environmental sciences*. Londres: Fontana Press.

Deléage, J. P. (1993). *História da ecologia. Uma ciência do homem*

e da Natureza. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Dunbar, R. (1995). *The trouble with science*. Londres: Faber & Faber.

Giere, R. (1989). A natureza da ciência - Uma perspectiva iluminista pós-moderna. *Revista Colóquio-Ciências*, 6, 72-84.

Gohau, G. (1988). *História da geologia*. Lisboa: Publicações Europa-América.

Gould, S. (1989). *Quando as galinhas tiverem dentes*. Lisboa: Gradiva.

Groves, D. G. e Hunt, L. M. (1980). *Ocean World Encyclopedia*. Nova Iorque: McGraw-Hill.

Hallam, A. (1985). *Grandes controversias geológicas*. Barcelona: Editorial Labor.

Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science: Towards a personalized approach*. Londres: Open University Press.

Kuhn, T. (1979). A função do dogma na investigação científica. In M. M. Carrilho (Ed.). *História e prática das ciências* (pp. 43-75). Lisboa: Regra do Jogo.

Kuhn, T. (1989). *A tensão essencial*. Lisboa: Edições 70.

Kuhn, T. (1992). *A estrutura das revoluções científicas* (3ª ed.). São Paulo: Editora Perspectiva.

Marques, L. (1998). Teoria da tectónica de placas - Contributos relativos ao seu percurso histórico. In J. Praia e L. Marques. *Didáctica da geologia e formação de professores* (pp. 47-93). Aveiro: Universidade de Aveiro.

Press, F. & Siever, R. (1998). *Understanding earth* (2ª ed.). Nova Iorque: Freeman & Company.

Read, H. (1976). *Geologia - Uma introdução à história da terra*. Lisboa: Publicações Europa-América.

Young, L. B. (1986). *O planeta azul*. Lisboa: Editorial Presença.

A CONTROVERSA ACEITAÇÃO DA TEORIA DA TECTÓNICA DE PLACAS À LUZ DAS IDEIAS DE KUHN

RESUMO

Este trabalho pretende valorizar a dimensão epistemológica da literacia científica, componente em geral menos abordada nos currículos de ciências em praticamente todos os níveis de ensino.

Nesse sentido, analisa-se a pertinência de alguns aspectos da epistemologia de Kuhn quando aplicadas à crise motivada pela teoria da deriva continental. Proposta por Wegener no início do século XX, esta teoria, após acesa discussão, acabaria por ser aceite nos anos sessenta na versão reformulada da Tectónica de Placas.

Palavras-chave: Epistemologia das Ciências; Literacia científica; Paradigmas da Geologia; Concepções de Kuhn; Deriva dos continentes; Tectónica de placas.

PLATE TECTONICS CONTROVERSY ANALYSED BY KUHN'S IDEAS

ABSTRACT

This article aims to emphasize the learning about science, as an element of scientific literacy, the so often least approached component of science curricula across the whole educational system.

In this sense, we try to analyse the relevance of some theses of Kuhn's epistemology when applied to the crisis raised by the theory of continental drift. A theory which, proposed by Wegener in the beginning of the 20th century, would finally, after strong discussion, be accepted in the 60's by the scientific community under the reformulated version of Plate Tectonics.

Key-words: Philosophy of Science; Scientific literacy; Paradigms of Geology; Kuhn's ideas; Continental drift; Plate tectonics.

LA CONTROVERSE AUTOUR DE L'ACCEPTATION DE LA THÉORIE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES À PARTIR DE L'ÉPISTÉMOLOGIE DE KUHN

RESUMÉ

Ce travail prétend mettre en valeur la dimension épistémologique de l'alphabétisation scientifique, l'aspect le moins traité dans les curricula scientifiques pratiquement dans tous les niveaux d'enseignement.

Dans ce sens, on analyse la pertinence de quelques thèses de l'épistémologie de Kuhn en les confrontant avec la crise autour de la théorie de la dérive continentale. Proposée par Wegener au début du XXème siècle, cette théorie, après un vif débat, finirait par être acceptée dans les années 60 par la communauté scientifique sous le nom de Tectonique des Plaques.

Mots-clés: Épistémologie des Sciences; Alphabétisation scientifique; Paradigmes de la Géologie; Thèses de Kuhn; Dérive des continents; Tectonique des plaques.