

MUDANÇAS COGNITIVAS E TEÓRICAS NO DOMÍNIO DA GEOLOGIA: INTEGRANDO PERSPECTIVAS DE INTERESSE PARA O ENSINO

Maria Cristina Dal Pian¹

Programa de Pós-Graduação em Educação - UFRN

Educativa

dalpian@educativa.org.br

dalpian@eol.com.br

Daniella dos Santos Medeiros²

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

danimated@uol.com.br

Resumo

Este trabalho discute questões sobre a forma, a natureza e a formação da Terra no contexto das mudanças cognitivas e teóricas na geologia. São destacadas as teorias de Hutton e a Tectônica de Placas. Aspectos importantes do seu desenvolvimento são resgatados, contrastando-se estas teorias com as teorias de Werner e Wegener, respectivamente. A seguir, são analisados alguns resultados de estudos sobre mudanças conceituais, tanto em crianças como na história da ciência, no domínio das ciências da terra. As reflexões conduzidas ao longo do trabalho sugerem implicações importantes para repensar a organização da aprendizagem, no sentido de promover o diálogo, tanto entre teorias sucessivas, como entre teorias intuitivas e científicas.

Teorias sobre a forma, natureza e formação da terra

A Teoria da Terra de Hutton

Na abertura do seu *Theory of the Earth* (1788), Hutton se refere à Terra como uma “*máquina com uma construção peculiar através da qual ela se torna adaptada para um certo fim*” (p. 209). Mais adiante, ele fala de um “*mecanismo do globo, através do qual ele é adaptado ao propósito de ser um mundo habitável*” (p.211). Em ambas as afirmações, fica explícita a noção de teleologia ou de causação final. A Terra é explicada como uma máquina, um objeto físico adaptado para o propósito ou o fim de ser um substrato para a vida, mais especificamente, para ser habitada pelo homem.

Hutton era fazendeiro, e entendia a formação dos solos como um processo essencial para a manutenção da vida e, principalmente, para a sobrevivência do homem. Para que houvesse a formação de solos, seria necessário um processo erosivo, destrutivo, atuando sobre as rochas. Entretanto, a continuidade dessa erosão acabaria por destruir a Terra habitável, pois todo o solo e as rochas seriam eventualmente erodidos e carreados para os oceanos. A Terra se tornaria inabitável para a humanidade, o que não condizia com a idéia de Hutton de que a Terra era um objeto adaptado ao propósito de servir de substrato à vida humana. Para que isto não ocorresse, a Terra teria que ter sido concebida de forma a não permitir a existência de

¹ Apoio parcial CNPq.

² Apoio parcial CAPES.

mecanismos de renovação que impedissem a completa erosão das rochas e dos solos da superfície da Terra. Hutton afirma³:

“Esta é a visão com que iremos agora examinar o globo: para ver se existe, na constituição deste mundo, uma operação reprodutiva, pela qual uma constituição arruinada possa voltar a ser restaurada, conferindo assim duração ou estabilidade à máquina, considerada como um mundo que sustenta plantas e animais”.

(...)

“Se, após a devida investigação, não se encontrar na constituição deste mundo um tal poder reprodutivo, ou uma tal operação restauradora, ter-se-á razão para concluir que o sistema da Terra ou foi intencionalmente tornado imperfeito ou não foi obra de poder e sabedoria infinitos.”

Assim, a Terra de Hutton é uma máquina perfeita que se auto-renova e que trabalha num ciclo eterno - erosão, deposição, consolidação e levantamento. Primeiramente, a superfície rochosa da Terra é desagregada por agentes erosivos, como o vento e as águas dos rios, formando solos nos continentes e transportando parte desse material para os oceanos. Esses sedimentos vão se depositando nas bacias oceânicas em estratos horizontais sucessivos e, com o tempo, o empilhamento se torna suficiente para causar, com o aumento do seu peso, a mobilização dos estratos inferiores pelo aumento da pressão e temperatura. Por último, o calor dos sedimentos em fusão e de magmas intrudidos causam a fusão total ou parcial destes sedimentos, fazendo com que, finalmente, a matéria se expanda produzindo o levantamento desses estratos. Dessa forma, antigos oceanos transformam-se em novos continentes, enquanto as áreas erodidas dos antigos continentes tornam-se bacias oceânicas. Como vemos, um ponto central na teoria huttoniana é a necessidade de uma força restauradora, ou reprodutiva, que é a base da ciclicidade. Essa força construtiva, o calor gerado no interior da Terra, do terceiro estágio do ciclo, tem que existir para compensar as forças erosivas destrutivas. No âmbito desta teoria, a forma da Terra não tem um papel importante nas previsões e gerações de hipóteses.

A Tectônica de Placas

Atualmente, a quase a totalidade dos geólogos acredita que os continentes sobre os quais vivemos têm se movido nos últimos bilhões de anos. Durante este período, uma grande e única massa continental se partiu dando origem a outros continentes e novos oceanos se formaram. Na cadeia meso-atlântica, temos a formação de nova crosta oceânica por ascensão de material mantélico. Esta crosta empurra os continentes africano e sul-americano afastando-os. Por outro lado, há também assoalho oceânico em formação na cadeia meso-oceânica do Pacífico. Esta placa de crosta oceânica é empurrada e acaba mergulhando sob a placa sul-americana, no que chamamos de zona de subducção. Em diversos outros pontos do planeta temos colisões de placas. Grandes cadeias de montanhas, como os Andes e os Alpes, formaram-se deste modo. Quem nos diz que todas estas formações ocorreram e ocorre, inclusive o como e o porque, é a Teoria da Tectônica de Placas.

De acordo com esta teoria, placas litosféricas com aproximadamente 120 km de espessura, compreendendo uma parte do manto e a crosta, “cobrem” a Terra. Estas placas são rígidas, flutuam e se deslocam sobre a astenosfera, que se comporta como um fluido muito viscoso. Os limites entre as placas são de três tipos: (1) placas se afastando; (2) placas

³ Hutton (1788) p: 216.

convergindo e colidindo; e (3) placas passando uma pela outra em falhas transformantes, quando o limite é paralelo à direção do movimento relativo entre elas. Em limites divergentes, há a formação de nova crosta oceânica pela ascensão de material mantélico fundido. Quando há colisão de placas, pode haver três situações dependendo da natureza das placas: se uma placa oceânica colide com uma continental, a oceânica, mais densa, é forçada para baixo da continental – é subduzida. Numa colisão entre duas placas oceânicas, qualquer uma pode sofrer subdução. Mas no caso de duas placas continentais colidindo, nenhuma das duas é subduzida – as bordas sofrem um enrugamento.

Na descrição da dinâmica envolvida na Tectônica de Placas, entram aspectos de interação e relação entre as placas para os quais são realizados cálculos estruturais geométricos que pressupõem um modelo de Terra esferoidal. Ou seja, diversos dos cálculos e medidas que suportam a teoria conforme ela foi proposta e que, além disso, permitem que se façam previsões e se gerem novos dados em concordância com ela, utilizam um modelo de placas que pode ser pensado em termos de calotas que interagem e se movimentam umas em relação às outras. Assim, vemos que a forma esferoidal da Terra é importante na sustentação da Tectônica de Placas, participando do seu sistema explicativo e preditivo.

Aspectos do desenvolvimento das teorias de hutton e da tectônica de placas

Hutton versus Werner

Ao longo da história da geologia, principalmente nas reconstruções históricas feitas por Charles Lyell (1830-1833) e sir Archibald Geikie (1897), Hutton assume o papel de pai da geologia moderna como o exemplo do cientista empirista que, após exaustivas coletas de dados em trabalhos de campo, elabora teorias pertinentes através de induções a partir dos fenômenos observados. Em contextos de cientificidade desta natureza, um dos requisitos para que uma teoria se torne aceita costuma ser a remoção de quaisquer traços de finalidade ou teleologia. Isto não foi diferente com a teoria de Hutton: contemporâneos seus empenharam-se nesta tarefa. Amigo pessoal de Hutton, o próprio Playfair⁴, que nos legou o texto através do qual a teoria é mais conhecida, dispendeu consideráveis esforços no sentido de eliminar ou diminuir o papel das noções de causação final na elaboração da teoria.

Entretanto, de acordo com Gould (1991), “*não poderemos compreender Hutton se não recuperarmos o conceito de causa final como peça central de sua explanação*”⁵. O próprio Hutton defende com orgulho sua teoria como “... *tendo sido deduzida pela razão a partir de certas premissas fundamentais*”⁶. Tais premissas têm um caráter claro de causação final, e muitos aspectos da teoria, tradicionalmente apontados como induções feitas a partir de evidências coletadas em campo, foram racionalmente deduzidos e tiveram sua existência prevista a partir de pressupostos finalistas. Um exemplo disto são as inconformidades.

Como vimos, para Hutton havia necessariamente uma força de renovação que causaria o levantamento de massas de material rochoso que seriam então erodidas, num processo repetitivo e eterno. Assim sendo, Hutton previu que, em algum lugar, deveriam ser encontrados testemunhos deste processo em estratos rochosos na forma de inconformidades, ou seja, um estrato estaria repousando discordantemente em relação às camadas inferiores,

⁴ Playfair (1802).

⁵ Gould (1991) p: 81.

⁶ Gould (1991) p: 77.

indicando a existência de uma superfície de erosão separando dois processos de deposição, e evidenciando que os extratos inferiores teriam sofrido levantamento.

A historiografia tradicional costuma apontar as inconformidades como uma das observações de campo cruciais que serviram de base para a induções de uma teoria cíclica de *maquina mundi*. Mas o próprio Hutton afirma que elas, na realidade, foram observações feitas *a posteriori* com o intuito de confirmar a teoria previamente desenvolvida. Nesse sentido, quando se estuda a teoria da Terra de Hutton, é necessário ter também em mente que, na realidade, ela foi um exercício de argumentação feito *a priori* a fim de resolver um problema de causação final. Uma possível motivação para esta postura por parte de Hutton pode ser vislumbrada quando analisamos a sua relação com Werner, o fundador do chamado netunismo e seu grande opositor à época. A discussão mais importante entre os dois, girava em torno de qual agente seria preponderante na formação das rochas e nos processos geológicos. Para Hutton, o calor interno da Terra, ou o fogo, como convencionou-se chamar, era o formador das rochas não sedimentares. Para Werner e seus seguidores, todas as rochas se originavam a partir de soluções aquosas, de um oceano primitivo que inicialmente cobria todo o núcleo da Terra. Quando estas águas começaram a baixar, as rochas que hoje compõem a superfície terrestre teriam se depositado sucessivamente. O agente principal seria a água - daí o nome de netunistas - e não haveria uma fonte de calor interno na Terra.

No que se refere à origem dos basaltos, Hutton postulava uma origem vulcânica, enquanto, para Werner, os basaltos seriam rochas sedimentares do mesmo tipo dos arenitos. De certa forma, a posição de Werner condizia com o tipo de ocorrência mais comum de arenitos associados a camadas de carvão encontrados na Alemanha. Ele postulava então que os basaltos resultariam da combustão destas camadas de carvão. Ele não concebia uma Terra quente internamente, causando ativa e dinamicamente a fusão de materiais, mas um processo passivo de combustão. Assim, a noção de *agente* (teleológico-intencional) parece ter sido crucial não só na formulação da teoria de Hutton, mas na sua sustentação frente às alternativas da época. As discussões entre as teorias de Hutton e Werner, que se estenderam ao longo do final do século XVIII, culminaram, no século XIX, com a ampla aceitação da proposta huttoniana para a origem magmática de granitos e basaltos.

Tectônica de Placas *versus* Deriva Continental

As geociências viram o surgimento e a consolidação da Tectônica de Placas como a teoria hegemônica para a explicação dos fenômenos geodinâmicos globais na década de 60. Entretanto, já no início do século XX, em 1915, Alfred Wegener⁷ havia proposto a Deriva Continental (*Continental Drift*), que antecipava alguns aspectos da Tectônica de Placas ao sugerir que, no passado, os continentes teriam formado uma única massa, tendo se separado posteriormente num movimento que se mantém até hoje. Wegener afirmava haver se inspirado na observação de que as linhas das costas africana e sul-americana no Atlântico poderiam se encaixar. Inicialmente, ele baseou sua hipótese em diversas evidências geológicas (por exemplo, semelhança entre formações geológicas nos dois continentes) e paleontológicas (por exemplo, existência em ambos os continentes de fósseis de plantas ou de grandes vertebrados cuja locomoção através do oceano atlântico seria difícil) que indicavam uma forte correlação entre os terrenos dos continentes Africano e Sul-americano. Entretanto, a hipótese da Deriva Continental foi alvo de ampla discussão e, principalmente, de diversas

⁷ WEGENER, A. (1966).

críticas⁸ ao longo dos anos 20. A posição contrária prevaleceu por muito tempo e Wegener faleceu em 1930 sem assistir à confirmação e aceitação de muitas de suas propostas.

Somente com o desenvolvimento de estudos mais profundos sobre o assoalho oceânico, iniciados na década de 50, foram gerados os dados que confirmariam irrefutavelmente o afastamento dos continentes e a hipótese do Espalhamento do Assoalho Oceânico (Seafloor Spreading) proposta por Hess⁹. Tal hipótese postulava a existência de correntes de convecção ascendentes no manto com a formação de nova crosta oceânica nas cadeias meso-oceânicas. Esta proposta, geralmente considerada como o mecanismo que teria faltado à teoria de Wegener, foi incorporada nos anos 60 à teoria da Tectônica de Placas.

Costuma-se argumentar que o fato de Wegener não ter conseguido propor um mecanismo plausível para a Deriva Continental teria sido a principal causa da rejeição da sua teoria pela comunidade científica da época, e que isto teria representado uma diferença crucial em relação à posteriormente bem sucedida Tectônica de Placas. Entretanto, o próprio Wegener, no capítulo em que discute as possíveis forças que causariam o deslocamento dos continentes, cita a existência do conceito de correntes de convecção no material mais fluido sob os continentes¹⁰, o que poderia, segundo ele, inclusive causar a sua ruptura. O conceito de convecção é justamente o princípio que se encontra subjacente ao Espalhamento Oceânico proposto por Hess décadas mais tarde. Este conceito, que prescinde da noção de agência, contribuiu substancialmente para o caráter explicativo da Tectônica de Placas através da idéia de mecanismo.

Estudos sobre mudanças conceituais na geologia

Como vimos, a forma, a natureza e a formação da Terra são elementos centrais na caracterização das teorias geológicas em geral, participando em diferentes graus e modos do poder explicativo e/ou preditivo de cada teoria em particular. Isto tem permitido aos cientistas da terra e historiadores, caracterizar distinções entre teorias e levantar hipóteses sobre as mudanças ocorridas entre teorias ao longo do tempo (isto é, sobre o desenvolvimentos das teorias). Tem permitido também, construir um referencial cognitivista para a investigação do desenvolvimento de conceitos geológicos tanto em crianças, como na história da ciência. Dois estudos nesta perspectiva merecem atenção: (1) o estudo de Vosniadou e Brewer (1992) no qual os autores investigam o desenvolvimento conceitual das crianças a respeito da forma da Terra; e (2) Thagard (1992) que discute o desenvolvimento conceitual da Tectônica de Placas no que ele chama de 'Revolução da Geologia'.

Os Estudos de Vosniadou e Brewer

Vosniadou e Brewer (1992) propuseram investigar os conhecimentos intuitivos que as crianças apresentam sobre a forma da Terra, verificando se elas desenvolviam noções alternativas a este respeito, considerando principalmente se estas noções eram utilizadas de

⁸ VAN DER GRACHT, W.A.J.M. VAN WATERSCHOOT, et al. (1928) : Publicação das contribuições dos participantes do "Symposium on the Origin and Movement of Land Masses Both Inter-Continental and Intra-Continental, as Proposed by Alfred Wegener" realizado em Nova York em 1926 para debater a proposta de Wegener.

⁹ HESS, H.H. (1962).

¹⁰ WEGENER, Op. Cit. Pp: 178.

forma coerente. Outro aspecto estudado foram as mudanças que estes conhecimentos intuitivos das crianças sofriam quando elas eram expostas à informação culturalmente aceita de que a Terra é uma esfera.

As chamadas noções alternativas das crianças eram vistas como tentativas de reconciliar a concepção original de que a Terra é plana, baseada na experiência direta das crianças no mundo em que vivem, com a informação passada pelos adultos de que na verdade a Terra é esférica e cercada por espaço por todos os lados.

Neste estudo, a metodologia empregada foi a de entrevista individual com aplicação de questionário (exemplo de perguntas: “Qual a forma da Terra?”) e elicitación de desenhos (por exemplo: “Faça um desenho da Terra”). Basicamente, foram utilizados dois tipos de questões, que os autores chamam de fatuais e generativas. As questões fatuais, do tipo “Qual a forma da Terra?”, permitiram verificar o nível de exposição das crianças a determinadas informações teóricas, como por exemplo, a de que a Terra é esférica. Entretanto, este tipo de questão não indica se esta informação foi assimilada pela criança e é utilizada por ela de forma generativa. Ela pode ter ouvido de um adulto que a Terra é uma esfera, mas ainda assim pensar e raciocinar em termos de uma Terra plana.

Para resolver este tipo de problema foram aplicadas também questões generativas, que possibilitaram obter informações sobre as estruturas conceituais subjacentes. Perguntando às crianças sobre fenômenos que elas não podiam observar diretamente e sobre os quais elas provavelmente não teriam recebido qualquer informação anterior, os autores esperavam que a crianças criassem uma representação mental sobre a forma da Terra e a utilizassem para fazer inferências que informassem sobre a forma da Terra. Exemplos deste tipo de questão seriam: “Se você andasse durante muitos dias numa linha reta, onde você iria parar?”, “Você chegaria à borda da Terra?”, “A Terra tem uma borda ou um fim?”.

Vosniadou e Brewer caracterizaram as representações das crianças sobre a forma da Terra como modelos mentais (Johnson-Laird, 1981, 1983)¹¹. Eles consideraram os modelos mentais como uma estrutura dinâmica que é criada, num certo momento, com o propósito de responder a determinadas questões, solucionar problemas ou lidar com outras situações. Os modelos mentais, criados a partir das estruturas conceituais subjacentes, são vinculados (*constrained*) por elas. Portanto, segundo os autores, a compreensão dos modelos mentais que os indivíduos usam para responder a perguntas ou solucionar problemas forneceria informações sobre o conteúdo e a estrutura deste conhecimento subjacente.

À primeira vista, os resultados indicavam que as crianças não usavam o modelo esférico de forma consistente. Um exemplo disto é que embora a maioria das crianças (54 de um total de 60) tenha desenhado um círculo para mostrar a forma da Terra, 16 delas disseram que há um fim ou uma borda da Terra e 14 crianças disseram que você pode cair desta borda. Algumas crianças chegaram mesmo a explicar que o círculo que elas desenharam era plano e não representava uma esfera.

Diversas outras respostas pareciam bastante incoerentes do ponto de vista de um modelo de Terra esférica e sugeriram aos autores que talvez as crianças estivessem usando consistentemente modelos alternativos ao da Terra esférica. A partir desta suposição, eles decidiram investigar esta possibilidade antes de concluir que tais modelos eram fragmentários e inconsistentes internamente.

¹¹ Os modelos mentais são objeto de maiores estudos também em outros trabalhos, como os de Kleer and Brown (1981) Gentner and Stevens (1983) e Johnson-Laird and Byrne (1991).

Ao final de suas investigações, Vosniadou e Brewer puderam definir sete modelos mentais que as crianças estariam utilizando consistentemente quando indagadas sobre a forma da Terra. São eles: (a) Modelo de Terra esférica, (b) modelo de Terra esférica com os pólos achatados (neste caso, as crianças conciliam a informação de que a Terra é esférica com o fato dela aparentar ser plana imaginando que as pessoas viveriam nos pólos planos de uma Terra esférica), (c) modelo de Terra oca (hollow) (há duas possibilidades: ou a Terra é uma esfera oca com um buraco no topo, no fundo da qual as pessoas vivem, ou é uma esfera composta por dois hemisférios: o inferior sobre o qual as pessoas vivem e o superior, que corresponde ao céu e cobre a Terra como um domo) , (d) modelo de Terra em forma de disco, (e) modelo de Terra retangular, (f) modelo de Terra dual (as crianças acreditam que há uma Terra/”*Earth*” esférica no espaço e outra terra/”*ground*” plana sobre a qual as pessoas vivem) e, por último, (g) modelo misto (aqui foram agrupadas as crianças que deram respostas consistentes com mais de um modelo ou que não deram respostas suficientemente consistentes com nenhum deles).

Os autores observaram que embora não se possa ter certeza de que as crianças estivessem utilizando modelos compilados por teorias que elas já possuíam ou se elas construíram estes modelos durante a aplicação do questionário, há fortes indicações de que na maioria dos casos elas estavam usando modelos que estavam vinculados por estruturas conceituais estáveis.

Eles concluíram dizendo que a dificuldade que as crianças têm em perceber que a Terra é uma esfera está relacionada a duas pressuposições: a de que a Terra onde vivemos é plana e a de que objetos sem sustentação caem. Segundo os autores, estes pressupostos seriam parte de uma teoria primária física que filtra a interpretação das crianças sobre o mundo físico e vincula seus modelos mentais da Terra. A passagem de um modelo mental inicial de Terra plana para o modelo de esfera se daria pela reinterpretação destes pressupostos, numa mudança do tipo “forte” proposta por Carey (1987).¹²

Thagard (1992) faz algumas críticas ao estudo de Vosniadou e Brewer afirmando que esta mudança do modelo de Terra plana para esférica seria melhor caracterizada como uma revisão de crença¹³ e não como mudança teórica. Uma parte dos problemas parece vir do fato dos autores terem usado modelos mentais para representar as idéias das crianças e considerado que a passagem de um modelo mental para outro caracterizaria uma reestruturação teórica radical. Como veremos adiante, para Thagard, mudanças teóricas radicais implicam em reestruturações de hierarquias de parte e de tipo entre conceitos bem como a adição ou eliminação de conceitos.

Os Estudos de Paul Thagard

O desenvolvimento da Tectônica de Placas também é objeto de estudos mais voltados para a questão das mudanças conceituais e teóricas na perspectiva das ciências cognitivas. Paul Thagard (1992)¹⁴ se refere à “Revolução Geológica” em seu livro sobre mudanças conceituais ressaltando o aspecto revolucionário da Tectônica de Placas em relação à Deriva Continental. Segundo o autor, conceitos são organizados em hierarquias de tipo e parte e se

¹² A respeito de mudanças conceituais, ver Medeiros e Dal Pian (1999).

¹³ “Belief Revision”, segundo Thagard (1992) neste caso, as “relações entre os conceitos são estabelecidas ou rejeitadas sem afetar profundamente os conceitos. A revisão de crença envolve ou a adição ou a eliminação de crenças.”

¹⁴ THAGARD, P. (1992) .

ligam uns aos outros por regras, formando assim sistemas conceituais. Ou seja, “... *a conceptual system consists of a network of nodes and links...*”¹⁵. Assim sendo, mudanças conceituais consistiriam na adição e eliminação de nodos e de relações entre eles. Entretanto, Thagard destaca que as mudanças conceituais mais dramáticas são aquelas em que a reestruturação do sistema conceitual envolve, principalmente, mudanças nas relações de parte e de tipo, não apenas a adição e eliminação de nódulos e relações.

De acordo com Thagard, “... *all scientific revolutions involve transformations in kind-relations and/or part relations. (...) In the geological revolution, plate tectonics brought with it reorganizations of the kind-hierarchies and part-hierarchies involving continents and seafloor.*”¹⁶. Para ele, a Tectônica de Placas representou uma mudança conceitual verdadeiramente revolucionária, pois trouxe uma série de novos conceitos tais como placas, subducção, espalhamento do assoalho oceânico e falha transformante. Mas não apenas isso. De acordo com o autor, teria havido impressionantes mudanças nas relações de parte e de tipo; mais especificamente, os oceanos e continentes teriam deixado de ser considerados como *partes* da crosta para ser entendidos como *tipos* de crosta¹⁷.

Como vemos, é importante para Thagard ressaltar as possíveis mudanças nas hierarquias de tipo e de parte na caracterização da Tectônica de Placas como uma mudança conceitual revolucionária. Entretanto, o exemplo de mudança hierárquica apontado pelo autor não é suficientemente claro. Não é certo que para Wegener continentes e assoalho oceânico fossem *partes* e não *tipos* de crosta. Segundo suas próprias palavras: “... *the light crust should turn out to have two basically different thicknesses, the thick continental blocks and the thin oceanic blocks*”¹⁸. Ainda de acordo com o autor, a transição do continente para o oceano “... *is a matter of difference in type of material...*”¹⁹

Thagard está correto ao afirmar que quando se passa a considerar continentes e assoalho oceânico como materiais diferentes, eles passam a ser melhor entendidos como tipos de crosta e não mais como simples partes dela. O problema é que esta distinção não vai ocorrer somente com o surgimento da Tectônica de Placas. Ela já se encontra presente na Deriva Continental de Wegener e é justamente um de seus principais argumentos contra seus opositores que imaginavam que as bacias oceânicas atuais eram antigas massas continentais que teriam afundado. Para estes cientistas contrários à Deriva Continental, continentes e assoalho oceânico eram *partes* da crosta, não poderiam ser diferentes *tipos* de crosta pois eram basicamente a mesma coisa, o mesmo material que teria submergido em algumas partes. Wegener, ao contrário, apontava que esta proposta se contrapunha ao princípio de isostasia²⁰. Ele sustentava que continentes e assoalho oceânico eram materiais diferentes e que tal suposição seria, justamente, o ponto de partida da idéia da Deriva Continental²¹.

Assim, se levarmos em conta a própria argumentação de Thagard sobre as reestruturações conceituais de natureza revolucionária – introdução de novos conceitos e mudanças das relações hierárquicas de parte e tipo – devemos considerar que desde a proposta

¹⁵ Op. Cit. Pp: 32.

¹⁶ Op. Cit. Pp: 7.

¹⁷ Op. Cit. Pp: 161.

¹⁸ WEGENER, Op. Cit. Pp: 43.

¹⁹ Idem.

²⁰ Isostasia é “*o equilíbrio teórico de todas as grandes porções da crosta da terra como se elas estivessem flutuando sobre uma camada subjacente mais lenta; assim, áreas de material crustal menos denso se eleva topograficamente acima de materiais mais densos.*” (Dictionary of Geological Terms of the American Geological Institute, 1976, New York: Anchor Books.

²¹ Op. Cit. Pp: 21.

de Wegener já tínhamos o surgimento um sistema conceitual dramaticamente diferente do anterior.

Há outros autores que suportam tal posição e consideram que as mudanças conceituais e a transição entre a Deriva Continental e a Tectônica de Placas não foram assim tão radicais. Giere (1988)²² chega a sugerir o uso do termo ‘evolução’ ao invés de ‘revolução’ na historiografia dos eventos recentes na geologia. Segundo suas próprias palavras: “... *not just in the broad sense of gradual change, but in the more specific sense of there being selective mechanisms operating on random variations.*”²³. Ele considera que embora as mudanças tenham ocorrido em um período de tempo relativamente curto elas foram relativamente graduais e menos abrangentes do que seria de esperar numa revolução científica do tipo proposto por Kuhn²⁴.

Até mesmo Thagard, em artigos mais recentes, passa a considerar outros aspectos das mudanças conceituais, não apenas aqueles que descreve como mais revolucionários. Ele fala de revolução quando trabalhava com mapas conceituais - que dizem respeito às teorias, ao conhecimento – como no caso da tectônica de placas²⁵. Nestes casos, a entrada de novos conceitos é acompanhada de mudanças nas relações entre eles, o que para o autor significava uma mudança conceitual drástica. Entretanto, em estudos mais recentes²⁶, quando se concentra mais nas questões relativas ao pensamento, ele monta redes (*networks*) nas quais as relações (*links*) não mudam, mas permanecem constantes ao longo do desenvolvimento histórico. Mais especificamente, Thagard apresenta os conceitos de doenças como sendo redes causais (*causal networks*) cuja estrutura representa as relações entre sintomas, causas e tratamentos de uma doença.

Segundo o autor, ao longo do desenvolvimento histórico das teorias de doença, diversas mudanças ocorrem no que diz respeito às causas, sintomas e tratamentos e nas relações entre eles. Portanto, os mapas das teorias, dentro da perspectiva das revoluções conceituais propostas por Thagard anteriormente, sofreriam mudanças em que haveria adição e eliminação de conceitos bem como modificações nas relações hierárquicas e causais entre eles. Entretanto, a estrutura causal básica dos conceitos de doenças, ou seja, a rede causal (*causal network*) permanece a mesma ao longo do tempo. O conceito de uma doença continua sendo uma estrutura causal que representa as relações entre suas causas, seus sintomas e tratamentos. De acordo com Thagard, isto não muda.²⁷

Implicações para o ensino

As reflexões apresentadas neste trabalho sugerem algumas implicações para os estudos sobre mudanças cognitivas e teóricas de interesse para pesquisa em ensino de ciências. Verificamos, por exemplo, que há limitações nas abordagens que tratam as mudanças conceituais, seja nas crianças, como na história da ciência, em termos de mudanças radicais. Por um lado, o desenvolvimento histórico da Tectônica de Placas nos indicou que o argumento sobre a falta de um mecanismo plausível usualmente apontado como causa da não

²² GIÉRE, R.N. (1988).

²³ Op. Cit. Pp: 275.

²⁴ De acordo com Giere, grande parte da historiografia escrita na década de 70 sobre a Tectônica de Placas foi profundamente influenciada pela teoria das revoluções científicas de Kuhn (1992) que, tendo sido publicada em primeira edição em 1962, era o modelo mais visível à disposição na época.

²⁵ THAGARD, Op Cit.

²⁶ THAGARD (1997).

²⁷ Ver também: NOBRE, M.D.P., TEIXEIRA, I.C.D., ALMEIDA, A.L.F. e DAL PIAN, M.C. (1998).

aceitação da deriva Continental e da natureza revolucionária da Tectônica de Placas fica enfraquecido e que a ênfase no mecanismo pode estar criando uma impressão de maior ruptura entre as teorias do que realmente existiu.

Por outro lado, quando retomamos referenciais que privilegiam aspectos do pensamento (em conjunto com o conhecimento), torna-se possível identificar: (a) invariantes como elementos cruciais na estruturação das diversas teorias (como as redes causais); e (b) aspectos como o teleológico, que auxiliam na sustentação de teorias que se destacam ao longo do desenvolvimento. Ambos aumentam o poder explicativo e preditivo das teorias, merecendo a nossa atenção quando da organização da aprendizagem.

Nesta perspectiva, seria interessante explorar mais a noção de agente (ativo *versus* passivo), que usualmente contrasta com a idéia de mecanismos nos seios das teorias. Entendemos que, apesar de opostas do ponto de vista da cientificidade tradicional, estas noções podem ser integradas e auxiliar professores e alunos a promoverem o diálogo, tanto entre teorias sucessivas, como entre teorias intuitivas e científicas.

Referências

de KLEER, J. & BROWN, J. (1983). Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models In: D. Gentner & A. Stevens (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

GEIKIE, A. (1905) *The founders of geology*. New York: Macmillan Press.

GENTNER, D., STEVENS, A. (1983). *Mental Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

GIERE, R.N. (1988) *Explaining Science: A Cognitive Approach*. London: Chicago University Press.

GOULD, S.J. (1991) *Seta do Tempo, Ciclo do Tempo: Mito e Metáfora na Descoberta do Tempo Geológico*. São Paulo: Companhia das Letras.

HESS, H.H. (1962) History of Ocean Basins. In: E.A.J. Eagle (Ed.) *Petrologic Studies*. Geological Society of America.

HUTTON, J. (1788) *Theory of the Earth*. *Transac. of the Royal Society of Edinburgh* 1: 209-305.

KUHN, T. (1992) *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva. (Primeira edição 1962)

LYELL, C. (1830-1833) *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface by reference to causes now in operation*. Londres: John Murray.

MEDEIROS, D. S and DAL PIAN, M.C. (1999). Pensamento e Conhecimento na Estruturação de teorias: Uma abordagem Cognitivista de relevância para a Pesquisa em Ensino de Ciências. *Trabalho Submetido*. 2º. Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências. ABRAPEC. Valinhos/SP.

NOBRE, M.D.P, TEIXEIRA, I.C.D., ALMEIDA, A.L.F. and DAL PIAN, M.C. (1998) *Conceitos de Doença na História da Medicina e Conexões Causais*.. Poster. Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis-SC-Brazil.

NUSSBAUM, J. (1979) *Children's Conceptions of the Earth as a Cosmic Body: A Cross Age Study*. Science Education, 63 (1): 83-93

PLAYFAIR, J. (1802) *Illustrations of the Huttonian theory of the Earth*. Edimburgo: William Creech.

THAGARD, P. (1992) *Conceptual Revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

THAGARD (1997) *The Concept of Disease: Structure and Change*. Waterloo, Ontario: Philosophy Department University of Ontario.

VAN DER GRACHT, W.A.J.M. VAN WATERSCHOOT, et al. (1928) *Theory of Continental Drift*. Tulsa, Okla.: American Association of Petroleum Geologists.

WEGENER, A. (1966) *The Origin of Continents and Oceans*. Trans. J. Biram, from fourth revised German Edition. New York: Dover Publications. (Originally published 1929. First German Edition 1915).