

HISTÓRIA DA QUÍMICA E DA GEOLOGIA: JOSEPH BLACK E JAMES HUTTON COMO REFERÊNCIAS PARA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Natalina Aparecida L. Sicca

Centro Universitário Moura Lacerda de Ribeirão Preto, R. Padre Euclides, 995, 14085-420 Ribeirão Preto - SP

Pedro Wagner Gonçalves*

Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, CP 6152, 13083-970 Campinas - SP

Recebido em 6/7/01; aceito em 7/1/02

HISTORY OF CHEMISTRY AND GEOLOGY: JOSEPH BLACK AND JAMES HUTTON AS REFERENCES FOR SCIENCE EDUCATION. The second half of eighteenth century is marked by the advancement of chemistry and geology. The first science acquired the law of conservation of mass and this science represented a important support to geology and mineralogy. We say that both became modern science that time. Our aim is to show up some interrelations between history of chemistry and history of geology by means of the study of Joseph Black's and James Hutton's works. We defend that it is positive to science education to understand and approach the relations among different and disciplinary areas of science.

Keywords: chemical education; history of science; Joseph Black (1728-1799); James Hutton (1726-1797).

INTRODUÇÃO

A literatura sobre História da Geologia, no final do século XVIII, assinala certos traços capitais de mudanças nas perspectivas de estudo dos minerais, rochas e da Terra. Houve crescimento e generalização da atividade de campo, aprofundamento das relações entre Geologia e Mineração, ampliação do uso de mapas e representações visuais para o estudo da História Natural. Há outro aspecto que precisa ser assinalado: o conhecimento mineralógico mantinha vínculos estreitos com a Química e esta representava parcela considerável da base científica do campo que deu origem à moderna Geologia.

O valor atribuído, na época, ao calor na teoria geológica da gênese de certas rochas, tais como os granitos, sugere a necessidade de estudo da História da Química relativa a tal tópico. Nas duas últimas décadas do século XVIII, houve uma revisão de conceitos químicos com mudanças nas idéias sobre a composição da água, sobre os gases, a reação destes com sais e vínculos do calor com reações químicas.

O alvo principal deste trabalho é esmiuçar alguns aspectos dos nexos da História da Geologia com a História da Química. Vamos nos deter em alguns vínculos intelectuais de Joseph Black (1728-1799) e James Hutton (1726-1797) para revelar um possível uso da História para a educação em ciências.

Neste trabalho perseguimos o esforço de aproximar tópicos da Geologia e da Química por meio da história. Defendemos que tal caminho é frutífero para o ensino desses dois campos ao aclarar abordagens cruciais para compreender a natureza das Ciências geológica e química. Simultaneamente isso pode revelar como os pesquisadores trabalharam. Para um campo, o estudo huttoniano de rochas e minerais informa que os procedimentos classificatórios adotados acham-se vinculados aos estudos de processo e formação dos corpos rochosos. No segundo, os estudos realizados por Joseph Black apresentam análises qualitativas e quantitativas sobre transformações químicas, fundamentais para o desenvolvimento do pensamento químico.

Além disso, parece-nos nuclear assinalar que esse conjunto de estudos foi realizado dentro da defesa da idéia de flogisto e isso revela resultados científicos frutíferos perseguidos e interpretados de forma pouco usual para o pensamento moderno.

ASPECTOS PRELIMINARES

A literatura educacional sugere diversas aproximações entre história e ensino¹. No ensino de ciências há certos temas que geralmente recebem enfoque histórico. No ensino de química frequentemente a evolução da teoria atômica é um tópico enfatizado. Nos estudos da Terra é bastante usual essa abordagem para ensinar a teoria da tectônica de placas. Geralmente é argumentado que essa perspectiva traz vantagens e melhora o entendimento de idéias e conceitos. Neste trabalho nos apoiaremos no argumento de que a História contribui para que possamos mostrar nexos entre tópicos ou disciplinas científicas, no ensino de ciências.

Antes de entrarmos na discussão propriamente queremos enfatizar que defendemos um ensino de ciências que desenvolva uma abordagem contextual. Os aspectos metodológicos (filosóficos e históricos) devem desempenhar papel estratégico para traduzir a natureza do conhecimento científico. Advogamos que cada campo do conhecimento possui sua própria epistemologia e esta deve possuir lugar de destaque na educação mas, simultaneamente, deve-se procurar explorar as relações (semelhanças e diferenças) de uma ciência e as demais.

Robinson argumenta que há pelo menos dois tipos de ciências: correlacionais e exatas. No primeiro grupo estão áreas que privilegiam procedimentos apoiados na reunião de dados, sua comparação e classificação. No segundo os procedimentos são primordialmente teóricos e exatos. Ambos desenvolvem novas teorias por meio de um suporte teórico. E, o mesmo autor, assinala que a alfabetização científica deve mostrar tais diferenças².

Mesmo não adotando os pressupostos epistemológicos de Robinson, o trabalho sugere que é necessário revelar a diferença entre Geologia e Química. Tratam-se de ciências que operam com mecanismos diferentes de raciocínio e, portanto, de validação de hipóteses e teorias. Defendemos, portanto, que os estudos da Terra diferen-

*e-mail: pedrog@ige.unicamp.br

ciam-se em alguma medida das demais investigações naturais e experimentais e que tais marcas devem ser assinaladas durante a formação científica de todos os cidadãos. Em outras palavras, os estudos feitos pelas ciências da Terra são históricos e interpretativos, nisso a Geologia se diferencia da Química³.

A Química, de outro lado, é uma ciência que busca caracterizar fenômenos e regularidades das relações moleculares. Trata-se de um campo teórico e experimental clivado pela linguagem matemática e pelos raciocínios indutivo-dedutivos. O avanço dessa ciência é orientado pelos modelos teóricos que fornecem a referência do que admitir e do que rejeitar em termos de pesquisa empírica.

Pretendemos explorar essa abordagem histórica e filosófica por meio de tópicos que usualmente não recebem esse tratamento e freqüentemente são tratados de forma detalhada, explorando apenas a terminologia e, ou, a expressão algébrica.

O contexto histórico deve, a nosso ver, revelar a natureza da ciência. Os princípios e fundamentos, estudados nos diferentes níveis de ensino, conduzem os alunos a compreender o significado das ciências, os procedimentos para formular novos conhecimentos e os nexos entre campos diferentes do saber humano.

Tentamos aqui relacionar estudos químicos, mineralógicos e petrológicos. Tomamos uma época especialmente favorável: o último quartel do século XVIII, momento em que tanto a Geologia, quanto a Química dão passos decisivos para se tornarem ciências modernas.

O tema escolhido – estudos de álcalis e calcários – revela mútuas interferências entre Geologia e Química, enfatiza a observação e experimentação e, sugere, ainda, indagações sobre o tempo de longa duração.

O CONTEXTO CIENTÍFICO DA ÉPOCA

Há certos traços marcantes nas atividades científicas que, hoje, consideramos químicas e que interferem na análise procedida neste trabalho. O referencial teórico e o desenvolvimento de técnicas experimentais para identificar substâncias, misturas e explicar transformações químicas foi modificado de forma significativa na segunda metade do século XVIII. A descoberta de que alguns princípios fundamentais não eram elementares mas, de fato, substâncias compostas e os novos procedimentos adotados para alcançar tais conclusões, possibilitaram modificações na ciência Química e em seus métodos. Sobretudo a descoberta da composição do ar e da água e o uso da balança foram marcas nucleares do período.

É necessário assinalar que esses passos, hoje considerados avanços da Química, deram-se orientados ou, ao menos, muito próximos da denominada teoria do flogisto. Em largos traços, a explicação para certos fenômenos encontrava um ponto de congruência na visão compreensiva de G. E. Stahl: uma mesma substância – dificilmente isolável – explicava reações aparentemente diversas, fenômenos tais como combustão, respiração e calcinação⁴. Adotamos que há certa síntese entre a Química flogística de G. F. Stahl e os estudos sobre fixação e liberação de ar de Stephen Hales.

Para o leitor moderno é quase impossível estimar a importância dessas explicações. Apesar disso, assinalamos que importantes cientistas do final do século XVIII atribuíam algum valor ao flogisto em seus experimentos e trabalhavam com isolamento de gases. Referindo-se diretamente a isso e, ou, utilizando uma terminologia de marca stahliana encontramos: Antoine Lavoisier, Joseph Priestley, Henry Cavendish e, também, Joseph Black e James Hutton. Todos eles realizavam seus experimentos referindo-se ao flogisto.

Os problemas relativos às substâncias que ora apresentavam-se em seu estado livre, ora em seu estado fixado nos corpos, juntamente com os mecanismos de combinação e liberação, serviram como

um arcabouço metodológico do cuidadoso estudo dos sais que foi executado na segunda metade do século XVIII.

De fato, quando lemos Henry Cavendish é notável a preocupação de quantificar os experimentos. Ao separar e coletar gases produzidos pelas reações com *álcalis*, há cuidadosa pesagem dos reagentes. Além disso, sua terminologia salienta o compromisso com o flogisto⁵.

Esses pensadores, preocupados com fenômenos que moderadamente chamamos de químicos, estavam fascinados ao quantificar e medir precisamente reagentes e produtos. Isso tomou parte de suas montagens e interpretações. Tal aspecto foi crucial para compreender o desenvolvimento da idéia de conservação de massa – o que, acreditamos nós, já é exemplificado pelos procedimentos usados por Black. Calcinação, dissolução e destilação adquiriram cuidado e precisão. As substâncias foram submetidas à análise a medida em que eram combinadas e extraídas.

Donovan explica o caminho perseguido por Lavoisier que o conduziu a refutar a teoria do flogisto. Mas, no que tange a nosso estudo, enquanto o pensamento químico encontrava-se em rápida mudança – depois das exposições das pesquisas feitas por Antoine Lavoisier e seu colaborador Pierre Simon Laplace – houve uma resistência por parte dos defensores do flogisto.

Laplace apresentou os estudos sobre o calor, em 1783, nos quais descreveu técnicas e instrumentos usados para quantificar o fluxo de calor em reações químicas. Na mesma época, Lavoisier anunciou a descoberta de que o *ar inflamável* (hidrogênio) e o *ar vital* (oxigênio) quando queimados juntos formam a água: o experimento estabeleceu que a água não é um elemento mas a combinação de dois gases. Isso parecia trazer uma prova irrefutável para a teoria do calor de Lavoisier. Uma década mais tarde, Lavoisier completou a construção de sua teoria química ao mostrar que o ar se combina com os metais⁶.

Allchin assinala um aspecto capital para entender a peculiar atitude de alguns naturalistas britânicos do final do século XVIII⁷⁻⁹. Os defensores do flogisto reconheciam que a água não era um elemento e que a combustão era o resultado de combinação com oxigênio. Mas eles estavam especialmente preocupados com fenômenos relativos a gases, eletricidade e explosão que, segundo eles, não eram adequadamente explicados pela nova teoria do calor. Para tais fenômenos as trocas de flogisto permaneciam essenciais.

Certas tradições antigas merecem ênfase pelo papel que desempenharam nas atividades realizadas. Os quatro elementos, da doutrina aristotélica, freqüentemente serviram de ponto de partida para analisar propriedades. Não foram tratadas como substâncias a serem procuradas e identificadas por meio de experimentos. Os peripatéticos trabalhavam com quatro elementos, caracterizados apenas pelo peso e leveza, que se transmutavam e nunca eram encontrados puros (terra, água, ar e fogo). Suas propriedades (secura e umidade, quente e frio) agiam em pares, sendo as duas últimas ativas. Combinações binárias constituíam-se em causa eficiente da transmutação. Os trabalhos aqui abordados, de Black e Hutton, exploram certa Química que encontra-se relacionada a esses princípios e aos estudos classificatórios oriundos da História Natural. A Química e a Geologia usaram largamente os procedimentos taxionômicos; a primeira separava e classificava os novos produtos das reações feitas mediante rigoroso controle quantitativo, a segunda tinha em conceitos “químicos” e mineralógicos o campo de apoio que ajudava a explicar os processos ocorridos cujos produtos eram diferenciados pela taxionomia.

Hutton, em seu capítulo sobre a queima dos corpos¹⁰, ao se voltar para as transformações ocorridas na calcinação e decomposição, focaliza a liberação de substâncias, a luz e o calor. Seu principal interesse era sobre o que era trocado pelos corpos, o que era liberado

ou fixado, algo que modernamente chamaríamos de energia. Tais trocas estavam vinculadas à formação de sais precipitados, neutralização de substâncias e mudanças de estado físico.

A teoria do flogísto foi crucial para Hutton interpretar tais fenômenos e para mostrar as limitações das explicações lavoisierianas. O flogísto além de ser o fluido que penetra, se combina e é liberado dos corpos por meio de reações, podia ser identificado e classificado em algumas situações. O flogísto de Hutton é a substância solar que circula por todos os corpos, mas também é enxofre, carvão ou hidrogênio quando *fixado*. Ao mesmo tempo, aceitando a existência do oxigênio e do poder reativo deste gás, o *ar vital* seria uma substância capaz de, ao reagir com os corpos flogistizados, liberar o flogísto que se manifestava nas formas de luz e calor.

ESTUDO DOS ÁLCALIS

É fundamental para compreender o conhecimento químico moderno o estudo dos álcalis feito por Joseph Black. Este estabeleceu procedimentos experimentais cuidadosos, próprios de análises qualitativas e quantitativas, utilizou a balança para decidir questões teóricas, se apoiou em uma teoria que foi abandonada, porém seus resultados foram decisivos para que fosse construído o arcabouço teórico do chamado pensamento químico moderno.

Se analisarmos manuais didáticos atuais e programas de Química, no ensino médio, podemos verificar que a ciência tem sido mostrada sem controvérsias, pronta, lisa, acabada. Poucos são os projetos de ensino que promovem relações entre os fenômenos químicos e suas explicações, visto que na maioria das vezes há o destaque para a representação simbólica das transformações químicas ou para os cálculos estequiométricos. Mais raros ainda são os que apresentam o raciocínio próprio da análise qualitativa e quantitativa. Consideramos que a introdução do estudo sobre os álcalis pode ser estratégico para mostrar a natureza da Química e a construção de conceitos negligenciados no ensino dessa ciência.

Na época em que Black iniciou suas investigações havia grandes controvérsias quanto a produção e uso de remédios no tratamento de acidez estomacal e dissolução de cálculos renais. No fulcro dessas controvérsias Black procedeu a uma detalhada investigação sobre a produção de *magnésia alba* (carbonato hidratado de magnésio) estabelecendo um caminho próprio que culminava com um estudo detalhado acerca das propriedades da substância obtida¹⁴.

Iniciou seu trabalho numa perspectiva médica, testando o produto obtido em pacientes, em seguida, desenvolveu um estudo nitidamente químico: investigar as propriedades químicas da *magnésia alba*.

“Minha curiosidade levou-me a investigar mais particularmente a natureza da magnésia, e especialmente a comparar suas propriedades com as de outras terras absorventes, que parecem para mim serem de diferentes espécies, comumente expressas por um mesmo nome...”¹²

Ele verificou que esta era dissolvida com efervescência na presença de *vitriolo*, *nitro*, *espírito de sal* e *vinagre destilado*¹³. Os sais obtidos apresentavam diferenças quanto às cores, tipos de cristal e propriedades dos mesmos. Analisando os dados concluiu que a *magnésia* diferia de terras alcalinas comuns (Maher afirma que, na época, *terras* eram substâncias sem cheiro, não inflamáveis, não solúveis em água e incapazes de ser volatilizadas)¹⁴. Em sua próxima investigação, Black, procurou identificar o grau de atração da magnésia por ácidos, no sentido de localizá-la na tabela de atração eletiva de Mr. Geoffroy¹⁵.

Estava iniciado assim um procedimento de identificação de substâncias apoiado em processos comuns na época, tais como calcinação,

destilação, dissolução e cristalização, aliados a procedimentos de identificação de dados quantitativos, obtidos por meio do uso da balança.

Black, ao observar que a magnésia alba perdia peso quando calcinada em uma retorta de vidro dirigiu sua investigação para as partes voláteis. Calcinou uma quantidade definida de *magnésia alba* numa retorta e obteve um resíduo branco, mais leve e mais alcalino que denominou de *magnésia calcinada* (MgO), um material volátil que chamou de *ar fixo*¹⁶ por estar **fixo na pedra**, uma pequena quantidade de água, sem verificar nenhum outro resíduo visível no vaso, no final do processo.

Magnésia alba → *magnésia calcinada* + água + *ar fixo*

Chamou a atenção de Black a perda de peso e a emissão de *ar*, mas os químicos sempre observavam a emissão de partes voláteis contidas nos sólidos submetidos a destilações e consideravam que havia uma parte volátil aprisionada na forma sólida que ficava fluida e elástica pelo fogo. Dando continuidade a suas investigações, misturou a magnésia calcinada com ácido verificando que não havia a liberação de *ar*, como ocorrera com a própria magnésia¹⁷. Black assim se expressou:

“Fica suficientemente claro que as terras calcárias em seu estado nativo e que os álcalis e magnésia em suas condições ordinárias, contém grande quantidade de ar fixo, e que o ar certamente adere a elas com considerável força, pois um forte fogo é necessário para separá-lo da magnésia e um mais forte para liberá-lo do álcali fixo, ou remover seu poder de efervescer com sais ácidos (...)”¹⁸

Continuando a interpretação de seus experimentos, verificou que a *magnésia calcinada* era mais leve e mais alcalina do que a *magnésia alba* – fato já exposto em sua dissertação *De humore acido a cibis orto, et Magnesiae Alba*. Observou, ainda, que a magnésia calcinada dissolvida em *espírito de vitriolo* produz um pó branco. Este tem as mesmas propriedades da *magnésia alba*, o que o levou a concluir que esta tinha recuperado suas propriedades perdidas pela calcinação. Resumidamente Partington assim representa:

Magnésia alba → *magnésia calcinada* + água + *ar fixo*
Magnésia alba + ácido → *sal de magnésio* + *ar fixo*
Magnésia calcinada + ácido → *sal de magnésio*

Black provou por meio de experimentos gravimétricos que o *ar fixo* não era o *ar ordinário*, mas uma substância inteiramente diferente, um constituinte mensurável dos materiais estudados. Testando com água de cal verificou que o fluido elástico liberado era o mesmo que o produzido na fermentação alcoólica, queima de carvão e em grande parte na respiração de animais¹⁹.

Essa descoberta abriu caminho para o desenvolvimento da Química pneumática, e posteriormente, contribuiu para a descoberta do oxigênio denominado, na época, *ar vital*. Tais fatos possibilitaram a criação de novas teorias que viriam a explicar a respiração e a combustão com implicações para medicina, agricultura e indústria.

No estudo sobre a *magnésia alba*, investigou transformações químicas, comparou os produtos obtidos, procurando semelhanças e diferenças, estabelecendo um raciocínio que bem podemos compreender como *classificatório* próprio da construção de uma taxionomia. Comparou pesos de produtos obtidos com transformações ocorridas, utilizou a balança para decidir questões teóricas. Procedeu a raciocínios importantes na análise quantitativa que viriam colaborar para o avanço da ciência Química e o desenvolvimento da Química industrial²⁰.

Black nos indica, ao relatar seus estudos, que os resultados obtidos com a magnésia o conduziram a suposições sobre propriedades dos carbonatos, as quais foram confirmadas por meio experimental.

Durante muitos anos os carbonatos de diferentes origens foram utilizados como fonte de óxidos e hidróxidos de cálcio. Sabia-se que a adição de água ao óxido de cálcio (obtido pela calcinação de carbonatos) provocava o desprendimento de calor. Uma das teorias mais aceitas, para explicar isso, atribuía o calor desprendido às partículas de fogo adquiridas na obtenção do óxido de cálcio. Essas eram liberadas na produção do hidróxido de cálcio. Seguia, assim, a explicação de que se uma substância perde sua alcalinidade é porque perdeu partículas de fogo²¹. Mas Black, mediante procedimentos experimentais e conceitos que já havia elaborado em trabalhos anteriores, viria explicar de modo diferente tais transformações.

Aquecendo um certo peso de calcário verificou que teria obtido “cal viva” (óxido de cálcio) e *ar fixo*. Misturou óxido de cálcio com água e concluiu que obteve o “cal extinta” (hidróxido de cálcio):

Carbonato de cálcio → óxido de cálcio + *ar fixo*
Óxido de cálcio + água → hidróxido de cálcio

Continuando sua investigação ele descobriu que carbonato de cálcio em contato com ácido produz efervescência (*ar fixo*) e um sal é formado. Se o óxido de cálcio misturado com água for aquecido com uma solução de carbonato de potássio, o álcali se torna cáustico e o peso do calcário original é retomado.

O óxido de cálcio e o gás foram combinados, decompostos e recombinados sempre que desejou. Concluiu que a série de reações era cíclica.

Black (1777) assim se expressou:

“(…) como as terras calcárias e os álcalis atraem fortemente ácidos e podem ser saturados por eles, então eles também podem atrair ar fixo e em seu estado ordinário ser saturados com o mesmo: quando misturamos um ácido com um álcali ou com uma terra absorvente, o ar é então libertado e sai com violência; porque o corpo alcalino o atrai mais do que o ácido, porque o ácido e o ar não podem ser jogados para fora do corpo ao mesmo tempo.”²²

Black rejeitou a *teoria das partículas do fogo* porque as terras calcárias ao serem aquecidas são convertidas em óxido de cálcio, sofrendo mudança em sua composição, ou seja, a perda de uma quantidade de água e de seu ar fixo, e não a adição de alguma partícula proveniente do fogo²³, como era entendido na época. Explicaria ainda, que determinadas substâncias eram liberadas devido a diferentes atrações entre as mesmas, o que lhe possibilitou explicar a perda da causticidade quando um ácido era aproximado de uma base formando um sal. Teve provas conclusivas sobre a causticidade como propriedade das substâncias fortemente alcalinas e compreendeu que esta é removida quando o gás é fixado nas mesmas.

James Hutton, como já foi sugerido, fez uso das descobertas de Black. Hutton imaginou que a pressão afeta as reações químicas com envolvimento de gases e sugeriu que o calcário em regiões de profundidade na terra é menos cáustico que o esperado, mesmo considerando o calor sob o qual é exposto, vez que o ar fixo não pode escapar devido a imensa pressão subterrânea a que está submetido²⁴.

A análise cuidadosa dos experimentos de Black, suas dúvidas sobre os dados obtidos, as explicações elaboradas por ele contribuíam para que se possa estabelecer processos de construção de conceitos químicos com os alunos. Possibilitam que se mostre como este conhecimento foi elaborado em certa época, como fenômenos que conhecemos foram explicados de modo diferente no passado e, ao

mesmo tempo, como tais conhecimentos iluminaram a construção de teorias que hoje ainda aceitamos.

GENERALIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ORIGEM DOS CALCÁRIOS E ALGUNS PROBLEMAS QUÍMICOS

É absolutamente estratégica a perspectiva da História Natural no pensamento de Hutton. Perseguindo uma tradição médica e baconiana, o naturalista elabora quadros taxionômicos visando, no campo social e ético, o domínio político e, no natural, o econômico²⁵. Do entendimento da dinâmica, que acha-se guardada nas classes estabelecidas, vem todo o dinamismo dos diversos ciclos com os quais nosso autor explica o mundo: por um lado, histórico, religioso, moral e, por outro, *a economia da natureza* (solo, rocha, erosão e soerguimento de continentes e montanhas).

Um dos ciclos principais da economia da natureza é relativo a origem e consolidação de rochas por meio do calor – o que modernamente denominamos ciclo geológico. Nesse ponto, Hutton articula de modo criativo os saberes da classificação de rochas, os experimentos químicos feitos com calcários, álcalis e sais para compor o ciclo da degeneração das rochas, formação dos solos e constituição de continentes.

Quando analisamos livros didáticos, manuais e mesmo projetos de ensino voltados para o ensino de Geologia verificamos que não é contemplado o aspecto criativo do pensamento de Hutton. Ele recorreu à observação e descrição de fenômenos para formular a origem dos materiais rochosos. Mas isso não é percebido, por exemplo, na vineta dedicada a James Hutton (Earth Science Curriculum Project, capítulo *O tempo e sua medição*) a qual enfatiza a idéia do método da Geologia, o uniformitarismo. Os autores ocultam os nexos dos procedimentos classificatórios com a organização em ciclos e, de fato, pouca atenção dão para as contribuições do autor oitocentista, em vez disso, apenas enaltecem sua figura²⁶. Na verdade, a nosso ver, isso não é uma peculiaridade do *Investigando a Terra*, dos EUA, mas é uma marca freqüente dos livros didáticos: muitas vezes encobre-se os aspectos metodológicos que serviriam para compreender a natureza do conhecimento científico²⁷.

Para aclarar como Hutton trabalhou, reuniu dados e formulou seu pensamento tomamos um assunto que ocupa papel relevante na formulação do ciclo geológico, na teoria da Terra e na teoria do calor: a gênese dos calcários (sua origem, mudanças e experimentos) revela aspectos da cosmologia na qual o naturalista acreditava. Na perspectiva da dinâmica da economia da natureza, a origem marinha dos calcários é nuclear na fórmula huttoniana de ciclo geológico²⁸.

“Nós sugerimos que a maior parte das massas calcárias deste globo se originaram de corpos calcários marinhos; se examinarmos mármore, calcários ou massas sólidas como tal, perfeitamente mudadas desde seu estado como terra e tornadas duras e compactas, ou se examinarmos o estrato friável, terroso, cálcico do qual muita dessa terra é composta, acharemos, ainda, provas evidentes de que aquelas camadas tiveram sua origem em materiais depositados no fundo do mar; e a substância calcária que eles contêm, vêm de fonte equivalente a dos mármore e calcários.”²⁹

Hutton adota um raciocínio para interpretar a origem marinha dos calcários e extrapolar essa idéia para a maioria dos estratos emersos. O passo inicial é a analogia das formas presentes nos estratos e formas comuns de ambientes marinhos (vestígios registrados nas rochas calcárias e mármore). Isso o conduz à prova de que há estratos calcários de origem marinha. Mas, se hoje tais rochas estão emersas isso revela que foram soerguidas, ou seja, forças terrestres levantaram o fundo do

mar até sua posição atual. No trecho citado o naturalista não é claro quanto aos mecanismos responsáveis pela elevação. Mas, por outro lado, muitas rochas calcárias apresentam estruturas de dissolução e recristalização, nosso autor interpreta tais feições como sendo vinculadas ao aquecimento coetâneo do levantamento da rocha do fundo do mar para a posição emersa. Em outros tipos de rocha, Hutton opera buscando os vestígios da origem marinha (p.ex., fósseis marinhos) e ele generaliza a mesma origem para outros tipos de rocha (modernamente arenitos, siltitos, etc.). O último passo do raciocínio huttoniano é a abdução, a maioria das rochas se formou no fundo oceânico. Isso ele não pode comprovar mas é daí que sairão os avanços para a Geologia apoiada no pensador escocês.

Esse raciocínio não podia estar vinculado aos procedimentos correlacionais da História Natural. Classificação, analogia, comparação, indução e abdução são insatisfatórios para aclarar a origem das rochas calcárias que não possuem vestígios marinhos. Nesse momento, Hutton utiliza o conhecimento químico sobre dissolução, calcinação e recristalização (esta última observada em suas amostras de rocha ao microscópio). Na verdade ele se valeu das pesquisas anteriormente conduzidas por Black.

Hutton revela clareza sobre a existência do gás carbônico e dos processos de obtenção. A saturação de terras e sais alcalinos ou a queima do carvão extraíam o ar fixo descrito por Black. Para Hutton isso significava que algo era combinado com o oxigênio para formar o dióxido de carbono e, além disso, este seria muito abundante nos calcários.

Esses aspectos ajudam o leitor moderno a compreender o ambiente científico e cultural do século XVIII. Época impregnada pela ciência newtoniana e por diversos elementos originários de uma Química nascente. O pensamento huttoniano se move nesse mundo. Muito empresta de outros pensadores mas, simultaneamente, busca certa originalidade na combinação das idéias, sobretudo nas explicações sobre a origem de algumas rochas, sua idade relativa e na explicação sobre a origem do planeta. Diversas idéias veiculadas nessa atmosfera do século XVIII foram incorporadas e tomam parte das camadas da mente de nosso pensador escocês.

INTER-RELAÇÕES DE HUTTON E BLACK

O comportamento dos calcários, vistos como materiais componentes de certas rochas e como substâncias passíveis de análise química, foram aspectos complementares dos trabalhos de Hutton e Black. O primeiro reconheceu estratos, classificou e elaborou as condições geológicas em que tais materiais se formaram e modificaram até alcançar sua situação presente. Por outro lado, Black estudou as propriedades dos carbonatos, a combinação e liberação de seus componentes principalmente quando os materiais envolvidos eram gases. A reunião dos dois conhecimentos, mediante o encontro e a colaboração dos dois pensadores, trouxe benefício mútuo para os dois campos de conhecimento. Um saber desafiou e complementou o outro reforçando a idéia de ciclo da natureza para a Geologia e de que os elementos tradicionais eram, na verdade, substâncias compostas (as terras, o ar e a água). A análise química dos sais alcalinos e dos carbonatos minerais revelou a composição dos mesmos e permitiu avançar a análise de suas características observadas ao microscópio.

As idéias sobre a composição dos calcários, o reconhecimento de que são substâncias compostas foram fundamentais para a formulação das explicações sobre as mudanças que ocorreram nos estratos rochosos. Na verdade Hutton opera utilizando uma idéia que era nova e estava sendo desenvolvida na época: as mudanças dos materiais, mediante reações químicas, ocorriam sem mudar a quantidade de matéria envolvida no processo. Parcela considerável dos experimentos realizados por Black tratou de transformações cíclicas e cons-

tância da quantidade de massa envolvida. Esse aspecto foi essencial na montagem das explicações geológicas sobre a transformação de materiais sedimentados, sua consolidação em profundidade e levantamento posterior até a posição atual. O ponto crucial é a clareza de Hutton ao aceitar que os materiais terrestres se transformam sem mudar a quantidade de massa. Do ponto de vista histórico infelizmente não é possível garantir se Hutton adotou a idéia de Black, de outro autor ou dos seus próprios experimentos. Lamentavelmente não dispomos de documentos ou outros registros que elucidem a partir do que Hutton adotou tal idéia de conservação da matéria.

A hipótese huttoniana de que a pressão interfere nas reações químicas que envolvem liberação ou *fixação* de gases nas substâncias envolvidas parece ter sido aceita por Black. O conceito é coerente com a idéia que o químico demonstrou em seus experimentos acerca das transformações cíclicas mas só foi comprovado para os calcários e liberação do gás carbônico por meio de experimentos controlados no início do século XIX. A noção encontra no exemplo de Hutton e Black um excelente exemplo e permite discutir a conservação de massa.

Hutton beneficiou-se da idéia de calor latente de Black. Na teoria geológica de gênese das rochas, o calor e a fusão ocupam papel proeminente. Comparado ao conhecimento do presente, de fato, o valor atribuído ao calor para consolidar rochas foi excessivo, sobretudo no caso de rochas sedimentares. Mas, na época, foi uma explanação convincente e nitidamente discordante da ciência canônica. Esse foi um enorme passo, dado por Hutton e dependeu de adotar o calor latente para explicar como as rochas deveriam ter sido consolidadas a partir dos fragmentos de mundos passados.

O estudo do trabalho e obra de Hutton e Black relativo aos calcários e sais alcalinos exemplifica uma época em que a ciência utilizou pouco a linguagem matemática. Os avanços das teorias e explicações pouco recorreram aos modelos científicos teóricos e matemáticos, diferentemente do que acontece hoje tanto na Geologia, quanto na Química. Isso tem diversas implicações e assinalamos algumas delas. Há uma ênfase na observação, descrição e experimento: fórmulas teóricas orientam a investigação mas seu caráter é determinado pela filosofia e pela concepção cosmológica antes de adquirir uma expressão algébrica. James Hutton e Joseph Black, antes de qualquer outra coisa, acreditavam no progresso da ciência e nos seus vínculos com a tecnologia. Seus estudos atendiam problemas relativos a necessidades práticas (busca de outros modos de produzir remédios, problemas práticos relativos ao calor e aperfeiçoamento da máquina a vapor, necessidades crescentes de carvão) e teóricas (como formaram-se as rochas e a Terra, quanto tempo foi necessário para formar o planeta e chegar até o estado atual, como manter o mundo como um local adequado à vida, ao homem e ao progresso).

A colaboração científica desses naturalistas mostra vínculos da ciência com a filosofia e revela, portanto, que a atividade científica é feita no âmbito da cultura utilizando idéias e conceitos de cada época.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos petrológicos e classificação de rochas poucas vezes são tratados em termos metodológicos (históricos e filosóficos) no ensino de Geologia. James Hutton é geralmente mencionado nas introduções históricas dos livros de Geologia e a ele é tributado o nascimento da moderna Geologia mas, apesar disso, poucas vezes há leitura direta de seus escritos. O naturalista volta a ser mencionado quanto são apresentados os tópicos relativos ao tempo geológico e aí é vinculado à descontinuidade e plutonismo porém essas idéias não são relacionadas ao estudo dos estratos e ao papel desempenhado pelas pesquisas sobre os calcários, suas condições de gênese e origem marinha – aspectos nucleares nas explicações elaboradas pelo pensador escocês.

Analogamente no ensino de Química poucas vezes são desenvolvidos processos que permitem ao aluno relacionar fenômenos químicos às explicações, perceber a construção de metodologias para resolução de problemas levantados por pesquisadores. No caso de Black, os estudantes o conhecem pela descoberta do gás carbônico, entretanto desconhecem seus detalhados experimentos e a construção de sua taxionomia, baseada em raciocínios próprios de análises qualitativas e quantitativas. Nas aulas e nos manuais didáticos não encontramos referências que possibilitariam aos estudantes relacionar o seu pensamento com outros cientistas de sua época no sentido de se evidenciar o processo de produção do conhecimento científico.

Algumas vezes há vínculos com modelos teóricos que estruturam a ciência Química e a noções cruciais como o equilíbrio químico, mas nada é dito sobre Joseph Black ou sua criativa contribuição para formular esses temas.

Além disso, esses tópicos não são organizados para revelar os nexos da Geologia com a Química.

O tratamento dos calcários e substâncias alcalinas, acompanhado, ou não, de atividades químicas analíticas de laboratório, pode recompor estudos feitos por James Hutton e Joseph Black, abordar suas biografias, recorrer aos textos originais, incluir as relações intelectuais e revelar a natureza das Ciências geológica e química. Isso permite enfatizar os limites de cada ciência e como certos problemas exigem estudos feitos por outra área científica.

O estudo desses dois autores e suas pesquisas revela, ainda, outro aspecto crucial do desenvolvimento histórico das ciências. As teorias científicas não são simples resultados cumulativos e lineares, seus conceitos resultam de dúvidas, problemas e, algumas vezes, são produzidos dentro de bases teóricas não plenamente aceitas por todos os cientistas. O calor que consolidaria as rochas, segundo Hutton, apoiava-se na teoria do flogisto que estava sendo questionada e substituída na época em que eles trabalhavam. Isso pode ser paradoxal se adotarmos uma concepção progressiva e linear de avanço da ciência. Acreditamos que é necessário mostrar a dificuldade de validar o conhecimento e o desafio permanente que os pesquisadores põem uns aos outros.

O trabalho de ambos foi, ainda, frutífero pelos conceitos que estavam sendo gerados na época e que receberam influência de suas reflexões. Tempo geológico, descontinuidade estratigráfica, origem magmática dos granitos, calor latente e específico, gás carbônico e lei da conservação da massa são noções centrais para a ciência moderna. Enfim, precisamos manter em mente que esses dois cientistas acreditavam no progresso do conhecimento e da ciência e que isso cumpria um *design* divino.

Entender que os cientistas agem em função do que acreditam, que se deixam conduzir pelas idéias de sua época, que adotam a terminologia de cada período histórico, que tais práticas são, ou não, conscientes, torna os pesquisadores humanos. A ciência e sua produção, adicionalmente, passa a ser compreendida como um trabalho e o resultado de uma atividade social que reúne um conjunto de pessoas. Tudo isso, a nosso ver, fornece uma imagem mais realista do conhecimento científico.

A explicitação dos raciocínios empregados por Hutton e Black mostram como o conhecimento científico é estruturado e algumas diferenças de Geologia e Química. O papel da hipótese, sua articulação com testes experimentais e observações para obter validade e nexos com teorias e generalizações expõem estilos diferenciados de formulação do saber. A História Natural, tornada Geologia nos anos seguintes à morte de Hutton, tem no experimento local privilegiado para elaborar hipóteses que necessitam da confirmação interpretativa obtida por meio de observação de campo. Hutton tem clareza que se trata de problemas da ciência histórica – tal dificuldade foi resolvida, no caso dos calcários, com a visita ao vale do Rio Tilt (Escócia).

Na Química, por outro lado, o caso estudado revela o esforço de generalização do experimento realizado e o estabelecimento de uma *nova síntese* da magnésia alba – acompanhados da investigação das propriedades químicas dessa substância. Black enfatiza o rigor da quantificação para decidir questões qualitativas e, subseqüentemente, adota implicitamente a idéia de conservação da massa – noção formulada por Lavoisier praticamente na mesma época.

Foge aos limites deste estudo mas em termos educacionais é relevante considerar o contexto sócio-econômico no qual Hutton e Black trabalharam. O título de J.G. Crowther enfatiza esse lado do problema: *cientistas da Revolução Industrial*. Os avanços geológicos para os quais Hutton se empenhou estavam relacionados às crescentes necessidades de bens energéticos de origem mineral e à, mais tarde denominada, *época dos canais britânicos*. Tratavam-se de necessidades econômicas da mineração e transporte. O aperfeiçoamento dado na época para a máquina a vapor tinha forte base na chamada Química pneumática. De fato, tanto Black, quanto Hutton, discutiram esse aperfeiçoamento com James Watt. Em termos educativos o exemplo aqui mencionado relaciona História e Filosofia da Ciência à tecnologia e sociedade.

O século XVIII acha-se marcado pela emergência de uma ciência nova (a Química) que vincula-se à percepção de certos pensadores (como Hutton) sobre a insuficiência das leis mecânicas para explicar os fenômenos relacionados à natureza da matéria. Embora ainda persistam certas marcas do pensamento do século XVII, é justo notar que houve uma continuidade metodológica e, simultaneamente, uma ruptura de conteúdo. Se os estudos do século XVII foram hegemônicos pelas imagens relacionadas à Geometria e à Mecânica, a Química emergiu como uma referência decisiva (particularmente na segunda metade do século XVIII) e suas imagens seduziram os filósofos (a pureza, a combinação, a afinidade, a dissolução, etc.).

A continuidade metodológica fez-se não somente pela valorização da atividade experimental mas, também, pelo esforço taxionômico e classificatório. Uma *máthesis* presidiu o pensamento e exprimi-se em sua plenitude em Black e Hutton. Identificar substâncias e delimitar suas propriedades foi um alvo conjugado à classificação no interior de um quadro natural ordenado. Tal meta foi atingida por meio da atividade química.

Os experimentos realizados por Black revelam a análise qualitativa e quantitativa de transformações químicas, aspecto freqüentemente menosprezado no ensino de Química o que traz implicações negativas para o entendimento das idéias pelos alunos. A história das pesquisas feitas por Black e Hutton apresentam uma oportunidade para desenvolver uma Química que opera com modelos vinculados aos trabalhos descritivos. Ao mesmo tempo, entender a explicação huttoniana de origem magmática das rochas inclui compreender a classificação que foi feita visando elaborar uma teoria da Terra.

REFERÊNCIAS

1. Matthews, M.R.; *Science Teaching: the Role of History and Philosophy of Science*, Routledge: New York, 1994.
2. Robinson, J. T.; *Science & Education* **1998**, 7, 618.
3. Gonçalves, P. W.; *Coletânea*, SBEBio: São Paulo, 2000.
4. Ferraz, M.H.M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 1991.
5. Cavendish, H.; *Phil. Trans. R. Soc. London* **1785**, 75, 372.
6. Donovan, A.; *Antoine Lavoisier: Science, Administration and Revolution*, Cambridge University Press: Cambridge, 1993.
7. Allchin, D.; *Ambix* **1992**, 39, 110.
8. Allchin, D.; *Annals of Science* **1994**, 51, 615.
9. Allchin, D.; *Cadernos do IG-UNICAMP* **1997**, 7, 167.
10. Hutton, J.; *A dissertation upon the Philosophy of Light, Heat, and Fire*, Cadell and Davies: Edinburgh, 1794.
11. Fórmula da magnésia alba: $x\text{MgCO}_3 \cdot y\text{Mg(OH)}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$.

12. Black, J.; *Experiments upon Magnesia Alba, Quick-lime, and other Aalcaline Substances*, W. Creech: Edinburgh, 1777.
13. O termo *vitriolo*, usado na época, significa ácido sulfúrico, o denominado *espírito de sal* corresponde ao ácido clorídico e o *vinagre destilado* é o moderno ácido acético.
14. Maher, P.; *Stud. Hist. Phil. Sci.* **1999**, *30*, 335.
15. Ref. 12, p. 19.
16. O *ar fixo* tinha características semelhantes ao *gás silvestre* de van Helmont segundo Partington, J.R.; *A Short History of Chemistry*, 2nd ed., Macmillan. London, 1948. O mesmo Partington, na página 386, expõe fórmulas modernas do experimento conduzido por Joseph Black (reproduzidas neste escrito).
17. Ref. 12, p. 29-30.
18. Ref. 12, p. 46-47.
19. Ref. 4, p. 139.
20. Crowther, J.G.; *Scientists of the Industrial Revolution: Joseph Black, James Watt, Joseph Priestley, Henry Cavendish*, The Cresset Press: London, 1962.
21. Ref. 14, p. 336.
22. Ref. 12, p. 47-48.
23. Ref. 12, p. 48-49.
24. Ref. 20, p. 11.
25. Gonçalves, P. W.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 1997.
26. Earth Science Curriculum Project; *Investigando a Terra*, McGraw Hill do Brasil: São Paulo, 1976.
27. Levin dá um tratamento mais extenso ao trabalho de Hutton porém, embora trate do uniformitarismo e da descontinuidade não explora os raciocínios empregados para alcançar tais sínteses e fórmulas, Levin, H. L.; *The Earth through Time*, 5th ed., Sanders College Publishing: Forth Worth, 1996.
28. A teoria da Terra foi exposta por Hutton em quatro versões principais. O problema mencionado foi tratado em 1788 (p. 219 e seguintes) e 1795 (p. 23 e seguintes). Hutton, J.; *Trans. R. S. E.* **1788**, *1*, 209-304. [Facsimile editado por White, G.W.; *Contributions to the History of Geology*, Hafner Press: New York, 1973]. Hutton, J.; *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*; Cadell and Davies: Edinburgh, 1795. [Facsimile editado por Cramer, J.; Swann, H.K., Verlag von J. Cramer: Lehre, 1959, 1960, 1972].
29. Ref. 28, 1795, p. 201.