

Diálogos possíveis entre o ensino fundamentado em modelagem e a História da Ciência

Vinícius Catão de Assis Souza e Rosária Justi

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. E-mail: vcasouza@ufv.br;
Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, E-mail: rjusti@ufmg.br.

Resumo: Este trabalho tem o objetivo de evidenciar como os aspectos históricos podem ser utilizados no planejamento de atividades de ensino e na análise de ideias expressas pelos alunos. Para isso, utilizaram-se atividades relacionadas ao tema "energia envolvida nas transformações químicas", buscando verificar como estas favoreceram na elaboração, expressão e modificação dos modelos pelos alunos. A pesquisa foi conduzida em uma turma de 20 alunos (16-19 anos). Dentre outros resultados, a análise dos dados evidenciou que as atividades e as discussões delas decorrentes favoreceram a modificação de modelos substancialistas e mecanicistas para o calor envolvido nos processos químicos. Além disso, foi possível identificar etapas específicas das atividades de ensino que favoreceram a expressão e modificação de elementos desses modelos. Os resultados são importantes para a formação de professores, pois podem ampliar os conhecimentos dos mesmos sobre a própria natureza da Ciência e sobre como promover um ensino de Ciências mais autêntico.

Palavras-chave: modelagem, História da Ciência, energia, ensino de química.

Title: Possible dialogs between Modelling-Based Teaching and History of Science

Abstract: This paper aims at making it evident how historical aspects can be used in both planning teaching activities and analysing students' expressed ideas. The activities favoured the production, expression and modification of students' models about the energy involved in chemicals changes. The study was conducted in a 20-student class (16-19 years-old). Among the results, the data analysis showed that the activities and the following discussions favoured the modification of the "caloric" and "matter in motion" models. Moreover, it was possible to identify specific stages of the teaching activities that favoured the expression and modification of such models. Our results are important for teachers' education because they can support the development of teachers' knowledge about both the nature of science and how to foster a more authentic science teaching.

Keywords: Modelling-Based Teaching, History of Science, energy, chemistry teaching.

Introdução

Os temas calor e energia sempre despertaram o interesse do ser humano. A História da Ciência nos mostra que houve um laborioso trabalho por parte dos cientistas na busca da explicação para os diversos fenômenos térmicos (sejam eles de origem física ou química). As ideias envolvendo calor e energia foram sendo repensadas ao longo da história, em diferentes momentos e situações vivenciadas pelos cientistas. Em relação ao calor, é importante destacar que ele já foi considerado como algo material (visão substancialista) ou como uma forma de movimento (visão mecanicista). Tais ideias estão presentes até hoje nas concepções destacadas por vários alunos e são verificadas em diferentes situações de ensino pesquisadas, conforme relatado por Souza e Justi (2010).

De acordo com Giordan e Vecchi (1996), a História da Ciência evidencia que o saber não se adquire de imediato, pela simples observação. Ele é elaborado a partir das concepções vigentes, através de um longo processo de retomada e acomodação das ideias que desencadeiam a construção ou aproximação da realidade. O saber científico, então, seria uma construção subjetiva, elaborado na confrontação com a realidade, por meio de uma ruptura em relação às evidências e possíveis concepções prévias.

Nesse sentido, Giordan e Vecchi (1996) ainda acrescentam que é de se lastimar que em todos os níveis de ensino permaneça a recusa de se admitir o caráter histórico inerente aos conceitos construídos nas Ciências, predominando um ensino dogmático. Ao reduzir os conceitos a dogmas, o professor não favorece que o aluno perceba a Ciência como processual, dinâmica e em constante construção.

Nesse artigo, apresentamos uma breve discussão histórica sobre a construção do conceito de calor ao longo do tempo e a análise parcial de uma unidade didática para o tema "energia envolvida nas transformações químicas", que foi estruturada por atividades que envolviam a construção de modelos. Nessa unidade didática, procurou-se estabelecer um diálogo com as ideias substancialista para o calor, apresentadas por alguns cientistas ao longo da História da Ciência, considerando-se as sucessivas concepções acerca do calor e da energia que foram sendo reformuladas com base em novas evidências. Isto porque as mesmas foram consideradas como possíveis concepções dos alunos e, portanto, subsidiaram várias decisões no planejamento das atividades de ensino e na análise das ideias expressas por eles. Maiores detalhes sobre a elaboração da unidade didática estão descritos em Souza e Justi (2010).

A seguir, apresentamos um breve apanhado referente à evolução das ideias históricas envolvendo calor e energia. Ressaltamos que este texto não aborda de modo aprofundado os aspectos históricos e suas particularidades, algo impossível de ser feito em um item desse artigo. Porém, ele apresenta os subsídios necessários para se discutir as concepções sobre calor e energia expressas pelos alunos.

Referenciais teóricos I – Aspectos históricos

Breve panorama das raízes históricas do conhecimento científico relacionado ao calor

As ideias primitivas sobre calor são aquelas originadas das sensações de quente e de frio e, posteriormente, da descoberta do fogo, fato que revolucionou a vida do homem.

Dentre os filósofos naturais que se empenhavam na busca por um princípio único, Heráclito (535-470 a.C.) acreditava que o fogo estava na base das diversas manifestações e transformações da matéria conhecidas. Para ele, a chama podia tomar todas as formas e representava a imagem da diversidade da natureza (Vidal, 1986; Silva, 1995).

Empédocles associou a realidade quatro elementos imutáveis e indestrutíveis, relacionando-os aos estados físicos da matéria: terra (sólido), água (líquido), ar (gás) e fogo (energia). Aristóteles, regatando essas ideias, defendia que à matéria-prima amorfa juntavam-se qualidades que a tornavam sensível e determinavam a sua "forma". Essas qualidades, que totalizavam quatro, constituíam dois pares opostos (quente e frio/seco e úmido). Eram essas qualidades, e não os elementos, que constituíam a base primordial de todas as coisas, pois os elementos correspondiam a combinações delas. Nesse sentido, o fogo, por exemplo, combinava o par quente-seco (Figura 1) (Vidal, 1986).

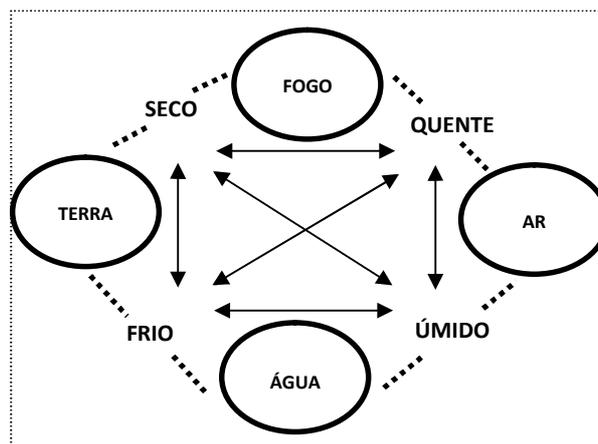


Figura 1.- Os diferentes tipos de elementos e suas qualidades, de acordo com Empédocles e Aristóteles respectivamente.

As experiências relacionadas à sensação de quente e de frio, no contato com vários materiais, geralmente fundamentam os significados que as pessoas atribuem ao calor. Frases como "o metal é frio" e "o frio não sobe na madeira" demonstram uma compreensão de que a temperatura é uma característica inerente da matéria. Segundo Mortimer e Amaral (1998), para os alunos, existem dois tipos de "calor": o calor quente e o calor frio, considerados como sendo diretamente proporcionais à temperatura. Para Silva (1995), nas ideias que transitam pelo senso comum, há uma tendência de estabelecer a temperatura como propriedade dos corpos (não havendo a ideia de equilíbrio térmico).

Para Bachelard (1996), o obstáculo inicial à cultura científica aparece com a primeira experiência (pitoresca, concreta, natural, fácil), que é repleta de imagens. A descrição feita pelo encantamento do fato observado muitas vezes parece gerar uma falsa interpretação e compreensão dos diferentes fenômenos térmicos que perpassaram/perpassam a construção do

conhecimento científico. Isso pode ser destacado ao longo da História da Ciência com a ideia "metafísica" do flogisto, apresentada pelo médico e químico alemão George Ernst Stahl (1660-1734) no final do século XVII, e a do calórico, proposta pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) no final do século XVIII. Ambas caracterizavam alguns dos fenômenos envolvendo o calor dentro de uma perspectiva substancialista (calor como algo material).

Segundo a teoria proposta por Stahl, os combustíveis (carvão, madeira, óleos, dentre outros) continham o flogisto que era liberado durante a queima e que se manifestava na forma de luz e calor. Lavoisier, por sua vez, reconheceu a inviabilidade do flogisto e propôs uma nova teoria em que algo entra (o oxigênio) ao invés de algo que sai (o flogisto). Desse modo, para explicar a produção de luz e calor que frequentemente acompanha as combustões, Lavoisier admitiu que a matéria era constituída também por um elemento imponderável, conhecido como calórico. Assim, o gás oxigênio seria constituído pelos princípios (ou elementos) oxigênio e calórico. A combustão ocorreria quando o combustível tivesse afinidade pelo princípio oxigênio, incorporando esse e liberando o calórico.

Para além das sensações, outras ideias sobre a natureza do calor foram desenvolvidas ao longo da história humana. Para Leucipo (530-430 a.C.) e Demócrito (460-370 a.C.), o calor era constituído por átomos móveis que escapavam dos corpos muito quentes (Guaydier, 1984). Por outro lado, Platão (427-347 a.C.) diferenciou o fogo – que penetra a matéria – do seu efeito – o calor – considerado como o movimento das pequenas partes constituintes da matéria.

Em relação à natureza do calor, uma disputa entre a teoria substancialista e a teoria mecanicista coexistiu por mais de um século. De acordo com Silva (1998), isso ocorreu até a aceitação da lei da conservação da energia, embora tivesse prevalecido a teoria mecanicista. Porém, o modelo material para o calor – relacionado à teoria do calórico – deixou alguns resquícios em termos da linguagem empregada em diferentes situações. Como exemplo, podemos citar o fato de se considerar na linguagem verbal as expressões "calor absorvido" e "calor liberado" ao invés da expressão "calor envolvido nas transformações químicas".

Algumas ideias sobre a natureza do calor se baseiam em atribuir um caráter anímico à matéria. O calor é considerado como atributo dos materiais e esses podem manifestar "vontades" quanto à sua transferência. A noção de calor e os processos de transferência de "calor" ou de "frio" também podem estar relacionados à ideia de calor como uma substância com capacidade de penetrar a matéria. Para Bachelard (1996), o obstáculo animista é muito especial, pois foi utilizado de forma abrangente nos séculos XVII e XVIII e foi quase que totalmente superado pela Física do século XIX. Por outro lado, ele considera que o obstáculo substancialista constitui-se num dos mais difíceis obstáculos a ser superados, pois se apoia numa ideia de fácil compreensão. Para o autor, as ideias de substância e de vida, entendidas de modo ingênuo no ensino das Ciências, são obstáculos fundamentais à construção de um pensamento científico.

Tanto a Física quanto a Química interessam-se pelo estudo das trocas térmicas entre os corpos. Francis Bacon (1561-1626) buscou reunir

elementos que pudessem explicar a natureza e melhor colocar o calor a serviço da humanidade. Pesquisador metódico em suas investigações, Bacon propôs que fossem listados todos os fenômenos em que o calor estivesse presente e também aqueles em que estivesse ausente. Depois, passou à elaboração de uma terceira lista (ou tábua, conforme sua própria denominação), com o objetivo de distinguir os graus de manifestação mais ou menos intensa.

As tábuas baconianas pretendiam arrolar observações isentas de qualquer teorização prévia. Assim, tocar em um recipiente contendo cal virgem (óxido de cálcio, CaO) logo após a adição de água ou manusear o esterco recente de um cavalo eram experiências que acusavam a presença do calor. Por outro lado, perceber que certos metais (ouro, por exemplo) produziam calor perceptível quando dissolvidos pela água régia (mistura dos ácidos clorídrico, HCl, e nítrico, HNO₃, em proporções definidas para cada), era um indicativo da ausência do fenômeno. Examinando o comportamento de diferentes materiais, tornava-se possível compará-los (terceira tábua) e concluir, de forma indutiva, que o tijolo, a pedra e o ferro, depois de aquecidos ao rubro, conservam calor por muito tempo.

Lavoisier, por sua vez, apoiava a chamada "hipótese calórica", segundo a qual o calor se devia à transmissão de um fluido (calórico) dos corpos mais quentes para os mais frios.

O abalo significativo na teoria material do calor ocorreu a partir do trabalho de Benjamin Thompson (1753-1814), conhecido como Conde de Rumford. Em 1798, ele publicou uma minuciosa descrição das suas experiências realizadas nas oficinas do arsenal em Munique. Uma delas consistiu em mergulhar um bloco maciço de bronze, revestido por uma flanela, em uma tina de água. O referido bloco tinha um furo pequeno no seu topo para se introduzir um termômetro e no seu centro um furo maior onde um torno de aço foi introduzido. Uma parelha de dois cavalos fazia girar o tarugo que provocava atrito com o bloco de bronze (Moulton e Schiffers, 1986).

Depois de duas horas e meia de abrasão, Rumford constatou que a água fervia. A partir disso, propôs que a continuidade da experiência poderia resultar em um aquecimento, sem a possibilidade de limite para a quantidade de água que se desejasse colocar ou substituir. Como conclusão, ele escreveu:

Apenas é necessário considerar que não pode ser uma substância material nada que pode ser produzido sem limitação por corpos isolados ou sistemas de corpos, e me parece ser extremamente difícil, se não impossível, formar-se a ideia distinta de algo que pode excitar-se ou comunicar-se, como excitou e comunicou o calor nestes experimentos, salvo o movimento. (Moulton e Schiffers, 1986, p. 232)

A explicação dada por Rumford encontrou pouca aceitação, pois, ainda em 1829, Biot (1774-1862) escreveu que o fato do atrito produzir calor era totalmente desconhecido. Sua crença residia na observação de que o atrito produzia eletricidade e esta, calor (Hoppe, 1928, apud Silva, 1995). De acordo com Silva (1995), outro substancialista importante desta época foi

Sir Humphry Davy (1778-1829), que também estudou o calor produzido por atrito buscando argumentos que comprovassem a teoria substancialista.

Nesse mesmo período, teve início o uso do termo energia associado a diferentes fenômenos, buscando correlações entre eles. É importante destacar que a palavra energia apareceu pela primeira vez nos escritos de Kepler (1571-1630) e foi necessário mais de um século para se associar o referido conceito ao de trabalho, o que apareceu em 1755, em publicação de Euler (1707-1783). Rankine (1820-1872) fez o mesmo uso e definiu os conceitos de energia cinética e energia potencial. Com a descoberta da pilha de Volta (1745-1827), com as experiências de Faraday (1791-1862) e com os estudos sobre a produção de calor pela corrente elétrica de Joule (1818-1889), foram propostas várias analogias entre fenômenos até então desconhecidos ou considerados independentes. Isto deve, possivelmente, ter orientado Julius Mayer (1814-1878) e Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832) em seus estudos sobre o calor (Gilbert, 1982).

Em 1822, a *Théorie Analytique de la Chaleur* foi publicada por Fourier (1768-1830). Essa obra apresenta um importante formalismo matemático para a condução do calor nos sólidos, permitindo que se pudesse fazer uma analogia entre os fenômenos térmicos e os acústicos. Isto porque o calor era reconhecido como movimento e "passava" por um sólido de forma quase semelhante a uma onda sonora (Bachelard, 1996).

É interessante destacar que Carnot chegou a expressar a analogia do calor como fluido que passaria de um corpo mais quente para outro mais frio com o comportamento semelhante ao da água que escoava entre dois recipientes conectados e que se encontram em níveis diferentes em termos de altura da coluna de água, até que os níveis nos dois recipientes se igualem.

Extrapolando essas discussões para o campo industrial, cabe ressaltar que as aplicações do calor foram se tornando progressivamente mais importantes. O escocês James Watt patenteou, em 1769, a primeira máquina a vapor, desencadeando a procura por equipamentos com maior rendimento na conversão de calor em trabalho mecânico. Tal corrida resultou na criação de uma área de conhecimento para o estudo dos fenômenos térmicos: a Termodinâmica, que estabeleceu os princípios da conservação da energia (primeiro princípio) e do aumento da entropia do universo (segundo princípio). De acordo com Oliveira e Santos (1998), a Termodinâmica promoveu uma abertura e expansão do pensamento que levou os cientistas a se tornarem mais exigentes com relação às teorias que formulavam.

Em vista disso, no século XIX, a hipótese do calórico perdeu prestígio e novos meios de explicação foram buscados. Uma ferramenta importante nessa busca foi a teoria atômico-molecular, que serviu de apoio a Ludwig Boltzmann para a formulação da teoria cinética dos gases. Reconhecida somente após sua morte, a teoria de Boltzmann permitiu que os físicos do século XX estabelecessem os atuais conceitos de temperatura (medida do grau de agitação molecular médio de um corpo) e calor (fluxo de energia entre corpos mantidos a diferentes gradientes de temperaturas).

A História da Ciência e sua relação com a educação científica

Várias propostas apresentadas em diversos países, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio no Brasil, PCNEM (M.E.C., 2000), destacam que é fundamental explicitar para os alunos o caráter dinâmico da Ciência, tendo em vista a interpretação dos diferentes fenômenos que perpassam a construção do conhecimento científico. Assim, o conhecimento químico não deve ser entendido como um conjunto de saberes isolados e acabados, mas sim como uma construção da mente humana, em permanente mudança. Os PCNEM ressaltam que

[...] a História da Química, como parte do conhecimento socialmente produzido, deve permear todo o ensino de Química, possibilitando ao aluno a compreensão do processo de elaboração desse conhecimento, com seus avanços, erros e conflitos. (M.E.C., 2000, p. 31)

A consciência de que o conhecimento científico é dinâmico e mutável permitiria que o estudante e o professor desenvolvessem uma visão mais crítica e reflexiva sobre a natureza da Ciência. Não se pode simplesmente aceitar a Ciência de forma hermética e ensiná-la nas escolas como "a verdade absoluta", acima do bem e do mal. A Ciência deve ser percebida como uma criação do intelecto humano e, como qualquer atividade humana, também submetida a avaliações de diferentes naturezas (ética, moral, política, religiosa etc.).

A introdução da História da Ciência no ensino pode diminuir o nível de abstração do conteúdo das disciplinas científicas e estabelecer relações entre diferentes tópicos com assuntos de outras disciplinas. Isto aconteceria na medida em que os alunos percebessem a lógica da produção de determinados conhecimentos que objetivem explicitar as relações entre aspectos que, em geral, são apresentados de forma estanque.

Considerando o cenário educacional na atualidade, sobretudo quando voltamos o foco para o ensino de Ciências, constatamos que inúmeras propostas emergem com o objetivo de construir um conhecimento mais significativo para os alunos, que muitas vezes não compreendem para que e por que estudam Ciências. Tais propostas se apresentam como uma alternativa ao ensino caracterizado como tradicional e que é amplamente difundido nas escolas brasileiras. Algumas dessas propostas se baseiam na introdução de elementos históricos, como as descritas por Solbes e Traver (1996) e Irwin (2000). Esses trabalhos evidenciam que a falta de uma perspectiva histórica adequada em relação à natureza e evolução da Ciência causa um grande desinteresse dos alunos para a aprendizagem da Física e da Química.

Solbes e Traver (1996) sugerem que uma possível solução para as dificuldades relacionadas ao ensino e à aprendizagem das Ciências poderia estar no trabalho com a História da Ciência por meio da evolução crítica das ideias que perpassam o desenvolvimento do conhecimento científico ao longo de sua construção. Com isso, os alunos poderiam compreender o significado de a Ciência ser provisória, ter ideias que vão sendo construídas e, paulatinamente, reconstruídas por meio de novas evidências ou contextos ao qual se inserem. Nesse sentido, eles defendem que a

introdução da História da Ciência no ensino permite que os alunos compreendam como se constrói e se desenvolve a Ciência e quais repercussões sociais têm esses conhecimentos.

As constatações destacadas anteriormente apontam que a História da Ciência precisa ser vivenciada pelos alunos em contextos dinâmicos e reflexivos, assim como fazem os cientistas no processo de produção do conhecimento. Muitas vezes, os diversos materiais didáticos que se propõem a apresentar a História da Ciência trazem aos alunos uma estória da Ciência (ou pseudo história) que, em vez de ajudar a modificar a visão popular equivocada a respeito de como se processa o desenvolvimento do conhecimento científico, contribui para reforçar e perpetuar mitos e problemas a respeito dos "gênios" da Ciência, das descobertas "repentinamente" que ocorrem "por acaso" e outros erros graves a respeito da natureza da Ciência (Martins, 2006).

De acordo com Gil-Pérez, Fernández-Montoro, Carrascosa-Alís, Cachapuz e Praia (2001) e Fernández, Gil-Pérez, Carrascosa-Alís, Cachapuz e Praia (2002), os alunos dos diferentes níveis de ensino, os professores e o público de um modo geral apresentam inúmeras concepções ingênuas, mal fundamentadas e, conseqüentemente, incorretas sobre a natureza das Ciências e sua relação com a sociedade. Alguns, inclusive, atribuem à Ciência o caráter dogmático, considerando-a como a verdade absoluta e inquestionável, ou seja, aquilo que foi provado e aceito como "a verdade".

Entretanto, para que a introdução da História da Ciência no ensino possa ajudar a transmitir uma visão mais adequada sobre a natureza da Ciência e auxiliar no aprendizado dos diferentes conteúdos científicos, é fundamental que o professor conheça as principais concepções alternativas dos alunos a respeito de aspectos históricos. A partir daí, ele pode criar novas estratégias de ensino que permitam abordar os conceitos de forma significativa, dando aos alunos a oportunidade de transformá-las gradativamente ao longo do processo de ensino. Desse modo, o processo pelo qual o aluno passará poderá ser semelhante ao processo de desenvolvimento histórico da própria Ciência (Barros e Carvalho, 1998). Isto poderá resultar em os alunos entenderem que, na História da Ciência, sempre houve discussões na busca pela construção das ideias, que algumas pessoas já tiveram concepções semelhantes as que eles apresentam e que essas formas de pensar foram modificadas e/ou substituídas por outras mais coerentes.

Além disso, de acordo com Martins (2006), o estudo adequado de algumas passagens históricas permite compreender que a Ciência não é o resultado da aplicação de um "método científico fechado", que permitiria chegar à verdade absoluta. Ao contrário, os pesquisadores formulam hipóteses a partir de ideias que podem ter qualquer tipo de fundamento (empírico ou não); constroem teorias provisórias que podem ser contraditórias; defendem suas ideias com argumentos que, em alguns momentos, podem ser fracos ou até mesmo irracionais. Sendo assim, o ensino relacionado aos aspectos históricos permitiria um maior conhecimento sobre o real processo científico, proporcionando aos alunos vivenciar tal processo e, assim, desenvolver uma compreensão mais fiel da atividade científica.

Referenciais teóricos II – Modelagem na Ciência e no ensino

De acordo com Justi (2006),

O significado de modelo tem sido discutido, dentre outros, por cientistas, filósofos da Ciência, psicólogos, linguistas e educadores. Atualmente, a visão mais aceita é a de que um modelo é a representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema, criado com um objetivo específico (Gilbert, Boulter e Elmer, 2000). (Justi, 2006, p. 175)

No que diz respeito especificamente à construção de modelos, este é um processo inerente ao sistema cognitivo humano (Vosniadou, 2002). Na busca incessante por compreender o mundo, o homem constrói modelos que representam aspectos tanto do mundo físico quanto do social e manipula esses modelos ao pensar, planejar e tentar explicar eventos desse mundo. Dessa forma, modelos sempre estão presentes no processo de aquisição e construção do conhecimento.

Vários estudos têm mostrado que a utilização de modelos e modelagem no ensino de Ciências, na perspectiva de promover a construção do conhecimento dos alunos, pode contribuir de modo relevante para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa. Dentre as pesquisas relacionadas ao ensino de Ciências, destacamos Barab, Hay, Barnett e Keating (2000), Buty e Mortimer (2008), Maia e Justi (2009), Mendonça e Justi (2009), Nersessian (1999), Souza e Justi (2010, 2011), Vosniadou (2002), dentre outras não menos expressivas.

Muitas dessas pesquisas evidenciam que o sucesso dessa abordagem se deve ao fato de o aluno ser um sujeito ativo na construção de novos conhecimentos e de as concepções prévias dos mesmos serem efetivamente levadas em conta, pois é a partir delas que os modelos são construídos e/ou reformulados.

Finalmente, é importante enfatizar que o processo de ensino baseado em atividades de modelagem permite ao aluno aprender sobre a construção da Ciência, tendo em vista que uma das mais importantes atividades dos cientistas é construir, elaborar, testar e validar modelos. Além disso, considerando que a construção e o emprego de modelos representam os alicerces do processo da pesquisa científica, compreender a abrangência e relevância da modelagem significa (re)conhecer as bases sobre as quais se desenvolve o conhecimento científico (Golbert e Buckley, 2000; Halloun, 2004; Morrison e Morgan, 1999).

Em nosso estudo, os alunos participaram de atividades de modelagem, descritas em Souza e Justi (2010). Essas atividades objetivavam ensinar sobre o calor envolvido nas transformações químicas. Em uma delas, elementos da História da Ciência foram introduzidos visando ajudar os alunos a concluir que o calor não pode ser caracterizado como algo que tenha massa (visão substancialista). Além disso, toda a dinâmica do processo de instrução favoreceu o debate e a (re)construção de novas ideias de forma dinâmica e reflexiva, como acontece na gênese da Ciência.

Contexto da pesquisa

A utilização dos aspectos históricos referentes ao desenvolvimento do conhecimento sobre energia ocorreu em dois momentos distintos deste trabalho: na elaboração de uma das atividades e na análise das ideias expressas pelos alunos durante o processo de aprendizagem, procurando estabelecer uma interlocução entre a evolução das suas ideias ao longo das atividades e a evolução do pensamento científico no decorrer da História da Ciência.

A elaboração da atividade foi motivada pela constatação, na literatura e em nossa prática docente, de que a maioria dos alunos ainda apresenta uma visão substancialista do calor, sendo esse considerado um dos produtos das transformações químicas. Por isso, consideramos como ponto de partida os aspectos históricos envolvendo a questão substancialista do calor como, por exemplo, as concepções do calor presente nas ideias do flogisto e do calórico, que estão em consonância com algumas das ideias apresentadas em vários materiais instrucionais voltados para o ensino de Ciências e, conseqüentemente, apropriadas pelos alunos no processo de construção de seu conhecimento.

Para ilustrar essa abordagem na dinâmica da unidade didática, foi elaborada uma atividade com dados empíricos que permitiam uma discussão mais ampla sobre a concepção material do calor. Para tal, apresentamos aos alunos a tabela 1, com o enunciado indicando que os dados foram obtidos por meio da combustão da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Experimento	Sacarose + oxigênio → gás carbônico + água				Energia envolvida (sistema aquecido)
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	O_2	CO_2	H_2O	
1	34,20 g	38,40 g	52,80 g	19,80 g	690,18 kJ
2	102,60 g	115,20 g	158,40 g	59,40 g	2071,54 kJ

Tabela 1.- Dados obtidos na combustão da sacarose.

Na sequência, solicitamos que os alunos discutissem em grupo as seguintes questões:

1. Analisando os dados dos dois experimentos, o que você pode dizer sobre as massas dos reagentes em relação às massas dos produtos?

2. Esta relação entre as massas era esperada? Por quê?

3. Ao analisar o quadro, um aluno de um ano anterior fez o seguinte comentário: "Esse quadro está incompleto, pois falta o valor da massa da energia.". O que você responderia a esse aluno? Justifique sua resposta.

Como evidenciado nesta atividade, nenhum aspecto histórico foi apresentado diretamente aos alunos. O que fizemos foi utilizar concepções que perpassaram a evolução histórica do conceito de calor, sobretudo em relação às ideias substancialista e mecanicista, como alicerce para algumas das questões que objetivavam subsidiar a construção do conhecimento, pois antecipamos algumas ideias que os alunos poderiam apresentar. Isto nos

favoreceu apresentar-lhes desafios semelhantes àqueles superados ao longo da história. Como exemplo, podemos mencionar as ideias envolvendo a transferência de calor entre dois sistemas ou o calor oriundo de uma transformação química, como as combustões. Estas ideias foram (e frequentemente ainda são) explicadas por meio de relações substancialistas.

Considerando esses aspectos, propusemos a atividade descrita anteriormente, que tinha como um de seus principais objetivos auxiliar os alunos a perceber que a energia não tem massa, não podendo ser um dos produtos da transformação química. Esse foi o primeiro passo para que eles refletissem sobre as relações sobre energia envolvida nas transformações químicas, buscando construir uma ideia processual do fenômeno em estudo.

Aspectos metodológicos – Questão de pesquisa, amostra, coleta e análise dos dados

O presente trabalho busca relatar a transposição de aspectos históricos para a elaboração e análise de uma unidade didática alicerçada na utilização de modelagem, cuja temática era a energia envolvida nas transformações químicas. Para tanto, foi investigada a seguinte questão de pesquisa: “Como aspectos históricos referentes ao desenvolvimento do conhecimento acerca do calor e da energia envolvida nas transformações químicas podem auxiliar na compreensão e interpretação dos modelos elaborados pelos alunos?”.

A turma era formada por 20 alunos, com uma faixa etária variando de 16 a 19 anos, de uma escola pública federal de Belo Horizonte. Tais alunos estiveram dispostos em quatro grupos fixos contendo cinco componentes cada. Tanto a professora quanto os alunos desta turma já estavam habituados a trabalhar com atividades envolvendo modelagem. Esse processo de ensino ocorreu com a participação ativa dos alunos e por uma ação colaborativa associada a muita reflexão por parte dos alunos e da professora. O pesquisador apenas acompanhou e registrou as aulas em vídeo e por meio de notas de campo.

Toda a coleta de dados ocorreu após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais e assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos e de seus responsáveis legais.

A seguir, apresentamos partes referentes ao estudo de caso de um dos quatro grupos participantes desta pesquisa: o grupo 4. Este grupo foi escolhido por ser representativo de toda a turma (em termos dos questionamentos apresentados durante a dinâmica de trabalho) e de a maioria dos alunos terem sido assíduos durante as aulas em que a unidade didática foi aplicada. As partes selecionadas são as que apresentam situações relacionadas à expressão e modificação de ideias dos alunos semelhantes àquelas expressas e modificadas durante o desenvolvimento histórico do conhecimento sobre o tema.

Neste relato, cada aluno é identificado pelo código Ax, em que x é um número de ordem, atribuído aleatoriamente aos cinco alunos do grupo. Além disso, todas as falas dos alunos são apresentadas entre aspas duplas

e marcadas em itálico sendo, assim, distinguidas das demais ideias apresentadas no decorrer do texto.

A análise desses dados busca evidenciar como os modelos expressos pelos alunos se relacionam a modelos históricos de energia ou calor, nos permitindo responder à questão de pesquisa apresentada anteriormente.

Apresentação dos resultados

Em uma das atividades de ensino proposta, foi solicitada a elaboração de modelos para a reação de combustão do gás hidrogênio [$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$]. O modelo da reação simulando o rearranjo dos átomos foi corretamente expresso por todos os alunos do grupo. As proporções estequiométricas entre os reagentes e os produtos também foram corretamente consideradas, destacando-se as quantidades expressas na questão e confirmando as ideias relacionadas à conservação das massas.

Ao serem questionados sobre o que deveria acontecer com as moléculas dos reagentes e dos produtos durante a reação, todos afirmaram que ocorria a “quebra das moléculas dos reagentes para um posterior rearranjo dos átomos, formando o produto”.

Na reformulação do modelo inicial, os alunos representaram, nos dois sistemas (aquecido e resfriado), setas indicando a absorção de energia nos reagentes e a liberação nos produtos (Figura 2).



Figura 2.- Modelo reformulado pelos alunos do G4 para o sistema aquecido e resfriado.

Como se pode observar na primeira parte da figura 2, os reagentes (representados por bolinhas de dois tamanhos diferenciados) são separados dos produtos (representados por triângulos) com um traço (divisória), indicando que são situações distintas, ou seja, que se processam de maneira independente. Ao fazer isto, os alunos parecem não expressar suas ideias relacionadas ao rearranjo dos átomos. Além do mais, nenhum deles evidenciou em suas explicações que havia pensado em um saldo energético final, caracterizando o processo químico como endotérmico ou exotérmico. Porém, observamos que as setas indicando a absorção e liberação de energia possuem tamanhos diferenciados nos reagentes e no produto. Tal fato pode ser constatado no novo modelo para o sistema resfriado, também apresentado na figura 2.

Na explicação dos modelos, A5 ressaltou a ideia de quebra e formação das ligações no sistema aquecido, enquanto A3 destacou que o sistema

“absorve menos energia do que libera”, sem dar maiores esclarecimentos. Para o sistema resfriado, as explicações estavam alicerçadas nas mesmas ideias apresentadas para o sistema aquecido.

Na sequência das discussões fomentadas pela atividade, o aluno A4 apresentou o seguinte questionamento: “Se todo sistema tende a um estado de menor energia, não seria incoerente a ocorrência de uma reação endotérmica (sic), onde os produtos terão mais energia que os reagentes?”

A partir do diálogo instigado pelo questionamento anterior, envolvendo toda a turma, a professora retomou a questão da limitação dos modelos na explicação de alguns detalhes da reação. Ela também destacou as diferentes percepções inerentes ao fazer Ciência e às limitações dos modelos na explicação de inúmeras teorias (os modelos são ferramentas que nos proporcionam explicar algo, mas são limitados em diversos aspectos). Em termos químicos, ela destacou que a explicação do processo endotérmico deve levar em conta outras variáveis, como entropia do sistema, afinidade química, energia interna, entre outros fatores termodinâmicos que fogem ao poder de previsão dos modelos concretos elaborados para se descrever apenas os rearranjos dos átomos durante as transformações químicas. Além disso, ela enfatizou que, embora também aconteça rearranjo dos átomos em processos endotérmicos, algumas explicações para a ocorrência deste tipo de reação são limitadas se feitas considerando-se apenas a abrangência do modelo em questão.

É relevante destacar que, na discussão que se sucedeu, o aluno A5, buscando uma resposta para a inquietação que havia se estabelecido na sala de aula, disse que o sistema resfriado tinha que “pegar menos energia e liberar mais”.

Três semanas após o fim das atividades de modelagem, os alunos fizeram uma atividade avaliativa. Na primeira questão, que solicitou a proposição de uma explicação para o fato de a energia ter sido gerada na reação entre flúor (F_2) e hidrogênio (H_2), eles responderam de maneiras distintas: “Absorção de energia na quebra das ligações e liberação em sua formação” (A1); “Quebra de ligação libera energia” (A4); “Átomos se ligam liberando energia” (A3); e “Gerou energia, pois absorveu menos do que liberou” (A4 e A5). Embora todas as respostas contenham a ideia do balanço energético, apenas A1 conseguiu explicar tal ideia de forma completa.

Em outra questão, ao serem questionados sobre possíveis incoerências nas equações químicas utilizadas para descrever os processos de fotossíntese e respiração, dois alunos expressaram ideias claramente substancialistas, afirmando que: “As equações deveriam indicar a energia envolvida no sistema como produto da reação, semelhantes às moléculas de ATP que ao serem quebradas liberam energia.” (A1 e A4)

Na questão seguinte, os alunos analisaram criticamente modelos para a reação de combustão do hidrogênio, supostamente elaborados por outros alunos (Figura 3).

Eles destacaram: a proporção estequiométrica incorreta no primeiro modelo (A1 e A5); a utilização incoerente de um símbolo de igualdade para

representar a formação dos produtos no primeiro modelo (A2); e a não consideração da energia envolvida no processo (A3, A4 e A5).



Figura 3.- Modelos apresentados aos alunos na questão da avaliação.

Quando foram questionados sobre a coerência da não representação da energia envolvida no processo químico, nos modelos da figura 3, quatro alunos responderam que não era coerente deixar de fazer tal representação. Em suas justificativas, eles enfatizavam que “deveria ser representada a energia envolvida na quebra e formação das ligações” (A1, A3, A4 e A5), sem dar maiores explicações para tal fato. O aluno A2, por sua vez, respondeu que os modelos são coerentes, mesmo não destacando a energia em suas representações, visto que “liberou-se pouca energia, por isso não é necessário representá-la”.

Na questão seguinte, que apresentava o desenho de um carro próximo a uma bomba de gasolina e a associação dessa representação com o termo “energia química”, os alunos A1, A3 e A5 responderam que aquela ilustração era adequada para se exemplificar a ideia de energia química, uma vez que o combustível seria a energia que movimenta o automóvel. Os outros dois alunos responderam que a representação não era adequada, destacando que “o desenho é muito superficial (pouco ilustrativo)” (A2) e que “permitiria associações incorretas com o significado real de energia química” (A4). O aluno A4, por sua vez, não explicitou qual seria o “significado real” do termo energia química enfatizado em sua resposta.

Ainda nesta questão, todos os alunos desse grupo relataram que a associação do desenho com energia química era proveniente da ocorrência de uma reação de combustão que produziria energia para movimentar o carro.

Na sequência, ao serem questionados sobre como explicariam a um colega da turma que o álcool queima liberando energia, as principais ideias expressas pelos alunos foram: “Busca de estabilidade do sistema com a liberação de energia” (A1); “Nem toda a energia envolvida no processo é usada, sendo que o excedente é liberado” (A2); “Cede energia térmica e O_2 para o álcool reagir e liberar calor” (A3); “O sistema absorve energia para quebrar as interações/ligações existentes entre os reagentes e libera energia ao formar os produtos” (A4); e “Relação entre energia e calor” (A5). Assim, a ideia geral de balanço energético final está presente na maioria das respostas, variando apenas a maneira como é explicada.

Por fim, ao serem questionados sobre a possibilidade de substituir a palavra libera (palavra essa que remete a uma ideia fortemente substancialista) por alguma outra que melhor representasse o que ocorre

no sistema, três alunos responderam que tal substituição seria coerente. Para eles, a palavra libera poderia ser substituída por "descarta" (A4), "cedida" (A2) e "absorve" (A3). Os demais alunos, no entanto, disseram ser coerente utilizar a terminologia libera, demonstrando uma compreensão adequada do termo nos processos químicos.

Discussão dos resultados

Em relação a este grupo, é importante reafirmar que a ideia substancialista para a energia foi apresentada nas respostas durante todo o processo. O aluno A2, em determinado momento da socialização dos modelos, chegou a afirmar "Eu vi o calor saindo da reação", possivelmente fazendo referência à liberação de vapor de água em uma transformação química exotérmica demonstrada em uma das aulas pela professora (mistura do açúcar cristal com ácido sulfúrico). O aluno A5, por sua vez, afirmou que o sistema resfriado tinha que "pegar menos energia" e "liberar mais". Para ele, "embora se tenha a sensação de quente, o sistema deverá ter menos energia, pois esta foi liberada, fazendo com que ele esteja frio".

Ao final da socialização e discussão dos modelos, esses alunos chegaram a um que foi consensual (absorção de energia para quebrar as ligações e liberação para formá-las), o que lhes permitiu representar corretamente a ideia envolvendo o rearranjo dos átomos e as relações que permeiam a quebra e formação das ligações.

Com a dinâmica estabelecida em sala de aula, percebemos que a noção material do calor ainda é muito forte nas concepções dos alunos, sobretudo porque representa uma ideia fácil de ser associada às diferentes transformações químicas, proporcionando uma explicação convincente para os mesmos. Embora seja de mais fácil apreensão, considerar o calor como um fluido material cria obstáculos para a aprendizagem do modelo científico referente à energia envolvida nas transformações químicas, pois essa não se caracteriza como uma espécie de ingrediente que os corpos possuem e transmitem fisicamente para os outros corpos, semelhante a um "fluido imponderável", nas palavras de Lavoisier.

Como foi mencionado na Introdução desse artigo, em um determinado momento histórico acreditava-se que na combustão havia a liberação de flogisto, ou seja, havia saída de algo. Se observarmos mais atentamente um pedaço de madeira pegando fogo ou mesmo a chama de uma vela, notamos que o fogo é algo que emana da superfície da lenha ou do pavio. Essa impressão tão evidente foi, na verdade, um obstáculo para se tentar compreender o real significado do fogo ao longo da história e, por conseguinte, das transformações químicas envolvendo calor. O mesmo foi observado na fala do aluno A2 quando, após observar uma transformação química caracterizada como exotérmica, ele disse a seus colegas "Eu vi o calor saindo da reação".

Para uma melhor compreensão dos processos de transferência de energia, é preciso lançar mão de modelos corpusculares da matéria. Nesses modelos, a energia cinética molecular é uma das parcelas que compõem a energia interna de um sistema. Porém, identificar esta parcela com o calor é retomar a ideia de que o calor está contido no sistema, o que não é aceito pela Ciência hoje, pois um processo não pode estar contido em nada, dada

a sua dinamicidade. Tal ideia foi observada nos modelos iniciais criados pelos alunos, que se relacionavam ao modelo cinético molecular das partículas.

Em outra aula, percebemos que os alunos associaram algumas ideias sobre energia à força, vigor físico e disposição. Isso pode ser relacionado ao fato de, na História da Ciência, o termo energia já ter sido usado com um sentido equivalente à atividade, ato e força. Na filosofia escolástica, ele era designado pelos termos "virtus" e "vis", sobretudo com uma associação ao vigor físico dos deuses, descrito na mitologia grega. Não é de se estranhar, então, que energia seja comumente utilizada como sinônimo de força ou de potência.

De acordo com Brown (1950), a ideia do calórico explicava algumas situações, como as variações de volume dos corpos quando aquecidos e resfriados, as mudanças de estados de agregação e a transferência de energia causada por diferença de temperatura. Isto pode justificar porque os alunos tendem a pensar que o calor sai, fazendo com que o corpo fique menos denso do que o ar. Além disso, associam a expansão dos gases em temperaturas maiores a uma mudança no estado de agregação das moléculas ou a uma possível dilatação das mesmas. Esta ideia foi observada nos modelos iniciais criados pelos alunos do grupo 4, que representavam as partículas no sistema aquecido mais afastadas (menor estado de agregação, ocupando um maior volume no sistema) e as partículas no sistema resfriado mais juntas (maior estado de agregação, ocupando um menor volume no sistema).

Silva (1998) destaca que alguns termos como, por exemplo, transferência de calor, condução de calor, absorção e liberação de calor são provenientes da época em que o calor era considerado como um fluido que penetrava os corpos e, portanto, podia ser transferido, conduzido, absorvido, liberado. Além disso, as ideias de capacidade calorífica e calor específico se associavam às capacidades de contenção do calórico pelos sistemas. Por isso, acreditamos que a ideia do armazenamento de energia decorre do fato de ela ser tratada não como um conceito físico abstrato, mas como algo real, como um fluido ou um combustível que possa ser armazenado ou transferido de um corpo a outro.

No contexto das transformações químicas, é importante ressaltar que muitos materiais didáticos reforçam, de forma ingênua, a ideia da energia como produto de um processo termoquímico, o que nos parece ser a consequência de se considerar o calor como uma substância se propagando de um corpo a outro ou sendo liberado em uma transformação química (como nas reações de combustão, por exemplo).

Em relação ao modelo mecanicista do calor, muitos alunos relacionaram a ideia do movimento ou atrito das partículas ao calor inerente a um corpo. Isso pode ser relacionado, por exemplo, ao fato de o atrito entre dois corpos nos passar uma sensação térmica de aquecimento (como o que se sente ao se atritar uma mão na outra). Com tal ideia, os alunos estabeleceram associações inadequadas, apresentando ideias de calor como o produto de algum movimento, sem relacionar tal fato à ideia de conservação/ transformação da energia (energia cinética se transforma em energia térmica).

Outra associação que merece ser retomada se refere à agitação molecular, conforme nos é apresentada no modelo cinético molecular das partículas. Isso fez com que alguns alunos utilizassem a ideia do calor como sendo sinônimo de temperatura (grau de agitação das partículas), o que não apresenta pertinência do ponto de vista científico quando esse conceito é transposto diretamente para o conceito de calor. Tal ideia foi muito explorada pelos alunos do grupo 4 durante uma discussão ocorrida com os alunos do grupo 1, quando esses explicaram para a turma o modelo elaborado para as transformações químicas demonstradas pela professora. Um dos alunos desse grupo apresentou a seguinte ideia: "Na situação inicial, as moléculas se movimentam muito, o que impede a ligação. Por isso, ela libera energia e as partículas podem se unir formando as ligações" (A1G1). Em relação à explicação para o sistema resfriado, foram expressas duas ideias distintas: "Os produtos têm menos energia que os reagentes. Por isso, liberam energia" (A3G1); e "Na situação inicial, as moléculas estão muito unidas, com pouca energia cinética. Para quebrar as ligações, elas recebem energia do ambiente" (A1G1).

Em alguns modelos (como o apresentado na figura 3), os alunos do grupo 4 representaram a energia utilizando setas e, em suas explicações, enfatizaram que o aumento da agitação das partículas era responsável pelo aumento da temperatura do sistema, sobretudo após a discussão ocorrida com os alunos do grupo 1. Tais ideias estão em consonância com a concepção do calórico, ou seja, fluido material que se desloca de um corpo a outro, de modo que um corpo perde e outro ganha, se aquecendo ou se resfriando. Nesse sentido, as setas poderiam representar o calor com esse fluido material, capaz de migrar fisicamente de um corpo a outro.

Conclusões

Na análise das ideias expressas pelos alunos, percebemos a existência de relações entre as mesmas e os modelos científicos que predominaram em determinado período histórico, nos mais diversos campos do conhecimento. Para Gil-Pérez e Carrascosa Alis (1985), esse tipo de relação não parece ser uma coincidência meramente acidental. Essa similaridade está relacionada com a tentativa de os alunos explicarem os diferentes fenômenos baseando-se no senso comum, em uma concepção não científica, sem duvidar se ela é a que melhor se enquadra na interpretação do fenômeno, aceitando-a como verdade, regra geral obtida de forma rápida e superficial, conforme ressaltou Bachelard (1996).

A identificação de modelos expressos pelos alunos em diferentes momentos das atividades de modelagem com os modelos históricos (nitidamente o substancialista e o mecanicista) favoreceu, sobremaneira, nosso entendimento do processo de modificação das ideias dos alunos ao longo desse processo de ensino. Assim, pudemos identificar etapas específicas das atividades de ensino fundamentadas em modelagem que favoreceram a expressão e modificação de elementos desses modelos, além de discutir possíveis motivos para a permanência dos mesmos em alguns casos.

No contexto das transformações químicas, é importante ressaltar que muitos materiais didáticos reforçam a ideia da energia como produto de um

processo termoquímico, o que nos parece ser consequência de se considerar o calor como uma substância se propagando de um corpo a outro ou sendo liberado em uma transformação química (como nos processos envolvendo as combustões, por exemplo).

A nosso ver, o contexto de ensino permitiu aos alunos repensar suas concepções substancialistas em relação ao calor, em um ambiente interativo e dinâmico, como ocorre na Ciência. Para isso, foram apresentadas discussões sobre a natureza do calor envolvido nas transformações químicas, favorecendo a superação de possíveis concepções substancialistas, como destacado por Lavoisier quando investigou a natureza do calor ("matéria do fogo" ou "calórico"). Isto ocorreu porque, a partir do conhecimento desses aspectos históricos, propusemos atividades de ensino na qual os alunos vivenciaram, de modo sutil, etapas da evolução do pensamento na História da Ciência, favorecendo a (re)construção de diferentes modelos explicativos para os fenômenos relacionados ao calor.

Por fim, a consideração de tais questões históricas nos permitiu atentar de modo mais criterioso para a questão da linguagem utilizada no contexto do ensino de aspectos termoquímicos, principalmente o uso desprezioso de expressões que remetem a concepções substancialistas relacionadas ao calor envolvido nas transformações químicas, como "calor absorvido e liberado", "energia armazenada" em um sistema, dentre outras. Independente de todo e qualquer preciosismo que remete às questões da linguagem, acreditamos que ela se apresenta de modo particularmente especial neste contexto. Por isso, caso a linguagem não seja utilizada com critério e rigor nas diferentes situações de ensino, poderá reforçar as concepções alternativas trazidas do senso comum, com o desenvolvimento de ideias substancialistas corroboradas por uma linguagem superficial utilizada, muitas vezes, em livros e situações de ensino. Maiores detalhes sobre este aspecto podem ser encontrados em Souza e Justi (2011).

Implicações para o ensino de química

Em relação ao ensino de Química, acreditamos que não podemos mais continuar apáticos sobre como se ensina, pensando que basta conhecer um pouco o conteúdo e saber lidar com os alunos para mantê-los apreciando as nossas aulas e supondo que, enquanto "prestam atenção", eles estão aprendendo. Consideramos importante procurar incorporar em nossa prática docente a imensa quantidade de pesquisas realizadas recentemente sobre a aprendizagem em geral e, especificamente, sobre a aprendizagem dos conceitos científicos, incluindo as discussões sobre como os trabalhos em História e Filosofia da Ciência podem contribuir para uma melhor compreensão dos conteúdos científicos (Adúriz-Bravo, Izquierdo e Estany, 2002; Driver, Leach, Millar e Scott, 1996). Entretanto, essa incorporação não pode ser aleatória, sem uma reflexão que abarque todos os diferentes âmbitos dos processos de ensino e aprendizagem.

Nesse sentido, destacamos a importância de o professor buscar um amplo conhecimento sobre aspectos históricos relativos a temas fundamentais no ensino de Ciências, como a energia. Assim, ele poderia identificar, junto aos alunos, ideias ou formas de raciocínio análogas às aquelas utilizadas por cientistas e promover discussões das mesmas que

permitted students to develop a scientific and critical way of thinking, instead of accepting a ready-made knowledge imposed by the professor (Matthews, 1994). This knowledge can also expand the professor's knowledge about the nature of science, contributing to the idea that science is a human product, historical, and subject to constant change. In this way, the professor can teach science highlighting its origins and the problems that shaped its construction (Gil-Pérez, 1993). This can result, according to Solbes and Traver (2001), in the following:

1. Know better the aspects of the History of Science, generally ignored and, consequently, show a more complete and contextualized image of science;

2. Value appropriately the internal processes of scientific work, for example, the problems addressed, the role of discovery, the importance of experiments, mathematical formalism and the evolution of knowledge (crises, controversies and internal changes);

3. Value appropriately external aspects, such as the collective character of science.

All these aspects are essential for a more authentic teaching, which not only aims at the learning of the content of science, but also at the nature of science and the practice of science (Gilbert, 2004).

Agradecimentos

Aos alunos e à professora que participaram desta pesquisa e ao CNPq.

Referências bibliográficas

Adúriz-Bravo, A.; Izquierdo, M. e A. Estany (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencia en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 465-476.

Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto.

Barab, S.A.; Hay, K.E.; Barnett, M. e T. Keating (2000). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 7, 719-756.

Barros, M.A. e A. M. P. Carvalho (1998). A história da ciência iluminando o ensino de visão. *Ciência & Educação*, 5, 1, 83-94.

Brown, S.C. (1950). The Caloric Theory of Heat. *American Journal of Physics*, 18, 367-373.

Buty, C. e E.F. Mortimer (2008). Dialogical/Authoritative Discourse and Modelling in High School Teaching Sequence on Optics. *International Journal of Science Education*, 30, 12, 1635-1660.

Driver, R.; Leach, J.; Millar, R. e P. Scott (1996). *Young people's image of science*. Bristol: Open University Press.

Fernández, I.; Gil-Pérez, D.; Carrascosa-Alís, J.; Cachapuz, A. e J. Praia (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 477-488.

Gil-Pérez, D. e J. Carrascosa-Alís (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7, 3, 231-258.

Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 2, 197-212.

Gil-Pérez, D.; Fernández-Montoro, I.; Carrascosa-Alís, J.; Cachapuz, A. e J. Praia (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7, 2, 125-153.

Gilbert, A. (1982). *Origens Históricas da Física Moderna*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Gilbert, J.K. (2004). Models and Modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 2, 115-130.

Gilbert, J.K. ; Boulter, C.J. e R. Elmer (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert e C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.

Giordan, A. e G. Vecchi (1996). *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*. Porto Alegre: Artes Médicas.

Gobert, J. e B. Buckley (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 9, 891-894.

Guaydier, P. (1984). *História da Física*. Lisboa: Edições 70.

Halloun, I.A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.

Irwin, A.R. (2000). Historical Case Studies: teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84, 1, 5-26.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 2, 173-184.

Matthews, M.R. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.

Maia, P.F. e R. Justi (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31, 5, 603-630.

Martins, R.A. (2006). Introdução: A História das Ciências e seus usos na Educação. Em C.C. Silva (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. (pp. XVII-XXX). São Paulo: Editora Livraria da Física.

M.E.C. (2000). *Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Mendonça, P.C.C. e R. Justi (2009). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte 2. *Educación Química*, 20, 3, 373-382.

Morrison, M. e M.S. Morgan (1999). Models as mediating instruments. Em M.S. Morgan e M. Morrison (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.

Mortimer, E.F. e L.O.F. Amaral (1998). Quanto mais quente melhor. *Química Nova na Escola*, 7, 30-34.

Moulton, F.R. e J.J. Schiffers (1986). *Autobiografía de la Ciencia* (F. A. Delpiane, Trans. 2ª Ed.). Ciudad del México: Fondo de Cultura Económica.

Nersessian, N.J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. Em L. Magnani, N.J. Nersessian e P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5-22). New York: Kluwer and Plenum.

Oliveira, R. J. e J.M. Santos (1998). Energia e Química. *Química Nova na Escola*, 8, 19-22.

Silva, D. (1995). *Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura*. Tese de Doutorado em Educação. Universidade de São Paulo.

Silva, J.L.P.B. (1998). *Notas sobre Termodinâmica básica*. Manuscrito interno. Instituto de Química. Universidade Federal da Bahia.

Solbes, J. e M. Traver (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la de física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 1, 103-112.

Solbes, J. e M. Traver (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 1, 151-162.

Souza, V.C.A. e R. Justi (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10, 2, 1-26.

Souza, V.C.A. e R. Justi (2011). Interloquções possíveis entre linguagem e conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 13, 2, 31-46.

Vidal, B. (1986). *História da Química*. Lisboa: Edições 70.

Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. En L. Magnani, N.J. Nersessian e P. Thagard (Eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum.