



Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas

Study of the use of modelling as a strategy to teach the topic energy involved in chemical reactions

Vinícius Catão de Assis Souza

Instituto Metodista Izabela Hendrix e Colégio Loyola,
Belo Horizonte
vinicius.souza@metodistademinas.edu.br

Rosária Justi

Departamento de Química e Programa de Pós-Graduação em Educação - UFMG
rjusti@ufmg.br

Resumo

O envolvimento dos alunos em atividades de modelagem emerge como parte essencial de uma abordagem de ensino mais dinâmica e que compactua com as diretrizes atuais para o ensino de ciências. Considerando-se esse contexto, uma proposta para o ensino da energia envolvida nas transformações químicas foi elaborada a partir do diagrama Modelo de Modelagem. Nesse artigo, apresentamos aspectos importantes dessa estratégia de ensino e sua fundamentação teórica, assim como os resultados da investigação sobre a aprendizagem de alunos da 2ª série do Ensino Médio. Todas as aulas foram filmadas e os materiais escritos produzidos pelos alunos recolhidos. A análise desses materiais fundamentou a elaboração de estudos de caso, visando compreender como as atividades de modelagem podem contribuir para um melhor aprendizado dos principais aspectos conceituais relativos à Termoquímica. Os resultados evidenciam que a estratégia de modelagem auxiliou os alunos de forma significativa na compreensão da temática em estudo.

Palavras-chave: Ensino de Química; Ensino fundamentado em modelagem; Termoquímica; Transformações Químicas

Abstract

Students' involvement in modelling activities is an essential part of a more dynamic approach for science teaching. From this perspective, a teaching strategy for the topic energy involved in chemical changes was proposed from the Model of Modelling diagram. In this paper, we present the teaching strategy main characteristics, its theoretical background, and learning results from an investigation conducted with middle level students. Data were gathered from written materials produced by the students and video recording of the classes. Data analysis supported the production of case studies for each group of students. They aimed at favouring the understanding about how modelling-based activities can contribute to students' significant learning on such main aspect regarding with thermochemistry. Results show that the teaching strategy helped students to meaningfully understand the topic.

Key words: Chemical Teaching; Modelling-based teaching; Thermochemistry; Chemical Changes

Energia Envolvida nas Transformações Químicas e sua Relação com o Ensino de Ciências: Contextualizando a Temática em Estudo

“Energia” é um conceito que perpassa todas as disciplinas ligadas às ciências naturais, com diferentes acepções por parte de professores e alunos, sendo usado com diversos significados na linguagem cotidiana. Porém, na prática docente em ciências da natureza, notamos que a energia envolvida nos processos metabólicos, na fotossíntese e nas transformações químicas em geral é uma ideia imbuída de grande abstração e compreendida pelos alunos de diferentes maneiras. No campo de estudo da Química, por exemplo, verificam-se muitas confusões conceituais no conteúdo da Termoquímica, principalmente no que se refere à compreensão da energia térmica envolvida nas diferentes transformações químicas (Assis & Teixeira, 2003).

Alguns trabalhos que consideram os aspectos energéticos das transformações químicas apontam para as dificuldades que os alunos têm em relação à aprendizagem do conceito de energia e seus correlatos, como calor, temperatura e energia de ligação (MULFORD e ROBINSON, 2002; TEICHERT e STACY, 2002; BOO, 1998; COHEN e BEN-ZVI, 1992; GRIFFITHS e PRESTON, 1992; HAPKIEWICZ, 1991; OGBORN, 1990; BLISS e OGBORN, 1985; HAPKIEWICZ, 1991).

Constatamos também a presença de pesquisas que têm sido realizadas com o objetivo de favorecer ao aluno uma maior compreensão das noções fundamentais de energia, a partir de suas concepções iniciais, com destaque para: Trumper (1991); Henrique (1996); Pérez-Landazábal, Favieres, Manrique e Varela (1995); Solomon (1985). Tais trabalhos chegaram a resultados similares com relação às concepções de energia presente no senso comum: energia (i) como causa ou produto de um processo; (ii) associada a atividades humanas (relações antropocêntricas); (iii) associada ao movimento; e (iv) como sinônimo de força ou fonte geradora de alguma força.

Em relação à energia envolvida nas ligações químicas, Hapkiewicz (1991) destaca que, na concepção de alguns alunos, a ligação é interpretada como se fosse uma mola estendida e que *libera* a energia quando é rompida. A ideia de ligação apresentada pelos alunos poderia ser representada metaforicamente como um pequeno ovo que, ao se quebrar, *liberaria* o conteúdo físico (a “substância”) presente em seu interior¹. Fernandez e Marcondes (2006), por sua vez, destacam que a quebra da ligação seria análoga àquele brinquedo de criança em que um palhaço estaria recluso no interior de uma caixa que, quando aberta, salta de forma repentina provocando um susto em quem a observa. De acordo com Hapkiewicz (1991), os alunos teriam a ideia de que a ligação *segura* os átomos juntos, *liberando* o “conteúdo” energético associada a ela quando é rompida.

Fernandez e Marcondes (2006) ressaltam que muitos alunos percebem a ligação química como algo fisicamente concreto. Essa ideia parece estar associada à noção ainda muito presente no senso comum de que para construir qualquer estrutura é necessário fornecer energia e que o contrário, a destruição, *libera* energia. Nesse sentido, os alunos tendem a pensar que para ocorrer a formação de uma ligação há uma demanda por energia relacionada à junção dos átomos e sua quebra *liberaria* essa energia que, a princípio, estaria fisicamente armazenada em seu interior, como observamos em algumas explosões, em que há projeção de alguns materiais e “liberação” de calor. Esse tipo de concepção é resultado de uma extrapolação grosseira relacionada aos eventos do nível observável para o submicroscópico. Somam-se a isso questões advindas de outras áreas do conhecimento, como da Biologia, com a ideia relacionada ao *armazenamento* de energia química pelos alimentos.

Ainda no contexto químico, os alunos também tendem a pensar que: (i) todas as transformações químicas são mais favoráveis em altas temperaturas; (ii) todos os processos químicos caracterizados como *exotérmicos* são espontâneos; (iii) a energia é estocada nas ligações (no alimento, no ATP, entre outros) e é liberada nos processos químicos (TEICHERT e STACY, 2002); (iv) a quebra das ligações H–H e O–O libera energia (MULFORDE e ROBINSON, 2002); e (v) o calor causa a expansão das moléculas, levando ao rompimento das ligações presentes nas moléculas de água (GRIFFITHS e PRESTON, 1992).

Diante das constatações levantadas anteriormente, emerge a necessidade de se rever o ensino da temática energia envolvida nas transformações químicas, buscando desenvolver metodologias que sejam realmente significativas para o desenvolvimento e construção do conceito de energia.

Nesse contexto, é importante destacar o desafio conceitual e metodológico que professores enfrentam ao trabalhar com temas de grande abstração e abrangência teórica, como é o caso da *Energia*. Isso porque o uso desses conceitos é feito, muitas vezes, de forma indiscriminada e pragmática em diferentes contextos (sociais, culturais, tecnológicos, entre outros) o que tende a contribuir para que os alunos reforcem suas ideias intuitivas em relação aos diferentes conteúdos estudados, apresentando dificuldades na aprendizagem da ideia científica. Cabe aos professores, então, buscar construir uma rede conceitual alicerçada nas concepções científicas, favorecendo uma articulação e reestruturação das ideias apresentadas pelos alunos em meio às novas que são estabelecidas durante o processo de ensino. Atualmente, acreditamos que o ensino

¹ Ideia extraída de uma comunicação oral feita a um dos autores deste trabalho pelo professor Luiz Otávio Fagundes do Amaral, em março de 2007.

fundamentado em modelagem pode favorecer tal articulação, permitindo que os alunos (re)elaborem suas ideias durante o processo de aprendizagem, tendo o professor como o mediador do trabalho.

Questão de pesquisa

No presente artigo, será apresentada e discutida uma investigação relacionada à seguinte questão de pesquisa: Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do Ensino Médio aprendam os principais aspectos conceituais relativos ao tema energia envolvida nas transformações químicas?

Utilização de modelagem para fundamentar o processo de aprendizagem em ciências

De acordo com Coll, France e Taylor (2005), modelos e modelagem são elementos chaves da ciência e, conseqüentemente, da educação em ciências. Outros autores consideram que entender ciências é entender os modelos usados pelos cientistas (HARRISON e TREAGUST, 1996) e como eles são construídos e validados (HESTENES, 1992), tendo em vista que as teorias e hipóteses produzidas pela ciência não estão acabadas. Elas constituem explicações provisórias, que buscam contemplar as evidências disponíveis da melhor maneira possível, dando origem a redes de conhecimentos que podem ser refutados e repensados dentro de outros contextos.

Um modelo pode ser compreendido como a representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou fenômeno elaborado com um objetivo específico (GILBERT e BOULTER, 2000). Desse modo, podemos dizer que uma equação matemática ou um gráfico seriam modelos para descrever e favorecer a elaboração de previsões sobre um fenômeno, enquanto um mapa seria um modelo para representar e favorecer a visualização de algum aspecto de, por exemplo, uma determinada região, os pavimentos e as galerias de um museu, uma rede viária etc.

Para que se possam criar modelos, não existem regras fixas ou um único caminho a ser seguido. Um dos fatores mais importantes é ter em mente qual é a finalidade da construção de um modelo em um determinado contexto.

Em relação ao processo de modelagem, Justi e Gilbert (2002) propuseram um esquema – chamado de *Modelo de Modelagem* – que tenta sintetizar as etapas que permeiam a produção do conhecimento científico. Tal esquema (Figura 1) será apresentado e brevemente comentado a seguir.

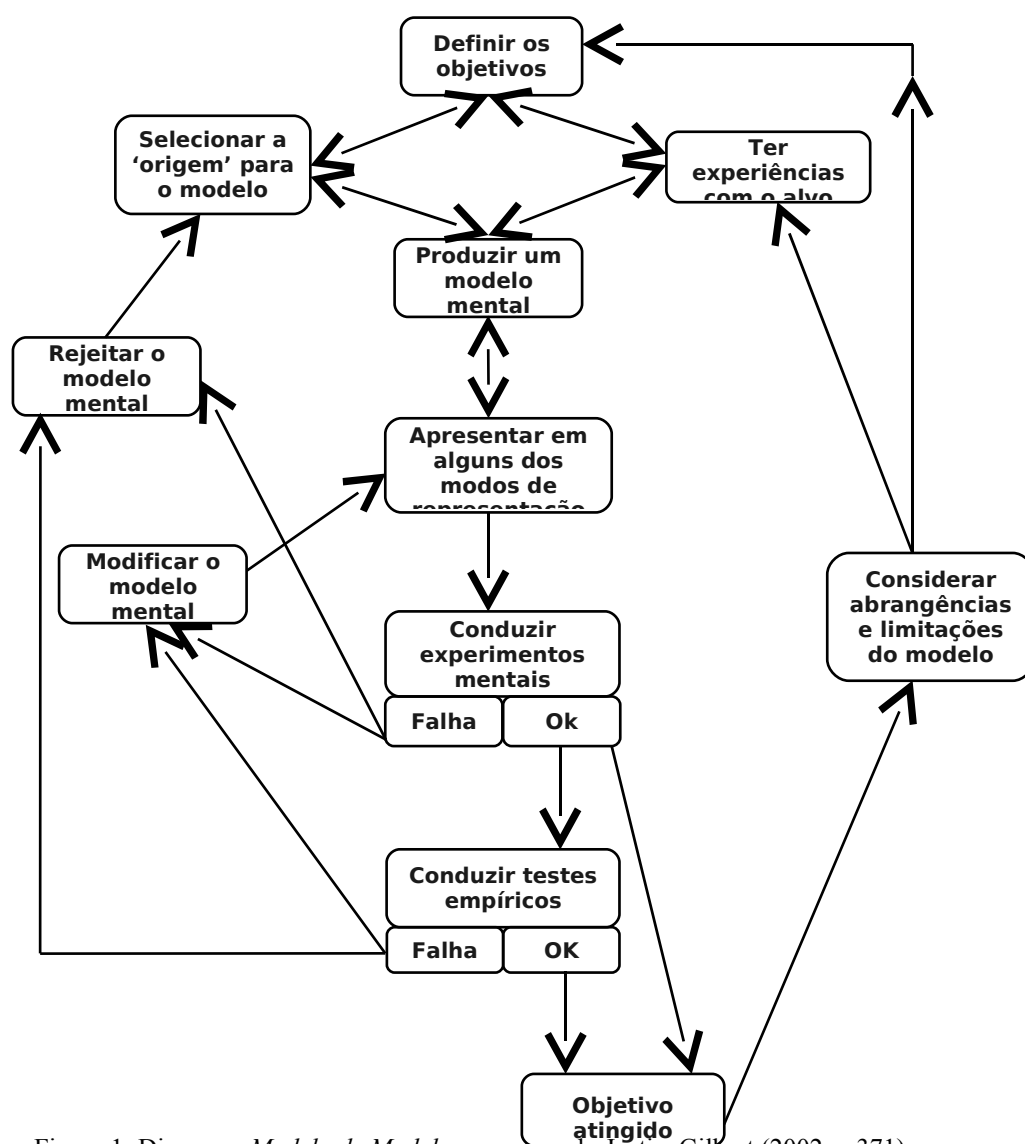


Figura 1: Diagrama *Modelo de Modelagem*, segundo Justi e Gilbert (2002, p.371).

Inicialmente, o processo apresenta a consideração do fenômeno que se deseja estudar/investigar, limitando-se pontualmente aos aspectos que serão abordados. A partir daí, o indivíduo elabora um modelo mental para seu objeto de estudo, levando em conta as observações sobre o fenômeno com o qual vai trabalhar e/ou dados (teóricos ou empíricos) que possam auxiliá-lo na elaboração de seu modelo mental inicial. Tal modelo é elaborado a partir da integração dessas “experiências” iniciais com o fenômeno e, posteriormente, a seleção de uma “origem” adequada como, por exemplo, uma fonte a partir da qual uma analogia seja estabelecida ou relações matemáticas possam ser utilizadas.

Após a elaboração do modelo mental, é importante decidir como ele será expresso. Nesse processo, é possível a ocorrência de alterações em ambos – modelo mental e modelo expresso – até o momento em que um esteja satisfatoriamente compatível com o outro.

Em seguida, o modelo expresso obtido deve passar à etapa de testes, os quais podem ser via experimentos mentais e/ou através de planejamento e realização de testes empíricos.

Segundo Justi (2006), essa etapa pode ser caracterizada pela ocorrência sucessiva desses dois tipos de teste ou pela utilização de um único tipo, dependendo essencialmente do modelo com o qual se está trabalhando, dos recursos disponíveis e dos conhecimentos prévios do indivíduo ou grupo de indivíduos que participa do processo. Se o modelo falhar nos testes, é possível retomar o ciclo e propor modificações no modelo ou rejeitá-lo, caso não apresente aplicabilidade na explicação da situação proposta, o que conduzirá a uma reavaliação dos elementos que foram utilizados para a sua elaboração. Porém, se o modelo obtiver êxito na etapa de testes, isso indica que ele alcançou os objetivos para os quais foi construído.

Após a obtenção desse modelo adequado à situação em questão, ele deve ser apresentado a um grupo de pessoas que o validarão ou não, por meio do reconhecimento de sua aplicação em outros contextos. No contexto da ciência, essa última etapa é de fundamental importância, pois corresponde à divulgação do modelo à comunidade científica.

Conforme descrito anteriormente, percebe-se que o processo é dinâmico e não linear. Tal fato pode ser evidenciado pelas setas duplas representadas na Figura 1, demonstrando que algumas das etapas podem influenciar outras. Assim, quando este processo ocorre no contexto escolar, os alunos devem se envolver em todas as etapas.

Clement (2000) destaca que o ensino fundamentado na construção de modelos pode promover um contexto em que não apenas a ciência faça sentido para os estudantes dando *explicações satisfatórias*, mas acima de tudo buscando desenvolver uma forma de conhecimento flexível que pode ser aplicado e transferido a diferentes situações e problemas. Vários estudos (BARAB, HAY, BARNETT, e KEATING, 2000; JUSTI e MAIA, 2009; JUSTI e MENDONÇA, 2009; NERSESSIAN, 1999; VOSNIADOU, 2002) têm mostrado que a utilização de modelos, na perspectiva de promover o desenvolvimento do conhecimento, contribui de forma preponderante para o desenvolvimento de um aprendizado significativo. O engajamento dos alunos nesse tipo de ensino tem grande potencial no sentido de contribuir para que eles aprendam de maneira mais participativa. Isto porque, no contexto desse tipo de ensino, os alunos têm a oportunidade de vivenciar aspectos relevantes em relação à produção do conhecimento científico, de pensar sobre os propósitos da ciência, de formular questões mais críticas e pertinentes, de propor explicações/previsões e de avaliar o modelo proposto para obter informações que possam subsidiar a reformulação do mesmo. Em outras palavras, a construção de modelos é uma atividade poderosa para engajar os alunos em fazer ciência, pensar sobre ciências e desenvolver raciocínio científico e crítico (JUSTI e GILBERT, 2003).

(Re)pensando o Ensino de Termoquímica: Descrição de uma Proposta Fundamentada em Modelagem

As atividades propostas aos alunos foram desenvolvidas a partir das ideias contidas no diagrama *Modelo de Modelagem* (JUSTI e GILBERT, 2002) (Figura 1), e de discussões com um grupo de professores participantes do projeto de pesquisa *Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação*².

² Projeto desenvolvido no Departamento de Química da UFMG, coordenado pela profa. Rosária Justi. Neste projeto, nove professores de química com tempo de formação e prática docente variados

É importante ressaltar que o diagrama em si não foi apresentado aos alunos, não sendo parte das atividades a serem debatidas em sala de aula pela professora regente. Ele foi usado apenas como um referencial para nortear a elaboração das atividades de ensino e as ações da professora.

As atividades da estratégia de ensino abordavam o tema energia de forma qualitativa, uma vez que os alunos que seriam submetidos a essa estratégia não apresentavam pré-requisitos básicos para um estudo quantitativo mais pormenorizado (o que também não era objetivo no nível de ensino em que eles se encontravam). Além disso, o foco da estratégia se limitava a propor modelos para *como* as transformações químicas se processavam, ressaltando os aspectos energéticos envolvidos nas mesmas.

Uma visão geral das atividades aplicadas, assim como do relacionamento das mesmas com o diagrama, está descrito nos Quadros 1 e 2.

Atividade	Descrição	Objetivo destacado no diagrama
1. Ideias gerais dos alunos sobre energia	Nesta aula, os alunos foram instigados a resgatar o conceito de energia utilizado no dia-a-dia de forma indiscriminada, suas possíveis aplicações e seus diversos contextos de uso. Eles foram conduzidos a pensar de um nível geral (senso comum) para um nível específico (contexto científico).	Ter experiências com o alvo
2. Atividade prática associada à criação de modelos para explicar as transformações químicas observadas	Nesta aula os alunos tiveram a oportunidade de (re)pensar o significado do conceito de calor e, na sequência, criaram modelos para os fenômenos experimentais observados na aula: um processo endotérmico e outro exotérmico.	Ter experiências com o alvo + Elaboração e expressão de um modelo inicial
3. Atividade de reformulação dos modelos	Os alunos tiveram a oportunidade de reformular suas ideias em relação ao calor envolvido nas transformações químicas por meio da discussão de seus modelos e questionamentos apresentados no decorrer da dinâmica estabelecida em sala de aula. Em seguida, eles repensaram os modelos elaborados anteriormente e reformularam os mesmos, visando uma possível aplicação às diversas reações presentes em nosso dia a dia.	Testar os modelos (através de experimentos mentais)
4. Chegando a um modelo consensual	A partir da discussão dos modelos reformulados na turma, buscou-se chegar a um que fosse consensual. Além disso, discutiu-se, de forma abrangente, sobre as evoluções do pensamento científico ao longo da história da ciência e as possíveis limitações dos modelos (em geral e do modelo consensual recém elaborado).	Testar os modelos (através de experimentos mentais) + Discutir a abrangência e a limitação do modelo

Quadro 1: Breve descrição das atividades de ensino

Atividade	Descrição
5. Apreciação final da	Momento em que os alunos tiveram a oportunidade de refletir sobre a sua

participavam de um grupo colaborativo. O objetivo principal era contribuir para melhorar a formação dos professores a partir do aprimoramento dos seus conhecimentos sobre o processo de modelagem e sua utilização no ensino.

estratégia	própria aprendizagem e a relevância das atividades realizadas.
6. Avaliação final do conteúdo	Momento de avaliação formal da compreensão conceitual do aluno após o desenvolvimento da estratégia de ensino.

Quadro 2: Breve descrição das atividades avaliativas

Contexto da Pesquisa: Amostra e Conteúdos Estudados Previamente

A aplicação dessa proposta de ensino ocorreu em um ambiente real de sala de aula, durante o período regular das aulas de química, em uma turma da segunda série do Ensino Médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte. A turma era formada por 20 alunos, com uma faixa etária variando de 16 a 19 anos. 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 modelos e 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 estratégia de ensino foi aplicada quando os alunos já haviam estudado o conteúdo de ligações químicas e interações intermoleculares. Em termos da energia associada às transformações químicas, eles sabiam somente que os átomos se unem para atingir uma maior estabilidade eletrônica, ou seja, atingir um estado de menor energia. Na ocasião em que aprenderam esse conteúdo, eles estudaram o gráfico conhecido como *poço potencial*, que descreve o que acontece com a energia de dois átomos quando esses se aproximam. Entretanto, muitas das ideias estudadas, como aquelas que remetem ao gráfico do poço potencial, por exemplo, foram retomadas pelos próprios alunos inúmeras vezes no decorrer da estratégia, por meio de consultas ao livro ou questionamentos direcionados à professora. Todo o conteúdo estudado anteriormente subsidiou o processo de desenvolvimento dos modelos iniciais dos alunos.

Todas as aulas ministradas foram filmadas, englobando tanto as partes expositivas quanto as discussões (sejam gerais, isto é, entre alunos e professora, sejam as discussões da professora com cada um dos grupos ou, ainda, algumas discussões dos alunos em cada grupo). A filmagem objetivou coletar dados relativos ao processo de elaboração e socialização dos modelos, assim como captar os aspectos atitudinais dos alunos em relação às atividades propostas.

O questionário de avaliação final foi formulado a partir de questões de vestibulares adaptadas e questões elaboradas pelos pesquisadores e discutidas com alguns professores participantes do projeto citado anteriormente. Tais discussões buscaram avaliar a coerência, clareza e a objetividade das questões, o que resultou em uma maior coerência do processo avaliativo com a proposta de ensino vivenciada pelos alunos.

As questões tinham o objetivo de verificar o conhecimento químico, buscando identificar as concepções que os alunos expressavam após as atividades de modelagem. Elas foram aplicadas como uma avaliação regular do curso, três semanas após o

encerramento da pesquisa. Este tempo não foi deliberadamente escolhido pelos pesquisadores, mas sim definido em função das demais atividades da turma nas aulas de química e do calendário de avaliações previamente estipulado pela instituição.

De posse de todos os dados coletados, eles foram organizados e registrados em estudos de caso para cada um dos grupos de alunos. Nesse processo, tentamos, quando relevante, destacar a participação de alunos individuais. Isso porque, não obstante buscarmos entender a trajetória cognitiva de conhecimentos socialmente construídos em sala de aula, essa construção é marcada e determinada, em proporções variadas, pelas ações individuais ou consensuais de um grupo, podendo se modificar em função da alternância dos indivíduos envolvidos. Nos estudos de caso, buscamos também integrar nossas observações à narrativa dos fatos, isto é, interpretar os dados, permitindo que eles atingissem um estágio além da descrição. Assim, pudemos usar os dados para analisar, interpretar ou teorizar sobre o fenômeno em questão.

Entretanto, assumimos que as declarações teóricas (escritas ou verbais) devem ser suportadas pelas evidências apresentadas. Isso foi buscado nessa pesquisa através da apresentação de dados a partir dos quais emergiram as afirmações feitas na análise. Ao longo do texto, todos os dados citados têm sua autoria identificada em termos de códigos associado ao aluno, conforme especificado posteriormente.

Como esta é uma pesquisa de natureza qualitativa, a confiabilidade dos dados foi considerada a partir de um ajuste entre o que os dados evidenciaram e as impressões e observações dos pesquisadores no conjunto do estudo, sendo que a consistência da análise emergiu de diferentes observações e/ou percepções estabelecidas no decorrer da análise (BOGDAN & BIKLEN, 1992). Por isso, os dados foram triangulados entre os pesquisadores³, visando uma maior confiabilidade e precisão em suas análises.

Análise dos Dados

A seguir apresentamos o estudo de caso de um dos quatro grupos participantes desta pesquisa: o grupo 1. Este grupo foi escolhido por ser representativo de toda a turma (em termos de desenvolvimento cognitivo dos alunos durante as aulas) e de os alunos terem sido assíduos durante todas as aulas em que a estratégia foi aplicada.

No estudo de caso, 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. Finalmente, os modelos elaborados pelos alunos são identificados pelo código Mx, em que x também representa um número de ordem. Quando os alunos apenas acrescentaram algum elemento mais periférico (por exemplo, o detalhamento de uma ideia diferente das concepções centrais, relevante para o modelo como um todo), ou quando eles modificaram alguma dessas ideias, mas sem alterar as concepções centrais do modelo, a distinção foi feita apenas acrescentando-se sucessivas apóstrofes ao código do mesmo (por exemplo, M1', M1'' etc.).

A análise deste estudo de caso busca evidenciar como cada um dos elementos do processo de ensino contribuiu para a aprendizagem dos alunos daquele grupo, nos permitindo responder à questão de pesquisa apresentada anteriormente.

³ Os autores deste artigo.

Resultados – Estudo de Caso do Grupo 1

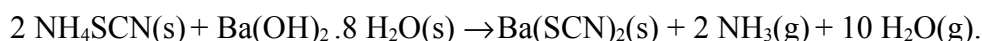
Na realização da Atividade 1, esse grupo apresentou, inicialmente, ideias gerais sobre energia associando-as à eletricidade, força e animação (vigor físico, disposição). Além disso, os alunos deixaram claro a abrangência e complexidade que permeia o conceito de energia, conforme destacado na seguinte resposta:

“A energia é um termo muito amplo e usado para tudo. São tantos os tipos de energia, com muitas funções. Além disso, às vezes é difícil falar aquilo que está pensando. É fácil saber o que é energia. Difícil é expressar seu real significado.” (A3)

À medida que as discussões ocorreram, os alunos conseguiram distinguir as ideias inerentes ao senso comum e à ciência, caracterizando a energia do ponto de vista científico como algo não material, que não tem massa, sempre se conserva e pode ser transformada.

Tentando conduzi-los na construção de ideias referentes à energia envolvida nas transformações químicas, a professora questionou se eles já tinham conhecimento do que seria *energia química*. Todos os alunos responderam que sim, dizendo que ela estava associada às reações químicas, não expressando em qualquer momento uma compreensão do que seria realmente este tipo de energia.

Na aula seguinte, a professora iniciou as atividades apresentando aos alunos duas evidências experimentais: a primeira originou-se de uma transformação química⁴ caracterizada como endotérmica, resultante da reação do tiocianato de amônio (NH₄SCN) com o hidróxido de bário hidratado (Ba(OH)₂.8H₂O), conforme descrito na equação química:



Os alunos perceberam um resfriamento abrupto que foi sentido no contato com a parede externa do tubo de ensaio (evidência experimental 1, EE1), aspecto que evidenciava a ocorrência de uma transformação química no sistema. Além disso, a temperatura do sistema foi verificada antes e depois da execução do experimento com o auxílio de um termômetro, comprovando a sua diminuição. Por fim, o forte cheiro de amônia foi bastante perceptível, caracterizando a formação de uma nova substância. Assim, os alunos puderam concluir que ocorrera efetivamente uma transformação química naquele sistema.

No segundo experimento, houve a carbonização do açúcar (C₁₂H₂₂O₁₁) quando se adicionou ácido sulfúrico (H₂SO₄) sobre ele. Após a reação, houve a liberação para o ambiente de vapor d'água e trióxido de enxofre (SO₃), sendo este último percebido pela sensação irritante causada por este gás (nos olhos, vias orais e nasais). Essa liberação do

⁴ No decorrer deste artigo, procuramos utilizar a terminologia *reação química* somente para descrever uma representação estática do processo ou para se referir aos reagentes e produtos em um dado sistema. Acreditamos que a melhor expressão para se referir ao processo químico descrito pelas equações, dando uma ideia de dinamismo, seria *transformações químicas* (reagentes transformando-se em produtos). Independente de todo e qualquer preciosismo que remete às questões da linguagem, temos a plena convicção de que ela se apresenta de modo particularmente especial neste contexto. Além da ideia envolvendo o rearranjo dos átomos, os alunos devem ter a concepção correta do significado das palavras em seus contextos de estudo. Caso contrário, poderão reforçar as concepções alternativas trazidas do senso comum, com o desenvolvimento de ideias substancialistas corroboradas por uma linguagem superficial e descuidada utilizada, frequentemente, em livros e situações de ensino.

gás fez com que o carbono presente no sistema expandisse seu volume (evidência experimental 2, EE2).

Na sequência, foi realizada a Atividade 2, na qual eles deveriam começar a elaborar modelos mentais para explicar o significado da energia química a partir de alguns aspectos observados nos experimentos anteriormente descritos. Todos os alunos do grupo 1 associaram o calor envolvido nos processos em questão à transferência de energia cinética entre as partículas (expressão do modelo cinético molecular) – modelo que caracterizamos como M1.

Inicialmente, eles não conseguiram criar uma explicação que atendesse à solicitação da questão relacionada ao porquê da *liberação* e *absorção* de calor nas transformações químicas apresentadas. Porém, com o acompanhamento da professora, começaram a discutir a respeito daqueles fenômenos, fazendo referência à força das ligações químicas (M1'). Eles ressaltaram que as ligações fortes precisam absorver muita energia para se romper e que as ligações fracas absorvem pouca energia para se desfazer. Como os alunos já haviam estudado o conteúdo de ligações químicas anteriormente, eles o resgataram objetivando trazer subsídios para a explicação do calor envolvido no experimento realizado. Sendo assim, começaram a discutir entre si sobre as ligações químicas (covalentes e iônicas), evidenciando que pensavam, predominantemente, em termos de suas forças (ligação forte e fraca). Um dos alunos apresentou a seguinte ideia na discussão empreendida com o grupo:

“No sistema aquecido, as ligações seriam fortes e depois se tornariam fracas. No sistema resfriado, as ligações seriam fracas e depois se tornariam fortes.” (A3)

A ideia apresentada por A3 remete a uma concepção de força da ligação como sinônimo de sua energia, ou seja, quanto mais forte, maior será a energia envolvida na ligação. Se a ligação *deixar* de ser forte, esta perderá parte de sua energia para o ambiente na forma de calor. Se ela passar de fraca para forte, terá que absorver energia do ambiente, resfriando-o (M1'). Para subsidiar esta ideia, os alunos recorreram ao capítulo de ligações químicas do livro didático utilizado na série⁵ e se depararam com a discussão do diagrama do poço potencial – que representa a variação de energia envolvida na formação das ligações químicas –, já estudado anteriormente.

A partir da consulta ao gráfico, os alunos chegam à conclusão de que não estavam seguindo um raciocínio correto, ou seja, começaram a pensar em termos da estabilidade das substâncias (estado mais estável e menos estável). Na sequência, o questionamento de um aluno fomentou uma interessante discussão entre os participantes do grupo e a professora, conforme destacamos no trecho a seguir:

A3: *Se o ambiente está muito frio... -140°C, por exemplo, de onde a reação irá pegar energia?*

P: *Vamos pensar em algo: será que o H₂SO₄ tem energia?*

A3: *Sim...*

P: *Qual energia o H₂SO₄ tem?*

A3: *Energia cinética das moléculas.*

A5: *Energia de atração...*

⁵ Mortimer, E. F. & Machado, A. H. (2002). *Química para o ensino médio* – volume único (Série Parâmetros). São Paulo: Scipione.

- A3: *Ele tem energia potencial?*
- P: *Sim, tem energia potencial... Então, será que esta energia não seria proveniente do H_2SO_4 ?*
- (Alunos pensando...)
- P: *Vamos dizer... será que ele “contém”, entre aspas, esta energia potencial?*
- (Alunos pensando...)
- P: *E se eu fizesse essa reação em um sistema isolado? Entendem o que é um sistema isolado?*
- A3: *Sim...*
- P: *Será que a reação aconteceria?*
- A3: *Eu acho que não... mas não tenho certeza. Para a reação ocorrer, eu acho que não é necessário ter somente as moléculas. A energia é muito importante também.*
- A4: *Mas as moléculas têm energia...*
- A3: *Mas não é suficiente...*
- P: *Se você tem gasolina e O_2 , a reação ocorre sozinha?*
- A3: *Não...*
- P: *Você precisa de uma faísca, por exemplo.*
- A3: *Faísca no motor para comprimir a gasolina...*
- P: *HCl com NaOH: acontece a reação?*
- A3: *Acontece...*
- A4: *São gasosos?*
- P: *Aquosos. Duas soluções de HCl e NaOH aquosos.*
- A4: *Acontece a reação.*
- P: *E a gasolina com o oxigênio?*
- A3: *Precisa de energia de ativação...*
- P: *Precisa, então, de certa energia de ativação.*
- A3: *As reações que observamos precisam de energia de ativação?*
- P: *Eu não tive que aquecer nenhuma das duas...*
- A4: *Será que a energia está nas partículas?*
- A3: *Eu estou tendo um pouco de dificuldade em entender porque a reação absorve energia, pois eu sempre pensei que ela procurasse ficar no estado de menor energia, ou seja, ela sempre tem que liberar a energia.*
- P: *Você acha que o ácido sulfúrico naquele frasco sempre vai liberar energia?*

- A3: *Ele vai liberar energia até que fique estável, em que a temperatura ambiente seja a mesma.*
- P: *O que é ficar estável?*
- A3: *Eu esqueci a palavra ... equilíbrio térmico.*
- P: *Mas isso é ser estável?*
- A3: *Não.*
- P: *Equilíbrio térmico é diferente de ser estável.*
- A3: *(Aluno pensando...)*
- P: *O que é ser estável, de acordo com a discussão relacionada à formação das ligações químicas?*
- A1: *Se ele vai formar ligações, perde energia química.*
- P: *E esta energia se relaciona com o que no átomo?*
- A5: *Equilíbrio nas forças de atração e repulsão...*
- P: *E isto está associado com a energia que a molécula tem quando ela é formada?*
- A5: *Está.*

Como evidenciado neste diálogo, a professora tentou contribuir criando oportunidades para que os alunos pensassem em elementos – novos e estudados em aulas anteriores – que os ajudassem na elaboração de seus modelos mentais. Isso permitiu que eles delimitassem um modelo inicial associando o *ganho* ou *perda* de energia à estabilidade do átomo (M1’’).

Na sequência, o aluno A3 continuou com suas inquietações sobre o aquecimento do sistema resultante da junção de ácido sulfúrico com açúcar:

- A3: *O ácido sulfúrico gera calor...*
- P: *Mas ele não gera calor sozinho.*
- A3: *Eu sei... mas quando acontece a reação, vai ter calor, certo?*
- P: *Certo... o calor é consequência da liberação de energia...*
- A3: *Isso ocorre porque as moléculas adquirem um estado de menor energia, que seria mais estável, ou não?*
- P: *Moléculas dos produtos?*
- A3: *Isto...*
- P: *Para elas, aquele é o estado mais estável.*
- A3: *Então quer dizer que não tem relação com o que era antes? Não precisa ser mais estável do que era antes?*
- P: *Vamos pensar em termos da energia de ligação...*

A discussão que se seguiu trouxe subsídios mais consistentes aos alunos deste grupo para que eles começassem a reformular a ideia elaborada inicialmente, que se relacionava ao modelo cinético molecular (M1). Isso favoreceu o surgimento de novas ideias para explicar as transformações químicas observadas, conduzindo-os a pensar,

mesmo que superficialmente, nas possíveis relações energéticas envolvendo a quebra e a formação das ligações químicas. Tal ideia se apresentou, inicialmente, bastante discreta e pouco convincente, conforme observamos nas discussões empreendidas pelos alunos. Eles ainda insistiam em buscar explicações simples para as transformações químicas observadas nos experimentos, considerando o modelo cinético molecular (M1). Isso pode ser observado, por exemplo, na resposta a uma questão da Atividade 2, que solicitava uma explicação do modelo elaborado para descrever o sistema que se aqueceu. Um aluno destacou o seguinte:

“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.” (A1)

Em relação à explicação para o sistema resfriado, foram expressos dois modelos distintos. O aluno A3 destacou a relação energética entre os reagentes e os produtos, evidenciando uma perda de energia, que estava possivelmente armazenada no sistema quando da formação dos produtos (M2). Por outro lado, o aluno A1 destacou a necessidade das ligações *receberem* energia para serem rompidas (M2’).

Quando da apresentação e discussão dos modelos inicialmente elaborados, o grupo relatou que, inicialmente, não havia conseguido pensar nada sobre o sistema resfriado. Para o sistema aquecido, porém, os alunos expressaram uma ideia baseada no modelo cinético molecular das partículas (M1), conforme destacamos anteriormente, demonstrando que a temperatura inicial do sistema era maior do que a temperatura final. A professora, visando orientar os alunos rumo à construção de um pensamento mais crítico acerca daquilo que haviam concebido, questionou: *“Como pode a temperatura inicial ser maior do que a temperatura final se no início estavam todos à temperatura ambiente?”*. O grupo, então, respondeu que esta foi uma ideia inicial, visto que eles estavam sem noção do que pensar. Em seguida, os alunos começaram a reformular suas concepções acerca do modelo cinético molecular, percebendo uma limitação na representação de suas ideias sobre o processo em estudo através de um único modelo, conforme expresso na seguinte fala:

“Nós fizemos o modelo considerando somente o durante. Não consideramos o processo no início e depois no final. Se pensasse no processo do início ao fim, a gente não iria conseguir achar um modelo que descrevesse tudo.” (A1)

Naquele momento, os alunos do grupo demonstraram uma compreensão das relações energéticas envolvidas no processo em questão, relacionando-as com a absorção de energia para quebrar as ligações e a liberação de energia na formação das ligações (M3). Como apresentaram uma considerável dificuldade na representação inicial desta ideia no modelo, ao serem questionados pela professora sobre os atributos do modelo representado, eles responderam:

“Nós representamos a absorção de energia para quebrar as ligações com setas para baixo e a liberação de energia na formação das ligações com setas para cima.” (A1)

Embora demonstrassem uma compreensão inicial do processo como um todo, em momento algum eles fizeram referência à ideia de saldo total de energia no processo, caracterizando-o como endotérmico ou exotérmico.

Quando solicitados a propor uma explicação para a liberação e absorção de energia nas transformações químicas, os alunos confirmaram suas ideias expressas anteriormente destacando que, ao formar as ligações, o sistema libera energia, dando uma sensação de aquecimento, mas, para quebrar as ligações, o sistema absorve energia, dando uma sensação de frio (M3').

Alguns alunos, porém, expressaram outra ideia para o calor envolvido nos processos:

“Quando se forma a ligação entre as partículas, o sistema libera energia fazendo com que a temperatura do ambiente aumente e a do sistema diminua. Quando se quebram as ligações, o sistema absorve energia e a sua temperatura aumenta.” (A2, A4, A5)

Na sequência, solicitou-se aos alunos que explicassem a origem do calor envolvido nos experimentos realizados. Em relação ao calor gerado, todos os alunos disseram que ele seria proveniente da formação das ligações. O calor absorvido, por sua vez, teria sua origem no ambiente.

A seguir, foi proposta a Atividade 3, que tinha dois propósitos fundamentais:

- contrapor possíveis concepções substancialistas em relação à energia envolvida nas transformações químicas como, por exemplo, energia *armazenada* fisicamente, energia como *produto* de uma transformação química, entre outras. Para tanto, foram descritas na primeira questão as evidências experimentais (EE3) demonstrando o aquecimento de um sistema quando uma reação se processava. Na sequência, foram destacadas as massas dos reagentes e dos produtos e, por meio de um cálculo simples, os alunos poderiam perceber que nas duas situações em questão elas se conservavam, o que favoreceria a conclusão de que a energia não possui massa;
- compreender que as transformações químicas se processam por meio de rearranjos dos átomos, o que buscava conduzi-los a pensar na relação de quebra e formação das ligações químicas entre os compostos envolvidos nas transformações e, conseqüentemente, nas relações energéticas que permeiam todo o processo (*absorção* de energia para quebrar as ligações e *liberação* na formação de novas, buscando a estabilidade).

Em relação a essa atividade de reformulação dos modelos, foi possível constatar que todos os alunos compreendem bem que a massa se conserva em uma transformação química. Tal fato confirma a resposta inicial deles, de que a energia não tem massa, não podendo ser o produto de uma reação. No entanto, quando foi pedido que eles construíssem modelos e simulasse a transformação química proposta, apenas A4 atendeu corretamente a solicitação apresentada na atividade, expressando, na simulação, o rearranjo dos átomos, ou seja, o fato de que os átomos constituintes dos reagentes se transformaram no produto da reação.

A partir das representações destacadas pelos alunos, somos levados a pensar que eles ainda mantinham a ideia de que produtos e reagentes coexistem, mesmo depois de se processar toda a reação, conforme demonstram as representações expressas nas equações químicas (representações estáticas do processo). Porém, quando explicaram o que deveria ocorrer com as moléculas dos reagentes e dos produtos no decorrer da reação, eles expressaram corretamente, por meio de modelos concretos, a ideia de quebra das ligações estabelecidas entre as moléculas dos reagentes para o posterior rearranjo dos átomos, formando o produto da reação.

No início da atividade de reformulação dos modelos, os alunos reestruturaram suas ideias, concebendo-as em termos da quebra (absorção de energia) e formação (liberação de energia) das ligações. Na representação do modelo, o grupo utilizou massa de modelar para caracterizar os átomos constituintes do processo e palitos para representar as ligações, conforme apresentado na Figura 2.

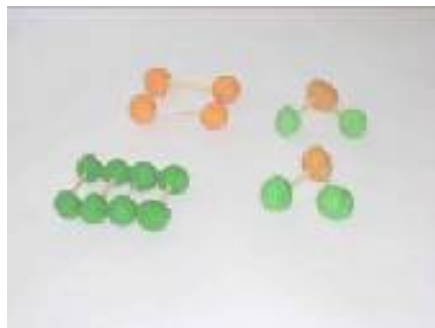


Figura 2: Modelos elaborados pelos alunos do grupo 1 para descrever a transformação química.

Na reformulação dos modelos, os alunos apresentaram o desenho destacado na Figura 3, que tenta demonstrar uma possível explicação para o processo químico caracterizado como exotérmico, $H_2SO_4 + C_{12}H_{22}O_{11}$, em que se percebia o aquecimento do sistema, e para o processo endotérmico, $NH_4SCN + Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, no qual o sistema se resfriou.

NOVO MODELO PARA O SISTEMA AQUECIDO			NOVO MODELO PARA O SISTEMA RESFRIADO		
ANTES	DURANTE	DEPOIS	ANTES	DURANTE	DEPOIS
<p> O → FÓSFORO Δ → H₂SO₄ X → QUEBRA DO ISOLAMENTO DOS REAGENTES ~ → H₂O S → H₂O ~ ~ ~ → CO₂ ~ ~ ~ → CALOR </p>			<p> ○ → Ba(OH)₂ ○ → NH₄SCN ~ → H₂O X → QUEBRA ~ ~ ~ → CALOR Δ → NH₃ ~ ~ ~ → Ba(SCN)₂ </p>		

Figura 3. Modelos reformulados pelos alunos do grupo 1 para a explicação do sistema aquecido e resfriado.

Em seguida, os alunos deram a seguinte explicação para a ideia expressa em suas representações:

Sistema aquecido: “Na primeira fase [antes], são representados todos os reagentes. Na segunda [durante], é mostrada a quebra de ligação e absorção de energia. Na terceira [depois], é representada a liberação de energia para formar os produtos e a formação dos mesmos. O saldo de energia é positivo.”

Sistema resfriado: “Na primeira fase [antes], são representados todos os reagentes. Na segunda [durante], é mostrada a quebra de ligação e absorção de energia. Na terceira [depois], é representada a liberação de energia para formar os produtos e a formação dos mesmos. O saldo de energia é negativo.”

Quando solicitados a utilizar seus modelos na explicação de outra reação [$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$], os alunos aplicaram corretamente a ideia de saldo energético final, destacando a *absorção* de energia para romper as ligações dos reagentes e *liberação* de energia na formação das novas ligações nos produtos (M4).

Por fim, eles socializaram seus modelos com a turma, destacando inicialmente o modelo cinético molecular das partículas (M1) como tentativa primeira de explicar as transformações químicas observadas. A atividade de modelagem e as discussões empreendidas no decorrer das aulas com os colegas e a professora, por sua vez, trouxeram subsídios para que os alunos pensassem criticamente em seus modelos iniciais e os reformulassem, buscando construir uma ideia coerente em relação à *absorção* de energia (associada à quebra da ligação) e à *liberação* de energia (associada à formação da ligação), concebendo a ideia de saldo energético final para o processo, fundamental na caracterização dos aspectos termoquímicos envolvidos nas transformações químicas (M5). Além disso, os alunos constataram uma limitação em seus modelos para explicar as transformações químicas endotérmicas, tendo em vista que os átomos se unem para atingir estabilidade, ou seja, um estado energético menor. Sendo assim, seria incoerente dizer que no decorrer do processo haveria maior *absorção* de energia do que *liberação*.

Em relação à avaliação final, os alunos deste grupo demonstraram saber representar coerentemente uma reação por meio de modelos (associando átomos a pequenas esferas).

Ao serem solicitados a propor uma explicação, em nível submicroscópico, para o fato de a energia ter sido *gerada* em um processo exotérmico, eles apresentaram algumas ideias distintas, caracterizadas e exemplificadas a seguir:

- Correto entendimento das transformações químicas, destacando os rearranjos dos átomos por meio da quebra e formação das ligações (alguns elementos de M4):
 “*Absorção de energia na quebra das ligações e liberação de energia na formação das ligações.*” (A2, A5);
- Entendimento parcial e limitado das transformações químicas (alguns elementos de M3):
 “*Gerou energia, pois absorveu menos do que liberou [durante a transformação química].*” (A4);
- Concepções gerais envolvendo as transformações químicas (alguns elementos de M2):
 “*Energia necessária para formar novas ligações é inferior à ganha para rompê-las (libera energia que sobrou).*” (A3) e
 “*Energia potencial armazenada é utilizada para quebrar as ligações.*” (A1).

Quando solicitados a manipular os dados fornecidos para o cálculo da energia de ligação dos produtos, somente A3 e A4 conseguiram articular tais dados corretamente,

demonstrando um raciocínio coerente no desenvolvimento dos cálculos e uma compreensão da ideia de saldo energético final associado à transformação química (M5). Os demais alunos, embora tenham utilizado um raciocínio coerente, não chegaram a uma resposta adequada por desconsiderarem detalhes matemáticos fundamentais ao cálculo do processo.

Os alunos foram solicitados, também, a explicar o que compreendiam por energia química, analisando um diagrama de respiração e fotossíntese (com suas respectivas equações químicas) representado na questão. Todos eles relacionaram energia química à energia envolvida nas reações químicas (energia *liberada/absorvida* – M3) ou energia “*armazenada*” nas substâncias (ligações) – M1”. Além disso, nenhum deles disse que era necessário indicar a energia envolvida no sistema como produto da reação.

Quando foram apresentados a dois modelos distintos representando uma determinada reação para que fizessem críticas a eles, quatro alunos (A1, A2, A4 e A5) ressaltaram que, nas reações químicas modeladas, a energia envolvida não havia sido considerada. O outro aluno (A3), por sua vez, destacou que os reagentes continuavam a ser representados, mesmo depois do final da reação, formando os produtos, conforme observamos na resposta a seguir:

“Outra coisa de que eu não gosto é que o tempo é desconsiderado. As ‘partículas’ iniciais continuam a existir em sua forma original mesmo depois da reação estar feita.” (A3)

Porém, quando questionados sobre a coerência dos modelos que não representavam a energia envolvida no processo, três alunos (A2, A4 e A5) disseram que tal coerência existia, ressaltando a limitação para se representar a energia envolvida nos processos químicos (quebra e formação das ligações) e a complexidade para se representar algo não material (energia) utilizando recursos materiais (massa de modelar). Os outros dois alunos (A1 e A3) disseram que os modelos não eram coerentes, ressaltando que a energia envolvida deveria ter sido representada de forma simbólica (por meio de setas) e que o processo (quebra e formação das ligações) deveria ser representado de alguma forma, sem especificar qual.

Para finalizar, foi apresentada a equação de queima do álcool e solicitado que os alunos propusessem uma explicação a um colega a respeito da liberação de energia na queima do mesmo. Três alunos deste grupo (A1, A2 e A4) associaram a explicação à quebra e formação das ligações (M3). O aluno A5 se referiu à estabilidade do sistema com a liberação de energia (M1’), enquanto A3 disse, sem maiores explicações, que nem toda a energia envolvida (*absorvida*) no processo é usada, sendo que o excedente é *liberado* para o ambiente (M5), conforme destacado a seguir:

“Diria a ele que para que quebrássemos as moléculas de C_2H_5OH e O_2 seria necessário mais energia do que para a formação das moléculas de CO_2 e H_2O , o que geraria um ‘bônus’ de energia que seria liberada.” (A3).

Quando perguntados sobre a possibilidade de substituir a palavra *libera* por alguma outra que melhor representasse o que ocorre no sistema, três alunos responderam que ela poderia ser substituída por “*saldo de energia ao final da reação*” (A1), pela palavra “*descarta*” (A5) e pela expressão “*devolve a energia para o meio*” (A3). Porém, A2 e A4 disseram ser coerente utilizar a palavra *libera* para caracterizar o processo final relativo ao sistema exotérmico.

Em relação à avaliação final, os alunos deste grupo evidenciaram que não tinham uma ideia substancialista, com exceção de A5 que ressaltou que a energia *liberada* nas transformações químicas estava armazenada nas substâncias (M1''). Parece, portanto, que a maioria deles conseguiu compreender os processos de *absorção e liberação* de energia para se romper e formar as ligações químicas no decorrer do processo (M3). Porém, parece que ainda era confusa para eles a associação desse processo a um balanço energético final, no qual poderia existir um saldo energético final referente à diferença de energia entre os produtos e os reagentes que, se positivo, indicaria um processo endotérmico e, se negativo, indicaria um processo exotérmico (M5).

Em relação aos modelos finais, os alunos A1, A2 e A4 utilizaram, na avaliação, as ideias apresentadas anteriormente no modelo que destacava o rearranjo dos átomos (M4), mas não apresentaram a ideia do saldo energético final. O aluno A3, por sua vez, utilizou a ideia contida no modelo que destacava o rearranjo dos átomos, indicando um saldo energético ao final da transformação química, o que permite caracterizar o processo final como endotérmico ou exotérmico (M5). Por fim, o aluno A5 ressaltou em seu modelo final que a energia *liberada* na transformação química estava armazenada nas substâncias para que elas ficassem mais estáveis (M1''). Tal ideia, conforme destacado anteriormente, parece indicar uma concepção substancialista ainda persistente: a energia seria algo físico que estaria *acondicionada* em um sistema.

Discussão dos Resultados

A partir da análise do estudo de caso do grupo 1, é possível constatar que todas as duas evidências empíricas (EE1 e EE2) apresentadas ao longo do processo por meio de uma atividade demonstrativa foram importantes para a introdução de novas informações sobre as transformações químicas em estudo, instigando os alunos na elaboração de ideias que as elucidassem. A observação dessas evidências empíricas também permitiu que o grupo buscasse, em seus conhecimentos prévios, elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações. Os alunos recorreram à definição de calor estudada na Química, em conteúdos anteriores, para expressar o que entendiam por esse conceito. Para eles, o calor estava associado à força das ligações químicas, que absorvem muita ou pouca energia para serem desfeitas (M1'). As EE3 apresentadas na Atividade 3, por sua vez, permitiram que os alunos analisassem criticamente uma transformação química, percebendo que as massas se conservam após um processo químico caracterizado como exotérmico. Isso excluía, a princípio, qualquer concepção que pudesse associar energia a algo material.

Em relação às ideias prévias dos estudantes, essas foram importantes para propor a explicação para a origem do calor envolvido nos processos químicos, considerando-se que muitas delas relacionavam-se a conteúdos envolvendo energia estudados anteriormente nas disciplinas Biologia e Física. Tais ideias favoreceram a percepção dos processos em estudo, conduzindo os alunos a uma melhor compreensão dos mesmos e alicerçando a construção dos modelos que explicariam a energia envolvida nas transformações químicas.

Os questionamentos apresentados pela professora, pelo próprio grupo e propostos nas atividades realizadas pelos alunos constituem também elementos bastante relevantes para o desenvolvimento do processo, pois permitiram aos alunos uma busca de novas informações que subsidiaram a construção de todos os seus modelos. Além disso, os questionamentos também contribuíram para a reflexão a respeito da aplicabilidade dos modelos propostos, para a identificação de possíveis limitações e consequente

reformulação do modelo. Alguns questionamentos e discussões levaram à recapitulação de ideias prévias que pudessem ser aplicadas na construção e/ou explicação dos modelos. Como exemplos, podemos citar as transições: (i) do modelo que apresentava a energia associada às forças das ligações – atração e repulsão quando a molécula é formada (M1') – para o modelo que indicava a absorção de energia do ambiente para permitir o aumento da energia cinética das moléculas e, conseqüentemente, quebra das ligações (M2); e (ii) do modelo que apresentava a ideia de que os produtos têm menos energia do que os reagentes, *liberando* a energia excedente (M2') para o modelo em que o sistema *absorve* energia para quebrar as ligações e *libera* energia na formação das ligações, evidenciando a ideia de saldo energético final (M3 → M4 → M5). Finalmente, a socialização dos modelos na turma foi essencial para que os alunos percebessem as possíveis inconsistências nos mesmos.

A expressão concreta dos modelos contribuiu na explicitação das ideias dos alunos para a turma. A expressão de forma verbal, por sua vez, permitiu que o grupo apresentasse elementos do modelo impossíveis de serem expressos concretamente (como os aspectos energéticos que permeiam a união e separação dos átomos, as questões de estabilidade que permeiam as transformações químicas, entre outras), além de promover a reflexão sobre o próprio modelo ao expressá-lo.

Quando da apresentação e discussão dos modelos inicialmente elaborados, o grupo relatou que, em um primeiro momento, não havia conseguido pensar nada sobre o sistema resfriado. Para o sistema aquecido, porém, os alunos expressaram uma ideia baseada no modelo cinético molecular das partículas, demonstrando que a temperatura inicial do sistema era maior do que a temperatura final (M1). Essa temperatura (maior ou menor) estava associada a um estado de maior ou menor agregação das partículas (partículas mais afastadas caracterizam temperaturas maiores do sistema e mais juntas caracterizam temperaturas menores), conforme representaram em seus modelos. Tal ideia pode indicar uma concepção substancialista, segundo a qual o calor foi *liberado* para o ambiente, aquecendo o mesmo e resfriando o sistema, visto que saiu dele. Em outras palavras, esta é a ideia de um fluxo de calor do sistema para o ambiente, fazendo com que o sistema *perca* energia, se resfriando, e o ambiente *ganhe* energia, se aquecendo.

A utilização do modelo cinético molecular das partículas pode ter-se dado pela simplicidade em sua representação e pela explicação direta que fornece à primeira vista. Além disso, a reação do ácido sulfúrico com o açúcar (caracterizada pela liberação de calor para o ambiente ao final do processo) apresenta uma significativa expansão em seu volume, podendo levar os alunos a conceber uma coerência nas ideias apresentadas (quanto maior o calor, maior será a agitação molecular e, conseqüentemente, maior a expansão no volume do sistema). Tal explicação não se aplica às transformações químicas em estudo por não contemplar os processos de quebra e formação das ligações.

Ao iniciar a atividade de reformulação dos modelos, os alunos reestruturaram suas ideias, concebendo-as em termos da quebra (*absorção* de energia) e formação (*liberação* de energia) das ligações. Eles destacaram que foi mais simples pensar na reação naquele momento, isto é, que foi mais fácil reformular os modelos inicialmente criados considerando-se essas ideias. Tal facilidade parece estar associada à construção dos modelos com materiais concretos. De acordo com A2, “*ao construir os modelos para a reação, fica mais fácil de entendermos o que acontece na prática.*”. Ou seja, a manipulação dos modelos permitiu os alunos conceber a ideia de rearranjos dos átomos

no decorrer do processo, considerando alguns pressupostos como a conservação das massas. Isso parece ter contribuído para que eles percebessem que os átomos dos reagentes se reorganizam para se transformar nos produtos (M4).

Embora demonstrassem uma compreensão inicial do processo como um todo, até então eles não haviam feito referência à ideia de saldo energético final do sistema, caracterizando os processos em estudo como endotérmico ou exotérmico. Porém, durante a reformulação dos modelos, a ideia de saldo energético final se tornou mais óbvia para os alunos, dando-lhes a possibilidade de caracterizar os processos químicos, em termos da energia envolvida nos mesmos, como endotérmico ou exotérmico (terminologias já estudadas no conteúdo de ligações químicas) (M5). Entretanto, verificamos que a relação energética estabelecida inicialmente não foi adequada, considerando que eles expressaram que o saldo energético positivo caracterizava o processo exotérmico (*liberação* de calor) e o negativo caracterizava o processo endotérmico (*absorção* de calor) (M5). Tal associação se mostra incoerente, pois no processo exotérmico os produtos terão menos energia (H_P) do que os reagentes (H_R), o que, de acordo com a Lei de Hess ($\Delta H = H_P - H_R$), resultará em um saldo energético final negativo. Essa diferença de energia (ou entalpia) entre os reagentes e produtos é explicada pelo fato de os átomos dos reagentes se rearranjarem formando produtos com maior estabilidade energética. Sendo assim, a energia será *liberada* na forma de calor para o ambiente, caracterizando o processo químico como exotérmico. Em situação contrária, teríamos a caracterização do processo endotérmico.

Conclusões

Em termos do aprendizado relacionado à energia envolvida nas transformações químicas, podemos afirmar que o processo de ensino fundamentado em modelagem contribuiu para a compreensão de vários aspectos qualitativos sobre o tema, essencialmente relacionados ao modo *como* o rearranjo de átomos ocorre durante o processo. Além disso, os alunos também demonstraram ter entendido, através de seus modelos, que o rearranjo dos átomos não ocorre por simples acaso, mas envolve questões energéticas tanto na *quebra* quanto na *formação* de novas ligações, buscando sempre a estabilidade do sistema. Nossos dados evidenciam que tal contribuição ocorreu devido à intensa participação dos alunos nas atividades e a alguns elementos do processo de ensino fundamentado em modelagem, em especial, a consideração das idéias prévias dos alunos; interações frequentes entre os alunos e deles com a professora, muitas vezes através de questionamentos e discussões que visavam favorecer a criação, expressão ou teste de algum modelo; a utilização de evidências experimentais para introduzir dados e/ou questionamentos; a representação dos modelos de forma concreta; a necessidade de comunicar e justificar os modelos elaborados para a turma. Todos esses aspectos permitiram uma reestruturação nas idéias dos alunos, favorecendo a articulação de um saber efetivo e incorporando novos conhecimentos à estrutura cognitiva de modo não-arbitrário.

No processo como um todo, podemos concluir que o envolvimento dos alunos com a estratégia em questão permitiu que eles modificassem suas idéias. Ao final da estratégia, eles demonstraram conceber de forma elucidativa as transformações químicas em estudo, embora a maioria deles não associasse corretamente a ideia de saldo energético final. Acreditamos que tal fato se deve, pelo menos em parte, a eles terem expressado com uma ideia estática do processo, representando um modelo para a transformação química semelhante ao que é representado nos livros didáticos pelas equações que

descrevem os processos químicos (isto é, enfocando apenas os reagentes e produtos e não o processo da reação com um todo e suas especificidades). Entretanto, ao longo das atividades, eles passaram a conceber a ideia inerente à quebra e formação das ligações nas transformações químicas, podendo assumir uma postura mais crítica frente às diferentes representações apresentadas em várias situações de ensino e entendendo a dinamicidade inerente a toda e qualquer transformação química, com os rearranjos atômicos associados às diferentes relações energéticas inerentes aos processos em estudo.

Ao analisarmos a utilização desta estratégia de ensino, constatamos também que os alunos se envolveram de forma significativa em todas as etapas do processo, principalmente naquelas resultantes da introdução de questões bastante desafiadoras e, sobretudo, nos momentos em que eles defenderam seus modelos e discutiram aspectos divergentes desses em relação aos modelos apresentados pelos colegas. Nesses momentos, eles demonstraram a utilização de um raciocínio criativo e coerente com suas ideias anteriores, com as evidências e informações às quais eles tiveram acesso e com as ideias discutidas no grupo ou entre os grupos. Como resultado, a maior parte dos alunos foi capaz de elaborar e reformular seus modelos.

No processo aqui analisado, constatamos que, muitas vezes, modelos distintos foram elaborados em função do conhecimento prévio dos alunos, bem como dos aspectos que cada um julgava necessário destacar. Esta elaboração de diferentes modelos para uma mesma situação é um aspecto inerente à própria natureza dos modelos.

Em relação ao processo de elaboração dos modelos mentais, é oportuno ressaltar também que este é um processo individual e inacessível ao professor e aos outros alunos. Porém, tal processo é passível de ocorrer com a interferência de outras pessoas, articulando novas ideias. Isto foi observado quando a professora e os colegas formularam questões e colaboraram com sugestões que nortearam a ideia dos alunos ao longo desse processo. No caso da professora, isso foi deliberadamente feito visando problematizar questões importantes. As sugestões da professora também foram de grande relevância para o processo, pois elas, em geral, chamaram a atenção dos alunos para aspectos que os auxiliaram durante a construção dos modelos, favorecendo a utilização de analogias, a integração dos conhecimentos prévios e mesmo a ocorrência de *insights* que desencadearam a elaboração de novos conhecimentos.

Em relação ao desenvolvimento do processo, evidenciamos a ocorrência de questionamentos gerados por alunos e pela professora estimulando o desenvolvimento dos modelos e a construção do conhecimento sem que os alunos pudessem fornecer respostas a partir de um conhecimento já elaborado. Tais questionamentos permitiram, muitas vezes, a proposição de novas explicações pelos grupos, contribuindo para a elaboração, reformulação ou aprimoramento dos modelos propostos.

A utilização de materiais como massa de modelar, bolas de isopor e palitos na expressão dos modelos tentou contemplar e valorizar a criatividade dos alunos, permitindo que eles usassem diferentes modos de representação para expressar suas ideias. Além disso, favoreceu a percepção de algumas limitações dos modelos. Isso chegou a gerar novos elementos que faziam com que o modelo entrasse novamente no ciclo de construção, sendo muitas vezes repensado pelos alunos em diferentes situações. Uma situação que evidenciou alguma limitação do modelo criado foi a tentativa de utilizá-lo para explicar o processo endotérmico. Naquele momento, eles perceberam a dificuldade de se explicar a ocorrência de tal processo químico com a utilização de um modelo concreto

que contemplava apenas o rearranjo dos átomos no decorrer do processo. Eles perceberam, então, que o modelo explica o rearranjo dos átomos, mas não contempla de forma plausível a questão energética envolvendo o processo (energia dos produtos maior do que a energia dos reagentes).

Em relação à comunicação do modelo construído pelo grupo de alunos à turma, concluímos que esse processo de socialização provocou um grande envolvimento do grupo nas discussões dos modelos, pois foi o momento em que os alunos apresentaram e discutiram as ideias que sustentam o modelo, permitindo-lhes avaliar o conhecimento que produziram. Isso proporcionou não só a interação entre os alunos, mas entre o grupo de trabalho e o professor. Por isso, em eventuais atividades de construção de modelos proposta aos alunos, o professor deve fomentar a ocorrência de uma interação dinâmica em sala de aula, favorecendo uma reflexão crítica em relação à aplicabilidade dos modelos e permitindo observar se os mesmos atendem a um determinado objetivo pré-estabelecido. Assim, os alunos podem ter a oportunidade de descobrir que muitos modelos apresentam limitações na representação de um processo ou evento. Cabe ao professor, então, explicitar tais limitações aos seus alunos e o significado delas no contexto das ciências, tendo em vista que um modelo pode descrever e explicar satisfatoriamente bem certo fenômeno, falhando na explicação de outros. Então, o modelo em questão poderá ser usado para aquela situação e não ser utilizado para outra, como se observa no estudo da evolução dos modelos atômicos, por exemplo. Isso deve ser bem compreendido pelo professor e discutido no decorrer dos trabalhos, principalmente por meio de atividades nas quais os alunos sejam colocados em situações instigantes e desafiadoras que os permitam refletir criticamente sobre a utilização dos modelos em diferentes contextos. Conforme enfatizado por Justi (2006), assim os alunos poderão ter a oportunidade de perceber que a construção de um modelo apresenta objetivo(s) específico(s), devendo ser útil para explicar, prever e fazer inferências sobre as várias situações a serem modeladas.

Por fim, os resultados obtidos na presente pesquisa corroboram aqueles obtidos nas pesquisas realizadas por Maia e Justi (2009) e Mendonça e Justi (2009), que investigaram, respectivamente, a aprendizagem de equilíbrio químico e de ligações iônicas a partir da mesma fundamentação teórica utilizada neste trabalho. Isto confirma nossa crença de que os professores devem promover situações de ensino em que os alunos possam expressar suas concepções, buscando desenvolver um ambiente que favoreça a construção e discussão das mesmas.-

Implicações do Trabalho para o Ensino de Química e a Pesquisa Educacional na Área de Ciências da Natureza

O estudo aqui descrito, ao mesmo tempo em que corrobora a utilização do diagrama Modelo de Modelagem como base para a elaboração e condução de atividades de ensino, aponta para outros aspectos como, por exemplo, a importância de o professor:

- buscar um conhecimento amplo e mais reflexivo sobre aspectos históricos e filosóficos relativos a temas fundamentais no ensino de ciências, como a energia. Assim, ele poderia identificar, junto aos alunos, ideias ou formas de raciocínio análogas àsquelas utilizadas por cientistas e promover discussões das mesmas que os levassem a desenvolver um modo de pensar científico e a elaborar questões, ao invés de aceitar um conhecimento pronto imposto pelo professor (MATTHEWS, 1994);

- estar atento à linguagem empregada em sala de aula, de forma a não favorecer o desenvolvimento ou reforçar concepções alternativas que os alunos possam já ter desenvolvido. Especificamente em relação ao conceito de calor e energia, os professores devem evitar todas as palavras e expressões que possam favorecer uma visão substancialista da mesma;
- conhecer e buscar trabalhar com atividades de modelagem o que, como destacado na literatura e evidenciado neste artigo, pode favorecer de forma significativa o aprendizado de ciências.

Em relação à pesquisa educacional, este artigo aponta para a necessidade de investigar outras questões. No momento, uma nos parece muito relevante:

- Como superar os dilemas relacionados à utilização de elementos linguísticos e representações incoerentes relativas à energia por inúmeros professores e materiais didáticos?

Acreditamos que a investigação de questões como esta pode contribuir não só para ampliar o conhecimento na área do ensino de ciências como, também, para fundamentar ações de professores interessados em contribuir para que os alunos aprendam ciências de maneira significativa e para que esse ensino seja efetivamente relevante para uma melhor formação dos mesmos. Isso permitiria aos alunos lidar com os inúmeros desafios a serem enfrentados na sociedade contemporânea, habilidade fundamental na formação acadêmica atual.

Agradecimentos

Ao CNPq e aos professores e pesquisadores do projeto de pesquisa *Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação*, que contribuíram para a construção desse trabalho.

Referências

- ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. Algumas considerações sobre o ensino e a aprendizagem do conceito de energia. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 1, p. 41-52, 2003.
- BARAB, S. A.; HAY, K. E.; BARNETT, M.; KEATING, T. Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 7, p. 719-756, 2000.
- BLISS, J.; OGBORN, J. Children's choices of uses of energy. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 2, p. 195-203, 1985.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, A. K. **Qualitative research for education: an introduction to theory and methods**. 2 ed. Boston: Allyn & Bacon, 1992.
- BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, p. 569-581, 1998.
- CLEMENT, J. Model based learning as a key research area for science education. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 1041-1053, 2000.
- COHEN, I.; BEN-ZVI, R. Students' achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. **International Journal of Science Education**, v. 14, p. 147-156, 1992.

- COLL, R. K.; FRANCE, B.; TAYLOR, I. The role of models and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, v. 27, p. 183-198, 2005.
- FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. **Química Nova na Escola**, v. 24, p. 20-24, 2006.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Eds.), **Developing Models in Science Education**. 1 ed. Dordrecht: Kluwer, 2000, pp. 3-17.
- GRIFFITHS, A. K.; PRESTON, K. R. Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, p. 611-628, 1992.
- HAPKIEWICZ, A. Clarifying chemical bonding: overcoming our misconceptions. **The Science Teacher**, v. 58, n. 3, p. 24-27, 1991.
- HENRIQUE, K. F. **O pensamento físico e o pensamento do senso comum: a energia no 2o grau**. 1996. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- HESTENES, D. Modeling games in the Newtonian world. **American Journal Physics**, v. 60, p. 732-748, 1992.
- HIGA, T. T. **Conservação de Energia: estudo histórico e levantamento conceitual dos alunos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Teachers' views on the nature of models. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, p. 1369-1386, 2003.
- JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, p. 173-184, 2006.
- MAIA, P. F.; JUSTI, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 5, p. 603-630, 2009.
- MATTHEWS, M. R. **Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science**. New York and London: Routledge, 1994.
- MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte 2. **Educación Química**, v. 20, n. 3, p. 603-630, 2009.
- MORRISON, M.; MORGAN, M. S. Models as mediating instruments. In: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Models as mediators**. 1 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 10-37.
- MULFORD, D. R.; ROBINSON, W. R. An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. **Journal of Chemical Education**, v. 79, p. 739-744, 2002.

NERSESSIAN, N. J. Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. (Eds.), **Model-Based Reasoning in Scientific Discovery**. New York: Kluwer and Plenum Publishers, 1999, pp. 5-22.

OGBORN, J. Energy, change, difference and danger. **School Science Review**, v. 72, p. 81-85, 1990.

PÉREZ-LANDEZÁBAL, M. C.; FAVIERES, A.; MANRIQUE, M. J.; VARELA, P. La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 1, p. 55-65, 1995.

SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. **Physics Education**, v. 20, p. 165-170, 1985.

TEICHERT, M. A.; STACY, A. M. Promotion understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, p. 464-496, 2002.

TRUMPER, R. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part two. **International Journal of Science Education**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 1991.

VOSNIADOU, S. Mental Models in Conceptual Development. In: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. (Eds.), **Model-based Reasoning in Scientific Discovery**. 1 ed. New York: Kluwer and Plenum Publishers, 2002, pp. 353-368.

Recebido em Maio de 2009, aceito em Março de 2010.