

Vinícius Catão de Assis Souza

**OS DESAFIOS DA ENERGIA NO  
CONTEXTO DA TERMOQUÍMICA:  
MODELANDO UMA NOVA IDÉIA  
PARA AQUECER O ENSINO DE  
QUÍMICA**

Belo Horizonte

2007

Vinícius Catão de Assis Souza

**OS DESAFIOS DA ENERGIA NO CONTEXTO DA  
TERMOQUÍMICA: MODELANDO UMA NOVA  
IDÉIA PARA AQUECER O ENSINO DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Rosária da Silva Justi

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2007

Esta dissertação é, para mim,  
muito mais que a finalização de  
um trabalho. Ela representa a  
realização de um sonho. Por isso,  
dedico integralmente este trabalho  
a duas pessoas fundamentais na  
realização deste sonho: a minha  
mãe, grande amiga e  
incentivadora, e a minha  
orientadora, Rosária Justi.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, presente em todo o percurso dessa caminhada, me permitindo trilhar momentos de erros e acertos, de vitórias e de derrotas... Momentos e situações que me permitiram aprender a virtude da superação frente às dificuldades da vida, o que me fez um ser humano mais forte e corajoso.

A minha querida mãe, amiga e incentivadora, em quem sempre encontro refúgio e palavras de encorajamento.

Aos meus irmãos, Geraldo e Christian, a Norma e ao meu querido sobrinho Bernardo. Todos vocês representam muito para mim.

As minhas colegas do Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química: Ariadne, Kristianne, Mariana, Nilmara, Paula e Poliana. As contribuições de todas vocês foram fundamentais para a construção deste trabalho.

A Mariana, por se disponibilizar a me ajudar a filmar algumas das aulas e à Paula, por acreditar na estratégia de ensino e aplicá-la em sua turma.

Aos professores José Luis, Maria Eliza e Luiz Otávio, pelo apoio e disponibilidade em me ajudar, apresentando e discutindo aspectos relevantes para o trabalho.

Aos meus colegas do grupo INOVAR, com os quais aprendi muito nos debates empreendidos durante as reuniões.

Aos professores da Pós-graduação, pelas ricas discussões que me permitiram (re)pensar muitas idéias e quebrar inúmeros paradigmas.

Aos meus colegas professores do Colégio Santa Dorotéia, companheiros de jornada e nos quais encontrei, por inúmeras vezes, palavras amigas.

A minha amiga Poliana, pela disponibilidade e consistente ajuda sempre que precisei. Este trabalho não seria o mesmo sem as suas importantes contribuições.

A Rosária Justi, orientadora perfeita e grande profissional, apaixonada pelo que faz e sublime em propor desafios para que eu pudesse crescer como profissional e pessoa. Conforme escreveu Isaac Newton em uma carta para Robert Hooke, em 1676: *“Se vi mais longe foi porque estava sobre os ombros de gigantes”*. O mesmo posso dizer em relação a este trabalho: se consegui galgar novos rumos e conhecer mais sobre o ensino de ciências, certamente foi por estar amparado por uma sábia orientadora, que me guiou em meio às veredas que permitem a construção de novos conhecimentos. Obrigado por confiar em mim. Obrigado por todo empenho, sem medir esforços, em me passar todo o seu melhor, mostrando que a excelência deve ser o nosso objetivo maior.

*“O nascimento do pensamento é igual ao nascimento de uma criança: tudo começa com um ato de amor. Uma semente há de ser depositada no ventre vazio. E a semente é o sonho. Por isso os educadores, antes de serem especialistas em ferramentas do saber, deveriam ser especialistas em amor: intérpretes de sonhos.”*

Rubem Alves

*“Ela está no horizonte (...) Me aproximo dois passos, ela se afasta dois passos. Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos. Por mais que eu caminhe, jamais a alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para isso: para caminhar.”*

Eduardo Galeano

## RESUMO

Atualmente, o ensino de ciências tem focado sua atenção na compreensão sobre a natureza e os processos através dos quais o conhecimento científico se desenvolve. Diversas pesquisas têm enfatizado a importância de os processos de ensino e aprendizagem serem conduzidos a partir de uma perspectiva fundamentada na construção de modelos. Nesse contexto, o envolvimento dos alunos em atividades de modelagem emerge como uma parte essencial de uma abordagem de ensino mais dinâmica e significativa para os alunos. Nesta perspectiva, uma proposta para o ensino do tema *energia envolvida nas transformações químicas* foi elaborada a partir do diagrama Modelo de Modelagem. Para subsidiar a proposição da estratégia, aspectos relacionados à evolução histórica das idéias sobre calor e energia ao longo dos tempos foram considerados. Esta pesquisa apresenta a estratégia de ensino elaborada e analisa sua aplicação a uma situação regular de ensino, discutindo suas contribuições para que alunos do ensino médio aprendam os principais aspectos conceituais relativos ao tema *energia envolvida nas transformações químicas*. O estudo foi conduzido em uma turma do segundo ano do ensino médio de uma escola pública federal (alunos com idades entre 16-19 anos). Os dados foram coletados a partir de materiais escritos produzidos pelos alunos durante todo o processo, gravações em vídeo de todas as aulas e notas de campo. A partir da análise dos dados escritos e da participação dos alunos nas discussões, um estudo de caso foi redigido para cada grupo. A análise desses estudos de caso permitiu discutir a contribuição de atividades de modelagem na aprendizagem. Além disso, os modelos elaborados pelos alunos também foram discutidas à luz de aspectos históricos referentes ao desenvolvimento do conhecimento acerca da energia. Os resultados dessa pesquisa permitem concluir que o desenvolvimento de todo o processo foi significativo para os alunos, permitindo a eles construir, testar e reconstruir novas idéias. A estratégia também permitiu que os alunos atuassem como construtores do seu próprio conhecimento, desenvolvendo uma visão crítica e reflexiva sobre o fazer ciência.

## ABSTRACT

Nowadays, science teaching has been focused on the understanding of the nature and processes by which scientific knowledge is developed. Some research have emphasised the importance of modelling-based teaching and learning. In this way, the involvement of students in modelling activities emerges as dynamic and significant to students. From this perspective, this research presents a proposal for the teaching of the theme *energy involved in chemical changes*, based on the Model of Modelling diagram. In order to support the elaboration of the teaching strategy, aspects related to the historical evolution of ideas about heat and energy along the time were taken into account. This research presents the teaching strategy and analyses its use in a regular teaching situation by discussing its contribution to students learning about the main conceptual issues related to the theme energy involved in chemical changes. The study was conducted with students from a second year class of a medium level Brazilian public school (16-19 years old). Data were gathered from written material produced by the students during the whole process, video recording of all classes, and researcher's notes. From the analysis of both written answers and participation of students in several discussions, case studies were elaborated for each group of students. The following analysis of these case studies allowed the discussion about the importance of the modelling activities in students' learning. Moreover, students' models were also discussed in the light of historical aspects related to the development of knowledge about energy. The results of this research support the conclusion that the participation in the whole process was significant for the students, allowing them to build, test, and rebuild new ideas. The teaching strategy also allowed that students construct their own knowledge, developing a critical and reflexive perception about how to do science.

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
APRESENTAÇÃO: OS OBJETIVOS DA PESQUISA E OS CAMINHOS TRAÇADOS PARA ALCANÇÁ-LOS	1
CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO	2
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
<b>CAPÍTULO 2. ENERGIA NO ENSINO: RELAÇÕES HISTÓRICAS E CONTEMPORÂNEAS ESTABELECIDAS ENTRE O FAZER E O SABER CIENTÍFICO</b>	<b>7</b>
CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO HISTÓRICO NA PESQUISA EM QUESTÃO	7
UM BREVE APMANHADO DAS IDÉIAS DE CALOR E ENERGIA DESCRITAS NO TRANSCURSO HISTÓRICO DA CIÊNCIA: A BUSCA POR PRESSUPOSTOS DE UM SABER ANCORADO NA EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO	9
Primeiras idéias sobre calor no percurso histórico da ciência	9
Visão mecanicista do calor	12
O calor como substância e a teoria do flogisto na ciência	15
As contribuições de Lavoisier e as idéias sobre o calor: o calórico mantendo as concepções substancialistas	20
A teoria material do calor perde força, mas o fim das concepções substancialistas ainda está longe	23
O calor no contexto da termoquímica: uma abordagem físico-química	27
Idéias contemporâneas sobre calor e energia: alguns debates relevantes para o ensino de ciências em relação a um tema interdisciplinar	29
O CENÁRIO APRESENTADO NAS PESQUISAS RELATIVAS ÀS IDÉIAS INTUITIVAS DE ENERGIA: AS DIFERENTES ARTICULAÇÕES CONCEITUAIS E/OU HISTÓRICAS ESTABELECIDAS NO ENSINO DE UM TEMA COM GRANDE ABRANGÊNCIA TEÓRICA	37
<b>CAPÍTULO 3. MODELOS E MODELAGEM NO ENSINO: UMA NOVA TENDÊNCIA OU UM GRANDE DESAFIO PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA?</b>	<b>46</b>
O ENSINO DE CIÊNCIAS E SEUS DESAFIOS FRENTE A UMA ‘NOVA’ PROPOSTA PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA	46
O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NA CIÊNCIA E SUA RELAÇÃO COM A AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO EM SALA DE AULA: UMA NOVA PROPOSTA DE ENSINO	48

<b>PESQUISAS SOBRE MODELOS E MODELAGEM NO ENSINO DE CIÊNCIAS</b>	<b>53</b>
<b>PROPOSTA DE ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM: ASPECTOS TEÓRICOS</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO 4. DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA</b>	<b>61</b>
<b>QUESTÕES DE PESQUISA</b>	<b>61</b>
<b>ELABORAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>	<b>62</b>
<b>COLETA DE DADOS</b>	<b>63</b>
<b>ANÁLISE DOS DADOS</b>	<b>64</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA: AMOSTRA E CONTEÚDO ESTUDADO PREVIAMENTE</b>	<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 5. O ENSINO DA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DE MODELAGEM</b>	<b>70</b>
<b>PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS AULAS</b>	<b>70</b>
<b>1ª AULA: IDÉIAS GERAIS DOS ALUNOS SOBRE ENERGIA</b>	<b>72</b>
<b>2ª AULA: ATIVIDADE PRÁTICA ASSOCIADA À CRIAÇÃO DE MODELOS PARA EXPLICAR AS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS OBSERVADAS (PROCESSOS ENDOTÉRMICO E EXOTÉRMICO)</b>	<b>73</b>
<b>3ª AULA: ATIVIDADE DE REFORMULAÇÃO DOS MODELOS</b>	<b>75</b>
<b>4ª AULA: CHEGANDO A UM MODELO CONSENSUAL PARA A CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS</b>	<b>77</b>
<b>5ª AULA: APRECIÇÃO FINAL DA ESTRATÉGIA</b>	<b>78</b>
<b>6ª AULA: AVALIAÇÃO FINAL DE CONTEÚDO</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO 6. INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM DOS ALUNOS</b>	<b>80</b>
<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>80</b>
<b>GRUPO 1</b>	<b>82</b>
Estudo de Caso	82
Diagrama Representativo do Processo	93
Análise do Estudo de Caso	102
<b>GRUPO 2</b>	<b>106</b>
Estudo de Caso	106

Diagrama Representativo do Processo	114
Análise do Estudo de Caso	122
<b>GRUPO 3</b>	<b>126</b>
Estudo de Caso	126
Diagrama Representativo do Processo	134
Análise do Estudo de Caso	141
<b>GRUPO 4</b>	<b>144</b>
Estudo de Caso	144
Diagrama Representativo do Processo	152
Análise do Estudo de Caso	159
<b>CAPÍTULO 7. ANÁLISE GERAL DA APRENDIZAGEM</b>	<b>165</b>
<b>DISCUTINDO A UTILIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MODELAGEM NO ENSINO DOS PRINCIPAIS ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS</b>	<b>165</b>
<b>DISCUTINDO COMO A UTILIZAÇÃO DE ASPECTOS HISTÓRICOS, REFERENTES AO DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO SOBRE ENERGIA, PODEM FAVORECER A COMPREENSÃO DOS MODELOS ELABORADOS DURANTE A ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>	<b>171</b>
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES</b>	<b>175</b>
<b>ALGUMAS CONSIDERAÇÕES GERAIS</b>	<b>175</b>
<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA</b>	<b>176</b>
<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA</b>	<b>180</b>
<b>IMPLICAÇÕES DO TRABALHO PARA O ENSINO DE QUÍMICA E A PESQUISA EDUCACIONAL</b>	<b>182</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>185</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE I. ATIVIDADE 1</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE II. ATIVIDADE 2</b>	<b>192</b>
<b>APÊNDICE III. ATIVIDADE 3</b>	<b>193</b>
<b>APÊNDICE IV. ATIVIDADE 4</b>	<b>196</b>
<b>APÊNDICE V. APRECIÇÃO FINAL DA ESTRATÉGIA DE ENSINO</b>	<b>200</b>

**APÊNDICE VI. QUESTÕES PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM 201**

**APÊNDICE VII. TABELA DE FREQUÊNCIA DOS ALUNOS ÀS AULAS 205**

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

### APRESENTAÇÃO: OS OBJETIVOS DA PESQUISA E OS CAMINHOS TRAÇADOS PARA ALCANÇÁ-LOS

Desde que o ser humano surgiu na face da Terra, deparou-se com estranhos fenômenos que hoje dizemos estar ligados ao conceito de energia. Dentre eles, possivelmente o fogo foi o mais impressionante. Dominá-lo significou dar um grande passo para lidar com a escuridão, o frio e outras situações pouco confortáveis impostas pela natureza.

Considerando-se que a queima de diferentes materiais já era observada desde os primórdios da civilização, um interessante questionamento relacionado aos fenômenos energéticos se apresenta oportuno: será que, com o advento do fogo, o ser humano teria realmente começado a fazer química? À primeira vista somos tentados a dizer que sim, uma vez que o domínio das técnicas de combustão permitiu o desenvolvimento da cerâmica e da metalurgia, dentre outras realizações. Todavia, se entendermos por química não um conjunto de técnicas de manipulação e produção de materiais, mas sim uma ciência que articula planos de investigação empírica e modelos explicativos racionais, é preciso responder que seu começo só se dá efetivamente com Boyle, no século XVII. A partir daí, temos o desenvolvimento de diferentes saberes que permeiam as questões energéticas e o início de questionamentos, muitos dos quais permanecem latentes ainda hoje em nossas mentes. Um dos questionamentos que nos propomos a pesquisar é *como os alunos compreendem a energia envolvida nas transformações químicas*. Para os alunos, o que seria essa *grandeza* à qual damos o nome de energia? Como eles lidam com ela no contexto dos processos químicos?

O conceito de calor, fundamental no estudo da energia envolvida nas transformações químicas, já foi estudado em muitos trabalhos de pesquisas na área de educação em ciências, os quais discutem aspectos variados como concepções espontâneas dos estudantes, dificuldades de aprendizagem, propostas de estratégias de ensino, influência da história da ciência no ensino, entre outros (Albert, 1978; Brook, Briggs, Bell, & Driver, 1984; Cervantes, 1987; Erickson, 1985; Lima & Barros, 1997; Mortimer & Amaral, 1998; D. Silva, 1995).

Pesquisas 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 (Boo, 1998; Duit, 1984; J. Gilbert & Pope, 1986; Ogborn, 1990) ou, ainda, as dificuldades quanto à aprendizagem de um grande número de conceitos abstratos como calor, energia, temperatura e energia de ligação (Boo, 1998; Cohen & Ben-Zvi, 1992; Hapkiewicz, 1991).

O conhecimento desse cenário apresentado pelas pesquisas e dos aspectos históricos relativos ao tema fizeram com que o mesmo exercesse um fascínio sobre mim. Tal interesse aumentou significativamente quando me vi diante do desafio de ensinar o conteúdo de Termoquímica aos alunos do ensino médio pela primeira vez. Naquele momento, constatei a minha limitação relacionada ao conhecimento mais detalhado de alguns conceitos e à falta de estratégias eficientes para abordá-los de forma a favorecer a aprendizagem significativa dos alunos. Dentre esses conceitos, o calor e a energia se sobressaíam.

Neste trabalho, foi elaborada uma estratégia de ensino abordando a temática da *energia envolvida nas transformações químicas*, a partir de uma metodologia fundamentada na elaboração e teste de modelos pelos próprios alunos, conhecida como modelagem. Posteriormente, foi realizada a análise dos modelos elaborados pelos alunos durante o processo de ensino. A opção pela estratégia de modelagem foi feita por acreditarmos que ela favorece um grande envolvimento dos alunos na construção do conhecimento e que tal conhecimento não fica limitado ao conteúdo químico, mas estende-se também à natureza da produção de um saber científico.

## CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

Algumas das pesquisas citadas anteriormente demonstram que o conteúdo envolvendo as transformações químicas é um tópico do currículo escolar cujo ensino tem-se revelado problemático. Considerando o cenário delineado por inúmeras pesquisas, podemos destacar duas frentes de trabalho seguidas por diferentes estudos já realizados: uma linha com enfoque nas concepções alternativas dos alunos sobre as transformações químicas e outra no estudo dos aspectos energéticos (ou termoquímicos) envolvendo essas transformações.

Nesse contexto de pesquisa, percebemos uma lacuna em relação a estudos que focalizam a atenção na proposição e avaliação de estratégias de ensino que visam favorecer a superação de tais dificuldades pelos alunos. Este trabalho, então, se apresenta como uma possibilidade para que tal lacuna seja preenchida, uma vez que essas duas características estão presentes nele.

De acordo com Rosa (1996), dentre as pesquisas envolvendo as concepções alternativas de alunos sobre transformação química, uma das mais significativas é a de Andersson (1990), que analisa as concepções de estudantes de 12 a 16 anos, identificadas em diferentes pesquisas realizadas na década de 1980. Na sua análise, Andersson configura cinco categorias de idéias dos alunos sobre as transformações químicas, a saber: (i) desaparecimento, (ii) deslocamento, (iii) modificação, (iv) transmutação e (v) interação química.

Em relação às questões energéticas envolvidas nas transformações químicas, é importante destacar que existem vários trabalhos na literatura que discutem as dificuldades dos alunos em compreender conceitos fundamentais de termoquímica (Boo, 1998; Griffiths & Preston, 1992; Mulford & Robinson, 2002; Teichert & Stacy, 2002).

Levando-se em consideração: (i) o cenário referente às diferentes pesquisas produzidas sobre ensino/aprendizagem em ciências; (ii) a lacuna na literatura em termos de propostas metodológicas envolvendo a temática em questão; e (iii) as discussões empreendidas nos trabalhos supracitados; torna-se necessário (re)pensar os contextos nos quais o ensino de química tem-se alicerçado. Para tanto, devemos buscar construir novas estratégias metodológicas que contemplem tal dimensão de ensino, como, por exemplo, a utilização de modelos e modelagem no ensino.

Nesse contexto, os alunos deveriam ser conduzidos a pensar sobre vários aspectos até então pouco priorizados nas aulas tradicionais. Essas aulas, que primam pela mera transmissão de informações desconexas, criam ‘*espaços pseudo-educativos*’. Neles, os alunos podem ser caracterizados como agentes receptores passivos por não terem a oportunidade de articular e construir seus próprios conhecimentos a partir do diálogo estabelecido no espaço educativo (*professor ↔ aluno* ou *aluno ↔ aluno*). Esperamos que este modelo de ensino tradicionalista esteja com seus dias contados, pois acreditamos nas propostas contemporâneas de se educar pela ciência, com o enfoque

voltado para a formação de cidadãos com uma visão crítica e reflexiva sobre o mundo. Tal objetivo parece não se enquadrar ao perfil tradicional e pouco inovador predominante em inúmeras instituições de ensino. As novas propostas para o ensino de ciências seriam, portanto, uma quebra de paradigma, tendo em vista que as pessoas estão, voluntária ou involuntariamente, sempre agindo, pensando, propondo, refazendo, aprimorando, retificando, ampliando ou evoluindo de forma dinâmica e segundo paradigmas pré-determinados.

Nesse contexto, que visa o desenvolvimento de um ensino significativo, situa-se a perspectiva de ensino fundamentado em modelos e modelagem. A construção de modelos é um processo inerente ao sistema cognitivo humano (Vosniadou, 2002). Na sua busca por compreender o universo que o cerca, o homem constrói modelos mentais que representam aspectos tanto do mundo físico quanto do social e manipula esses modelos ao pensar, planejar e tentar explicar eventos desse mundo. Desta forma, modelos sempre estão presentes no processo de aquisição e construção do conhecimento.

Justi (2006) 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 desenvolvendo uma forma de conhecimento flexível que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (Clement, 2000). Vários estudos (Barab, Hay, Barnett, & Keating, 2000; Barbosa, 2003; Collins & Gentner, 1987; Ferreira & Justi, 2005a; Mendonça & Justi, 2005; Nersessian, 1999; Vosniadou, 1999, 2002) têm mostrado que a utilização de modelos, na perspectiva de promover o desenvolvimento do conhecimento, contribui decisivamente para a construção de um aprendizado significativo.

Devemos considerar, sobretudo, que 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 terão a oportunidade de vivenciar aspectos excitantes e interessantes em relação à produção do conhecimento científico, de pensar sobre os propósitos da ciência, de poder 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*. Desta forma, a ciência não seria apenas algo que é apresentado de forma inerte nos livros, mas se tornaria uma atividade através da qual fenômenos são estudados de uma forma ativa e instigante (Justi & Gilbert, 2003).

## ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está distribuído em oito capítulos, de acordo com a ordem em que serão descritos a seguir. Neste primeiro capítulo, é apresentada a introdução do trabalho e a relevância do tema para o ensino, destacando os objetivos da pesquisa e os caminhos para alcançá-los. Além disso, é apresentado um panorama geral da pesquisa sobre modelagem no ensino, bem como uma breve articulação dessa proposta de trabalho à temática relacionada à *energia envolvida nas transformações químicas*.

A seguir, no capítulo dois, é apresentada uma breve descrição histórica das idéias sobre calor e energia construídas ao longo do tempo. Na seqüência, aborda-se o cenário das pesquisas relativas às idéias intuitivas dos alunos sobre energia e uma breve revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento histórico do conhecimento científico sobre energia. Esse capítulo justifica a escolha do tema energia envolvida nas transformações químicas, tendo em vista as pesquisas descritas e a lacuna observada na literatura em relação ao desenvolvimento de estratégias de ensino que o contemplem.

No capítulo três, a partir de uma revisão bibliográfica sobre modelos e modelagem em ciências e no ensino de ciências, é ressaltada a relevância da utilização dos mesmos no ensino de ciências.

O quarto capítulo apresenta o desenho metodológico da pesquisa, com destaque para as questões de pesquisa que nortearam as definições relativas à metodologia de pesquisa e à análise dos dados obtidos. Além disso, ele apresenta uma breve caracterização da pesquisa, com especial destaque para a amostra.

O capítulo cinco apresenta a descrição e os propósitos das aulas da estratégia de ensino relacionada à *energia envolvida nas transformações químicas*.

Os capítulos seis e sete apresentam os estudos de caso elaborados a partir dos dados coletados e a análise geral da aprendizagem, procurando discutir cada uma das questões de pesquisa.

Vinicius Catão de Assis Souza

O capítulo oito encerra a dissertação apresentando algumas considerações gerais em relação aos resultados obtidos, assim como suas implicações para o ensino de ciências e algumas possibilidades de pesquisa na área.

## **CAPÍTULO 2. ENERGIA NO ENSINO: RELAÇÕES HISTÓRICAS E CONTEMPORÂNEAS ESTABELECIDAS ENTRE O FAZER E O SABER CIENTÍFICO**

### **CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO HISTÓRICO NA PESQUISA EM QUESTÃO**

A temática envolvendo o calor e a energia na ciência vem sendo investigada desde os primórdios da humanidade, quando o homem começou a introduzir técnicas que utilizavam o calor para o benefício próprio como, por exemplo, o aquecimento em tempos de frio intenso, a cocção dos alimentos, as técnicas metalúrgicas e, mais recentemente, a utilização das máquinas térmicas. Por meio da articulação de todos esses conhecimentos, a história da ciência nos mostra que houve um incessante trabalho por parte dos cientistas na busca da explicação dos diversos fenômenos térmicos (sejam eles físicos ou químicos). As idéias envolvendo calor e energia foram sendo (re)pensadas ao longo da história, em diferentes momentos e situações vivenciadas pelos cientistas. Em relação ao calor, por exemplo, é importante destacar que ele já foi considerado como algo material (visão substancialista) ou como uma forma de movimento (visão mecanicista). Tais idéias estão presentes até hoje nas concepções destacadas por vários alunos e verificadas em diferentes situações de ensino pesquisadas, conforme destacaremos mais adiante.

Com essas diferentes visões apresentadas ao longo da história da ciência, percebemos o quanto foi laborioso o trabalho dos filósofos e cientistas, formulando e reformulando as idéias que permearam a explicação para os diferentes fenômenos térmicos. Nesse contexto de busca pelo conhecimento, constatamos que a história das idéias nos fornece alguns elementos que permitem entender a complexidade dos fenômenos em estudo, pondo em evidência uma série de parâmetros pertinentes que exercem um papel importante na elaboração do conhecimento científico.

De acordo com Giordan e Vecchi (1996), observamos historicamente que o saber não se adquire de imediato, pela observação. Ele é elaborado a partir das concepções vigentes, através de um longo processo de retomada e acomodação das idéias que desencadeiam na construção ou aproximação da realidade.

Nesse contexto, os fatos sozinhos não impõem um novo saber. Na maioria dos casos, pode-se evidenciar o papel dos pré-conceitos, para não falar da incrível tenacidade com a qual algumas idéias são conservadas, embora estejam diretamente em conflito com a evidência experimental. 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 anteriores.

Ainda de acordo com Giordan e Vecchi (1996), é de se lastimar que em todos os níveis de ensino permaneça a recusa de se admitir o caráter histórico inerente aos conceitos construídos na biologia, na física e na química. Eles destacam ainda que até nos textos oficiais recentes, continua aparecendo a idéia de que o *objeto é que detém a verdade* e de que basta *ver melhor*. Ao reduzir os conceitos a dogmas, o professor não favorece ao aluno o desenvolvimento de um raciocínio relacionado a saberes bem delimitados, sobre os quais o pensamento deve necessariamente se apoiar. Isso pode explicar como muitos alunos são levados a construir uma soma de conhecimentos dogmáticos e incoerentes, o que os torna ineficazes e inertes no contexto de ensino.

Por fim, Giordan e Vecchi (1996) destacam que a história da ciência tende a nos tornar mais humildes quanto às nossas pretensões educativas ou culturais. Isso porque são necessários, às vezes, vários séculos para elaborar um determinado saber. Além disso, a história faz aparecer a importância das aderências entre o saber científico, as filosofias implícitas e as ideologias, condenando mais particularmente um saber dogmático e fechado, que se pretende considerar como uma verdade definitiva, em proveito de uma conquista dos conhecimentos por aproximações sucessivas, através das retificações e múltiplas rupturas que integram as aquisições anteriores e demarcam um progresso em relação à objetividade e à universalidade do saber construído. Assim, a generalização não se apóia mais sobre uma simples indução a partir do real, mas sim sobre a elaboração de um modelo teórico que *explica* o conjunto dos fatos observados e permite fazer previsões. Finalmente, a história nos informa sobre os mecanismos de transmissão do saber, ainda que estes tenham se desenrolado em condições privilegiadas, dentro da elite dos cientistas.

Nesse trabalho, a estratégia de ensino para a *energia envolvida nas transformações químicas* dialoga com as idéias relacionadas por diferentes cientistas ao longo da história da ciência, com as sucessivas concepções acerca do calor e da energia

que foram sendo reformuladas com base nas evidências que iam se desenvolvendo ao longo do tempo. Isto porque as mesmas foram consideradas como possíveis concepções dos alunos e, portanto, subsidiaram várias decisões no planejamento das atividades. Maiores detalhes sobre a elaboração da estratégia serão apresentados posteriormente.

A seguir, apresentaremos um breve apanhado referente à evolução das idéias históricas envolvendo calor e energia. Ressaltamos que este texto não tem o intuito de abordar de maneira aprofundada os aspectos históricos e suas particularidades. Porém, ele nos trará importantes subsídios para discutirmos as concepções sobre calor e energia expressas pelos alunos.

#### **UM BREVE APANHADO DAS IDÉIAS DE CALOR E ENERGIA DESCRITAS NO TRANSCURSO HISTÓRICO DA CIÊNCIA: A BUSCA POR PRESSUPOSTOS DE UM SABER ANCORADO NA EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO**

*“A ciência é incapaz de resolver os mistérios finais da natureza, porque nós somos parte dessa natureza e, portanto, do mistério que tentamos resolver.”*

Max Planck

Explicar o mundo sempre fez parte das preocupações humanas. Na Grécia antiga, os filósofos exerceram essa atividade de forma intensa, tentando construir explicações convincentes para os fenômenos que permeiam a natureza. Nesse sentido, buscamos relacionamento entre as distintas idéias envolvendo o calor e suas influências ao longo do constructo histórico da ciência. Isso nos trará um maior subsídio para as discussões a serem realizadas posteriormente, na análise dos estudos de caso envolvendo a pesquisa em questão.

#### **PRIMEIRAS IDÉIAS SOBRE CALOR NO PERCURSO HISTÓRICO DA CIÊNCIA**

Para Leucipo (530-430 a.C.) e Demócrito (460-370 a.C.), o calor era constituído de átomos móveis que escapavam dos corpos muito quentes (Guaydier, 1984). No trabalho de Schurmann (1946), são apresentadas as idéias de Platão (427-347 a.C.) que distinguem o fogo – que penetra a matéria – do seu efeito – o calor –, considerado como o movimento das pequenas partes da matéria.

Algumas idéias 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 “vontade” quanto à sua transferência. A noção de calor e os processos de transferência de “calor” ou de “frio” também podem estar relacionados à idéia de calor como uma substância com capacidade de penetrar a matéria. Historicamente, essa última idéia apresenta muita força e perdura por séculos nos estudos científicos. Para Bachelard (1996), a idéia material do calor, caracterizada por ele como um *obstáculo substancialista*, constituía em um dos mais difíceis desafios epistemológico a superar, porque se apoiava numa idéia de fácil compreensão.

O conceito de calor e a explicação dos fenômenos térmicos pertencem a um conjunto de elaborações mais complexas e controvertidas da ciência, envolvendo conceitos que transitam por diferentes disciplinas e, sobretudo, que dialogam com as idéias presentes no senso comum e, conseqüentemente, tendem a não ser compatíveis com o saber científico.

Em relação à obtenção e o controle do fogo, sabemos que tal feito revolucionou a vida do homem. Usado como fonte de luz e de calor, constituía-se igualmente numa arma e fonte de energia para a transformação dos materiais. Dentre os filósofos que se empenhavam na busca de um princípio único, Heráclito (535-470 a.C.) acreditava que o fogo estava na base das diversas manifestações e transformações da matéria conhecida, considerando-o algo fundamental, o elemento do qual tudo se deriva. A chama, que podia assumir diferentes formas, representava a imagem da diversidade presente na natureza (Vidal, 1986).

Na teoria grega dos elementos, a proposta das formas geométricas, feita por Platão, apresentava o fogo como o elemento mais leve e mais móvel, correspondendo assim ao menor dos poliedros, com o poder de destruição devido às arestas agudas da sua figura.

Na filosofia grega, havia um único elemento responsável pelas diversas manifestações e transformações da matéria conhecida. De acordo com D. Silva (1995):

*“Para Tales (624-546 a.C.), esse elemento era a água, para Anaxímenes (586-525 a.C.) era o ar, e para Heráclito (535-470 a.C.) era o fogo. As explicações com base em um único elemento se mostravam insuficientes e Empédocles (cerca de 500-450 a.C.) desenvolveu a teoria das quatro qualidades (frio, quente, seco e úmido) e dos quatro elementos (terra, fogo, ar e água), indestrutíveis*

*e eternos, que se uniam e se separavam mediante duas forças: o amor e o ódio.” (D. Silva, 1995, p.33)*

Posteriormente, tal teoria foi aperfeiçoada por Aristóteles (384-322 a.C.).

Essas qualidades e esses elementos, combinados entre si, resultavam na imensidade dos materiais conhecidos. Tal teoria foi aceita até o final da Idade Média, quando começou a ser questionada por não explicar satisfatoriamente muitos fatos químicos que os próprios alquimistas estavam descobrindo. Vários outros elementos ou princípios foram acrescentados a esse quarteto, como por exemplo, o sal, o mercúrio e o enxofre (Chagas, 2006).

Para Aristóteles, a uma matéria-prima amorfa juntavam-se propriedades e qualidades que a tornavam sensível e determinavam a sua “forma”. Essas qualidades constituíam dois pares opostos: quente e frio / seco e úmido. Tais qualidades – e não os elementos – constituíam a base primordial de todas as coisas, pois os elementos correspondiam a combinações de qualidades. O fogo, por exemplo, combinava o par quente-seco (Vidal, 1986).

Leucipo (500-430 a.C.) e Demócrito (460-370 a.C.) acreditavam que a matéria era composta por diminutos átomos e o calor era atribuído aos átomos muito móveis que escapavam incessantemente dos corpos muito quentes (Guaydier, 1984).

Platão (427-347 a.C.) escreveu no *Timeu* que o fogo é um elemento que, ao penetrar um corpo, colocaria as partículas deste em movimento, o que, por sua vez, faria com que estas se separassem. Ao ser resfriado, o ar expulsaria o fogo, comprimindo novamente as partículas (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995). Assim, ele distinguiu a causa (o fogo que penetra na matéria) do efeito (o calor que seria o movimento das pequenas partes da matéria) (Schurmann, 1946).

Uma outra interpretação dessas idéias de Platão admite haver uma distinção entre o conceito de calor e o de temperatura. Isso parece ser um exagero, pois o termo temperatura (ou correlato a ele) foi proposto por Galeno no século II d.C., isto é, aproximadamente seis séculos após Platão, o que nos leva a concluir que para o pensador grego havia apenas uma idéia, ou seja, o calor (e o seu contrário: o frio). Calor e frio não eram, para Platão, expressões relativas, pois a geada se forma a partir do sereno quando este perde o seu conteúdo de fogo ou, ainda, a neve se forma quando a água perde sua porção fogo (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995).

Tanto na obra de Platão como na de Aristóteles (384-322 a.C.), há menções ao fato de que o movimento produz calor. Para este último, porém, o calor não era constituído a partir do movimento, mas a partir do éter, excitado pelo Sol ou pelas estrelas, produto do calor (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995). Por outro lado, A. Gilbert (1982) relata que Aristóteles considerava o calor (ou fogo) formado por partículas extraordinariamente pequenas em movimento.

Não há controvérsias de interpretações nas idéias apresentadas por Platão e Aristóteles, pois a noção de movimento se refere às partículas ígneas que constituíam o fogo, portanto, uma substância. Estas concepções foram adotadas por muito tempo, tendo sobrevivido por toda a Idade Média, com poucas modificações.

As explicações de Platão e de Aristóteles eram tão aceitas, que no final da Idade Média encontra-se na obra de Giordano Bruno (1548-1600) o uso das idéias aristotélicas de forma já consagradas:

*“Mas, acaso existe algum corpo terrestre tão espesso que não tenha os seus poros insensíveis, sem os quais não seriam tais corpos divisíveis e penetráveis pelo fogo, ou pelo seu calor, que é uma substância?”* (Bruno, 1584/1984).

Na obra *De Rerum Natura*, do atomista Lucrécio (aproximadamente 95-55 a.C.), aparecem duas substâncias distintas: o calor que estaria no Sol e o frio que estaria nos rios, além do fogo composto por uma substância sutil que poderia transferir-se pelos poros da matéria (Astolfi & Develay, 1990). Interpretações feitas por autores ingleses do século XVIII atribuem a Lucrécio a consideração do calor como estado de movimento das moléculas, o que não parece ser exato (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995).

#### VISÃO MECANICISTA DO CALOR

Roger Bacon (1214-1294), em seu livro *Opus Majus*, apresenta uma nova questão ao considerar o movimento interno dos corpos como causa do calor. Ele destacou que os *esforços contrários* das partículas constituem o calor (Schurmann, 1946). Tal idéia não foi explicada de forma elucidativa por ele. Porém, podemos entender que tais *esforços contrários* constituiriam o próprio movimento das partículas (possivelmente de calor) no interior da matéria. E isso daria origem ao calor (idéia mecanicista do calor, ou seja, calor como movimento). Desta forma, as concepções

expressas de calor devem ter uma interpretação diferente da que se possa lhe atribuir, considerando-se que para Hoppe (1928, apud D. Silva, 1995) esta citação de Roger Bacon refere-se ao modelo mecanicista do calor. Porém, parece não ser exatamente assim, considerando-se que Bacon fala de movimento que produz o calor e não do calor sendo o próprio movimento.

Kepler (1571-1630), por sua vez, considerava o calor como um estado de movimento das partes dos corpos e Galileu, ao contrário, o considerava como um tipo de fluido, havendo o quente, o frio, o úmido e o seco, de forma análoga às concepções apresentadas por Aristóteles (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995).

Uma concepção realmente nova, desde os escritos de Platão, foi apresentada por Francis Bacon (1561-1626), no seu *De Interpretatione Natura*. Para ele, o calor não era um movimento de expansão, mas sim um movimento vibratório das partículas de um corpo (Bassalo, 1992; Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995; Schurmann, 1946).

De acordo com D. Silva (1995):

*“Na obra Novum Organum, de 1620, Francis Bacon voltou a falar do calor como movimento, deixando claro que o calor não produz movimento, mas o próprio calor ou algo inerente a ele é movimento e nada mais. Ele também sugeriu que se estudasse a natureza objetiva do calor, deixando de lado as aparências sensíveis, pois estas atrapalham as concepções que se pode ter a respeito dos fenômenos térmicos (Rossi, 1989). Essa postura deve se referir à prática, ainda em voga na época, de se usar as sensações táteis para aferir valores de calor, pertinentes aos ensinamentos do médico Galeno.” (D. Silva, 1995, p.35)*

As idéias de Bacon e de Kepler, de uma maneira geral, pode suscitar a dúvida de que na concepção do último já havia a idéia de calor-movimento, o que invalidaria a afirmação de que as idéias de Bacon foram inéditas. Porém, para Kepler o calor era um efeito decorrente de uma propriedade da luz, que possuiria, segundo suas concepções, um aspecto material (Schurmann, 1946).

Galileu (1564-1642), contemporâneo de Kepler e Francis Bacon, apresenta no livro *Il Saggiatore* (O Ensaaiador), as suas concepções sobre o calor:

*“[...] fazem perceber o calor em nós, matérias que nós chamamos com o nome geral de fogo, sejam uma multidão de pouquíssimos corpos, com determinadas figuras [...]. Esses pequenos corpos encontram nosso corpo e o penetram com a sua maior sutileza, e o contato deles, realizado na passagem através de nossa substância é*

Vinicius Catão de Assis Souza

*percebido por nós, resultando naquilo que nós chamamos de calor.”*  
(Galileu, 1623/1987, p. 121).

Robert Boyle (1627-1691), cujo nascimento ocorreu no ano da morte de Francis Bacon, foi um exímio defensor da idéia de calor como estado de movimento ou vibração das partículas de um corpo (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995; Schurmann, 1946).

Também defensores da concepção ou modelo mecanicista do calor são Christian Huygens (1629-1695), que parece ter expandido as suas concepções ondulatórias da luz para os fenômenos térmicos, e René Descartes (1596-1650), que defendia a idéia da “agitação das partículas dos corpos” (Schurmann, 1946). Nas palavras do próprio Descartes:

*“É uma agitação das pequenas partículas dos corpos terrestres que nós chamamos de calor (as quais podem ser excitadas pela luz do Sol ou por outra causa), principalmente quando o calor é muito maior do que o de costume e assim pode mover com muita intensidade os nervos de uma mão humana, sendo sensível ao tato.”* (Descartes, apud Agabra, 1986, p. 4).

Nesse ínterim, é importante ressaltar que o termômetro, invenção ou produto de uma evolução científica, abriu possibilidades enormes por permitir a quantificação de uma grandeza física, principalmente para os adeptos de uma concepção substancialista do calor. A partir desse momento, então, o conceito de temperatura passou a ser reforçado como uma medida do calor.

Isaac Newton (1642-1727), por sua vez, diferentemente de Bacon e Boyle, propôs uma teoria mecânica do calor, com uma argumentação vaga e sem muita coerência, em seu livro *Óptica*:

*“Se em dois recipientes cilíndricos altos e largos de vidro invertido [temperado, isto é, submetido a tratamento térmico para aumentar a resistência aos “choques térmicos”], dois pequenos termômetros forem mantidos suspensos de tal modo a não tocar o recipiente e o ar for retirado de um desses recipientes, e esses recipientes, assim separados, forem transportados de um local frio para um local quente, o termômetro in vácuo ficará tão quente quase ao mesmo tempo quanto o outro [...]. Não é o calor da sala quente transmitido através do vácuo pelas vibrações de um meio muito mais sutil que o ar, que, depois que o ar era retirado, permaneceu no vácuo? [...] E as vibrações desse meio em corpos quentes não contribuem para a intensidade e duração de seu calor? E os corpos quentes não*

Vinícius Catão de Assis Souza

*comunicam seu calor aos contíguos frios pelas vibrações desse meio? E não é este meio extremamente mais rarefeito e sutil do que o ar, e extremamente mais elástico e ativo? E ele não penetra prontamente em todos os corpos?”* (Newton, 1704/1987, p. 178).

De acordo com D. Silva (1995), o *meio* ao qual Newton se referiu para explicar a propagação do calor é o éter aristotélico, o que leva alguns autores a afirmar que suas concepções de calor eram semelhantes às de Aristóteles ou Galileu. Schurmann (1946), ao contrário, sustenta que essa teoria é diferente das duas citadas, mas mostra-se equivocada e sem coerência.

Mesmo perdendo fôlego, as concepções de calor-movimento, ficaram ofuscadas nesse período por outros feitos científicos, voltando a aparecer na obra de Daniel Bernoilli (1700-1782) intitulada *Hidrodinâmica*, de grande repercussão. Concepções semelhantes são encontradas no trabalho de Eüler (1707-1783), intitulado *Sobre o Fogo e sua Propagação*. Nesse contexto de múltiplas idéias sobre a natureza do calor, é interessante destacar que havia o reconhecimento das teorias mecânicas, embora não fosse este o paradigma mais aceito na época. De acordo com Agabra,

*"A história do calor aparece para muitos como sendo um confronto entre as teorias mecanicistas e substancialistas[...] Esta visão é muito simplista e errônea, pois as teorias nunca estiveram no mesmo plano: elas falam de coisas muito diferentes."* (Agabra, 1986, p. 2)

Nollet (1700-1770), por sua vez, atacou as concepções de calor-movimento, argumentando que o calor não poderia ser movimento, pois o movimento tende a se extinguir por si só, enquanto o fogo tende a se propagar (Schurmann, 1946).

#### O CALOR COMO SUBSTÂNCIA E A TEORIA DO FLOGISTO NA CIÊNCIA

Nesse mesmo período, George Ernst Stahl (1660-1734), médico e químico alemão, desenvolveu a teoria do flogisto<sup>1</sup>, que passou a explicar muitos fenômenos químicos. Ele abriu novas possibilidades de entendimento para essa ciência ao identificar os fenômenos da calcinação dos metais com os da combustão de madeira, carvão, óleo e enxofre, além de elevar a prática química ao status de ciência. Essa teoria procurava, dentre outros aspectos, explicar os fenômenos associados ao fogo.

---

<sup>1</sup> Esse termo vem do grego e quer dizer ‘*inflamado*’.

Na interpretação de Stahl, os dois processos ocorriam pela liberação de uma substância especial – o flogisto. De fato, o flogisto (sendo o contrário do oxigênio) apareceu nitidamente confundido com o calórico nos trabalhos de Crawford (1748-1795), que afirmava ser o calórico:

*"[...] o elemento distinto do fogo e da luz, que se manifesta pelo calor quando penetra na matéria."* (Crawford, apud Schurmann, 1946, p. 168)

Segundo essa teoria, os combustíveis (carvão, madeira, óleos, enxofre) continham o flogisto que era *liberado* durante a queima e que se manifestava na forma de luz e calor. O produto da calcinação de um metal é a cal (óxido metálico) e, por sua vez, o metal poderia ser recuperado num processo inverso, a redução, desde que em presença de um material rico em flogisto, como o carvão, por exemplo. Assim, para Stahl, a calcinação é um processo reversível, sendo a redução da cal ao metal a prova da validade de sua teoria.

Nessa profusão de idéias, destaca-se aquela apresentada por Wolff (1679-1754) em um importante trabalho relacionado à concepção de calor como substância, admitindo que cada corpo possuía dois tipos de poros para a absorção do calor: os poros pequenos e os grandes. Os pequenos estariam entre a matéria e os grandes seriam preenchidos com ar. Quando em estado normal, o calor não seria notado, tornando-se perceptível somente através do movimento (Hoppe, 1928, apud D. Silva, 1995). Nas palavras de Wolff, ao explicar o aquecimento de um pedaço de metal malhado por um martelo,

*"o ferreiro faz saltar o calórico através dos poros do metal, tal como se tiraria água de uma esponja molhada que foi submetida ao nosso tratamento. Quando se fura o centro (alma) de um canhão com uma broca, os cavacos retirados por esta são quentes: é que os cavacos não podem reter o calórico que neles havia e então este escapa, provocando um aumento de temperatura."* (Wolff, apud Agabra, 1986, p. 3)

De acordo com Hoppe (1928, apud D. Silva, 1995), esta teoria, assim como a do Flogisto de Stahl, impulsionou as teorias substancialistas. Por um lado, a consistência teórica contrapunha a existência de termômetros precisos, fazendo com que o calor fosse expresso por um único parâmetro, a temperatura. Nas palavras de Agabra,

Vinícius Catão de Assis Souza

*"continuava-se a acreditar que o termômetro determinava tudo o que se podia determinar sobre o calor."* (Agabra, 1986, p. 3)

D. Silva (1995) destaca que em meados do século XVIII, Richmann propôs uma composição entre as idéias de temperatura e de massa pela primeira vez. A partir de experiências com misturas de várias massas diferentes de água em temperaturas também diferentes, ele determinou uma fórmula que expressa a temperatura da mistura:

$$T = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

Nesta equação, Richmann chamou o produto **m.t** de “reserva de calórico” que um corpo possui. A equação respeita o princípio de aditividade do calor (substância) e o princípio de indestrutibilidade do calor (Bachelard, 1973).

Outro substancialista importante neste período foi Jean-Henri Lambert (1728-1777) que, empenhado no problema de relacionar o calor com outras variáveis, chegou à conclusão de que dois corpos de substâncias diferentes, mas de massas iguais, apresentavam reações diferentes às mesmas quantidades de calor (Bachelard, 1973).

Por volta de 1760, no auge das teorias substancialistas, Joseph Black<sup>2</sup> (1728-1799) realizou importantes estudos, fundamentados por inúmeras experiências, que o levaram a propor o conceito de calor latente, a fazer considerações ao conceito de calor específico e a distinguir temperatura de calor.

Na obra<sup>3</sup> intitulada *Conferências acerca dos elementos da Química*, Black afirmou que:

*"A fusão está universalmente considerada como produzida por uma pequena adição de uma quantidade de calor a um corpo sólido, quando ele é aquecido até a sua temperatura de fusão e o retorno de tal corpo para o estado sólido depende de uma pequena diminuição da quantidade de calor após ele ter resfriado de um mesmo número de graus. Acreditava-se que esta pequena adição de calor ao corpo não fazia necessariamente o aumento de um pequeno valor na temperatura de um corpo, indicada pela medida de um termômetro, colocado no líquido resultante. [...] Encontrei uma razão para*

---

<sup>2</sup> Joseph Black foi professor em Glasgow e Edinburgh, na Escócia, no século XVIII. Entre suas importantes investigações está a do calor, que depois levou seu aluno James Watt (1736-1819) ao aperfeiçoamento da máquina a vapor. No contexto dessa dissertação, é importante destacar que Black foi um dos primeiros cientistas preocupado com o ensino da química nos cursos de graduação, em parte porque a Revolução Industrial avançava e os estudantes precisavam ter certo conhecimento de química.

<sup>3</sup> Esta obra (no original, *Lectures on the Elements of Chemistry*) foi transcrita de conferências que Black ministrou, sendo publicada postumamente em 1803 (Moulton & Schiffers, 1986).

Vinicius Catão de Assis Souza

*desaprová-la, como inconsistente em relação a muitos fatos observáveis quando atentamente considerados. [...] Quando o gelo ou outra substância é fundida, eu penso que ele recebe uma grande quantidade de calor, maior do que aquela que é perceptível nele, imediatamente depois por meio de um termômetro.*

*Uma grande quantidade de calor penetra a substância naquela ocasião sem aparentemente fazê-lo mais quente. Este calor, contudo, deve ser introduzido para lhe dar forma de líquido e eu afirmo que esta maior adição é a principal causa da liquefação produzida.”* (Black, apud Agabra, 1986, p. 5-6)

Em outro momento, ele usou um argumento simples, perspicaz e aparentemente convincente:

*“Se fosse suficiente uma quantidade muito pequena de calor transmitida pelo ar, na primavera, para reduzir em água imensas quantidades de gelo e neve formados ao longo do inverno, a fusão seria operada em poucos minutos e inevitavelmente iria produzir inundações catastróficas.”* (Black, apud Moulton & Schiffers, 1986, p. 207)

Conforme destacado anteriormente, Black era partidário da teoria substancialista do calor, como enfatizado em:

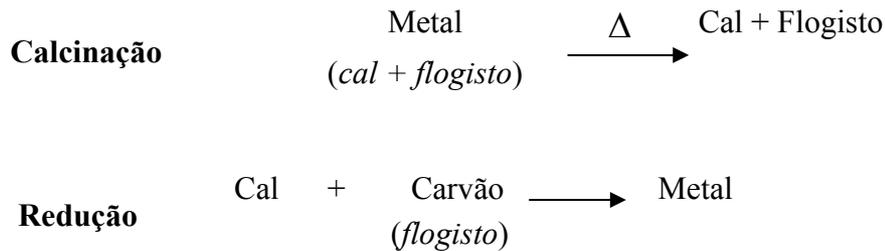
*“Entendo que durante a ebulição, o calor é absorvido pela água e entra na composição do vapor que dela se produz, da mesma maneira que entra na composição do gelo em fusão e entra na composição da água que este está produzindo.”* (Black, apud Moulton & Schiffers, 1986, p. 208)

Além disso, é importante destacar que Black fez estudos importantes sobre o comportamento do calor usando os termômetros até então desenvolvidos. Ele é responsável pela origem do estudo da calorimetria, elucidando a diferença entre temperatura e quantidade de calor, que eram frequentemente confundidos. Black verificou que uma massa de mercúrio se aquecia muito mais rapidamente do que uma massa igual de água e que o mesmo podia-se dizer para o processo de resfriamento, concluindo que havia uma propriedade de matéria diferente da sua densidade. Assim, ele propôs o conceito de calor específico, chamado por ele de *capacidade para calor*, e também o conceito de calor latente.

Contemporâneo de Black, Johan C. Wilcke (1732-1796), em 1772, retomando os trabalhos de seu antecessor, propôs a noção de calor específico como a quantidade de

calor absoluta que pertencia a cada elemento (Bassalo, 1992). De acordo com Bassalo (1991), a autoria da equação  $\Delta Q = m.c.\Delta t$  é atribuída a Wilcke.

Retomando a teoria do flogisto, é importante destacar que em linguagem moderna podemos sintetizar as idéias de Sthal para a calcinação (combustão) e redução do metal, como se segue:

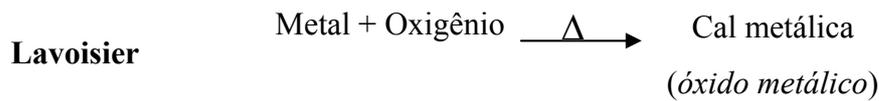


Esse processo era bem conhecido dos metalúrgicos há milênios, mas carecia de explicação científica. Três fatos mereciam a atenção deles: (i) a explicação para o aumento da massa após a calcinação (massa do metal menor do que a massa da cal) e a explicação para a diminuição da massa após a combustão (da madeira, por exemplo – massa da madeira maior do que a massa das cinzas). Sem preocupações mais profundas, atribuíam-se ao flogisto peso negativo (na calcinação) e peso positivo (na combustão). Essa inconsistência foi rechaçada mais tarde por Lavoisier; (ii) como o carvão e os outros combustíveis acumulam flogisto? Para Sthal, as erupções vulcânicas e as queimadas enchem o ar de flogisto. As plantas capturavam esse flogisto que ficava armazenado em seus tecidos. O carvão seria o depósito de flogisto. Por outro lado, os animais incorporariam à gordura o flogisto contido nas plantas ingeridas; (iii) para Stahl, o metal é um composto (cal + flogisto) e a cal é uma substância simples. Essa concepção foi corrigida por Lavoisier.

Apesar de se tratar de uma teoria equivocada, a teoria do Flogisto impulsionou a pesquisa em química e, sobretudo a química pneumática (que estuda os gases). Nesse contexto, é importante destacar que o desenvolvimento industrial inglês tinha levado aos franceses o conhecimento dos trabalhos em pneumática realizados por Black, Priestley e outros.

A descoberta do oxigênio envolvendo três grandes químicos – Scheele (1742-1786) quem primeiro o obteve, Priestley (1733-1804) quem o caracterizou e Lavoisier

(1743-1794) que o reconheceu como um novo elemento – foi decisiva para o abandono da teoria do Flogisto. Dos três cientistas, apenas Lavoisier reconheceu a inviabilidade do flogisto e propôs a nova teoria da combustão em que “algo” entra (o oxigênio) ao invés de “algo” que sai (o flogisto), conforme representação a seguir:



Assim, o aumento da massa (massa do metal maior do que a massa do óxido metálico) foi explicado e caiu por terra o conceito de que o metal é uma substância composta e a cal uma substância simples. Também era possível explicar, através dessas idéias, a diminuição de massa na combustão de materiais como madeira e carvão, pela liberação do flogisto. No entanto, essas idéias não explicavam o aumento de massa observado na combustão de outros materiais, como os metais.

Apesar de fatos como este não serem satisfatoriamente explicados, o trabalho dos pensadores que aceitavam essa teoria em muito contribuiu para um maior conhecimento sobre materiais e técnicas, assim como tornou o campo fértil para o surgimento de outras teorias.

#### AS CONTRIBUIÇÕES DE LAVOISIER E AS IDÉIAS SOBRE O CALOR: O CALÓRICO MANTENDO AS CONCEPÇÕES SUBSTANCIALISTAS

Uma das teorias resultantes de estudos quantitativos sobre as transformações químicas foi elaborada pelo químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Partindo da suposição de que nas transformações as quantidades se conservavam, ele realizou experimentos envolvendo combustões, notando que parte do ar se fixava ao material combustível. Com a descoberta do gás oxigênio (que na época foi chamado de “*ar vital*” por ser imprescindível à respiração animal) realizada pelo químico inglês Priestley (1733-1804), Lavoisier relacionou a ocorrência das reações de combustão à incorporação do oxigênio aos princípios constituintes do combustível.

Admitindo, então, essa incorporação, era possível explicar o aumento de massa verificado em certas combustões. Além disso, desenvolvendo experimentos em sistemas fechados, o que evitava o escape de gases produzidos para a atmosfera, Lavoisier constatou sua hipótese sobre a conservação da massa.

Ao associar o gás oxigênio a um “princípio de acidez” e afirmar que tal gás se formava somente quando o “princípio<sup>4</sup>” se ligava ao calórico, Lavoisier fez com que a idéia do flogisto fosse abandonada. Entretanto, ele derrubou a idéia de um fluido utilizando-se da idéia de outro (Kuhn, 1978).

Para explicar a produção de calor e luz que freqüentemente acompanha as combustões, Lavoisier admitiu que a matéria era constituída também por um elemento imponderável – o calórico. Assim, o gás oxigênio seria constituído pelos princípios (ou elementos) oxigênio e calórico. Ocorreria combustão quando o combustível tivesse afinidade pelo princípio oxigênio, incorporando este e liberando o calórico. Apesar de imponderável, a quantidade de calórico poderia ser determinada utilizando um aparelho específico – o calorímetro. Com Lavoisier surgiu, então, a Calorimetria.

Lavoisier realizou muitos estudos sobre a combustão, de forma diferente de seus predecessores. Seus estudos eram mais quantitativos, ou seja, ele dava mais importância aos pesos dos reagentes e produtos das reações, aspectos aos quais seus antecessores davam menos atenção.

Como mencionado anteriormente, na combustão havia 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 sai* da superfície da lenha ou do pavio. Essa impressão tão evidente foi, na verdade, um obstáculo para se tentar compreender o fogo. Qual o papel do ar? Parece que, para ele ter sido levado em conta, deveria ter-se “visto” o fenômeno ao contrário, o que resultaria em admitir-se que, na combustão, há *algo que entra*, contradizendo as aparências. Foi isso que fez Lavoisier: preocupou-se com o que estava *entrando*, o ar, ao invés de com o fogo, que era o que estava *saindo* (Chagas, 2006).

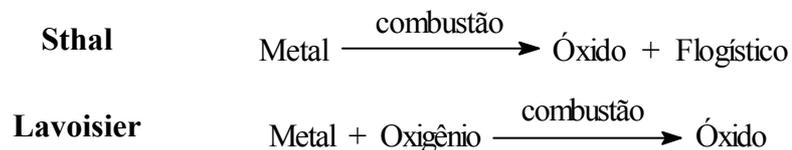
---

<sup>4</sup> De acordo com J. Silva (1998), na história da ciência, Paracelso introduziu a idéia de *princípio* na natureza. Da pesquisa de um constituinte último da matéria, certos químicos (van Helmont, Hooke) chegaram a de um “princípio universal”. O químico alemão Joachim Becher considerou que o elemento terra existe sob três formas. Uma dentre elas – a “terra sulfurosa”, herdada do enxofre, ao qual os alquimistas e Paracelso atribuíam papel importante na natureza – era susceptível de desaparecer inteiramente no curso das combustões. Seu discípulo Stahl, pesquisando um ajuste comum a todas as combustões, acreditou identificá-lo nesta terra sulfurosa. Para ele, não se tratava de uma substância, e sim de um princípio, o “princípio do fogo”. Não era o fogo material, aquele que se vê quando um corpo se queima. O “princípio do fogo” era algo como o “fogo em potência” de Aristóteles, e o fogo real era, então, o “fogo em ato”. Stahl denominou este princípio de flogisto. E o fato de se constatar um aumento de massa na combustão de alguns corpos não preocupou Stahl aparentemente. Para ele, o flogisto não era uma matéria ponderável, mas um princípio.

Por meio de engenhosas experiências, Lavoisier demonstrou a importância do ar na combustão. Mediu, ainda, em parceria com o também célebre físico matemático Pierre Simon de Laplace (1749-1827), utilizando um calorímetro de gelo, o calor despreendido nas reações de combustão e no metabolismo dos animais, mostrando que ambos os processos eram semelhantes, diferindo-se apenas na velocidade em que ocorriam. Lavoisier, preocupado com o fogo, revolucionou a química com novos conceitos e métodos.

Porém, restou outro problema que Lavoisier viu, ainda, de forma antiga: a natureza do calor. Para ele, o calor era também um fluido imponderável, que penetrava todos os corpos, capaz de ir dos mais quentes para os mais frios. Esse fluido, denominado *calórico*, figurava no livro de Lavoisier ao lado dos *corpos simples* (como ele denominava os elementos químicos) como o hidrogênio, o oxigênio, o carbono etc.

É importante destacar que tanto a teoria do flogisto, proposta por Sthal, como a teoria desenvolvida por Lavoisier envolvem concepções sobre a constituição da matéria. Para Sthal, a matéria era formada por substrato e flogisto; para Lavoisier era constituída por elementos ou princípios, sendo o oxigênio um dos princípios em questão.



Em relação à evolução das idéias na história da ciência e à construção de diferentes modelos explicativos para os fenômenos envolvendo o calor, é importante destacar que, dando seqüência aos estudos de Sthal, Lavoisier buscou consolidar uma sólida base teórica para a química que apagasse seus fundamentos metafísicos, afastando qualquer vestígio do passado mágico e alquímico. Nessa busca, realizou investigações experimentais com um olhar distinto dos que trabalhavam com a química na época. Toda pesquisa experimental que fazia tinha por propósito realizar medidas quantitativas precisas.

Nesse contexto investigativo sobre a natureza do calor, Lavoisier acabou por se polarizar mais na teoria substancialista, reconhecendo a existência de uma “matéria do fogo” e chegando, em 1787, a denominar a partícula de calor como “calórico”. Por

outro lado, Laplace, apesar de se polarizar igualmente, admitiu a existência de forças moleculares (atração e repulsão) para explicar as propriedades do calórico (Bassalo, 1992).

Nesse período, surgiu também a primeira máquina a vapor, construída e patenteada pelo ferreiro Newcommen e pelo vidreiro Cowley (Guaydier, 1984). Essa primeira máquina apresentava um rendimento muito reduzido, sendo reformulada posteriormente pelo engenheiro inglês James Watt (1736-1819), possuidor de conhecimentos importantes adquiridos no período em que havia sido colaborador de Black em algumas de suas pesquisas.

Com o advento da máquina a vapor, a teoria do calórico não sofreu abalos. A explicação através da teoria mecânica do calor só viria muitos anos depois, após o estabelecimento da Termodinâmica. O dispositivo de Watt era razoavelmente explicado pela teoria material do calor, em que o calor era *liberado* no momento da combustão de algum combustível.

A TEORIA MATERIAL DO CALOR PERDE FORÇA, MAS O FIM DAS CONCEPÇÕES  
SUBSTANCIALISTAS AINDA ESTÁ LONGE

O abalo significativo na teoria material 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 & 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 idéia distinta de algo que pode excitar-se ou comunicar-se, como excitou e comunicou o calor nestes*

*experimentos, salvo o movimento.*” (Moulton & 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 D. Silva, 1995)<sup>5</sup>. De acordo com D. 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 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 (A. Gilbert, 1982).

Em 1822, a *Théorie Analytique de la Chaleur* foi publicada por Fourier (1768-1830). Nessa obra se encontra 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).

Em 1840, segundo alguns autores, as experiências de Gay-Lussac deram a Mayer a idéia de afirmar que o princípio da conservação das forças-vivas ou forças do

---

<sup>5</sup> A afirmação de Biot se remete a uma hipótese assumida em um trabalho de análise da propagação do calor em sólidos simples, no qual apareciam dados experimentais e tratamento matemático sofisticado para a época (1829), como mostra Bachelard (1973). Tais hipóteses tentavam ser coerentes com as teorias dos fluidos elétricos e com a idéia do calórico.

movimento deveria englobar não apenas os fenômenos mecânicos, mas também os térmicos. Em importante trabalho de 1842, Mayer relatou que, ao sacudir um frasco com água, conseguiu elevar a temperatura da água de 12°C para 13°C e também constatou o aumento de volume do líquido. Surgiu, então, a seguinte pergunta: De onde veio esse calor que pode ser obtido quantas vezes se queira? Disso ele concluiu:

*“É a hipótese vibratória do calor.”* (Mayer, apud Schurmann, 1946, p.188-189).

É de Mayer também o primeiro enunciado do princípio de conservação de energia:

*“Quando uma quantidade de energia de qualquer natureza desaparece em uma transformação, então se produz uma quantidade igual em grandeza de uma energia de outra natureza.”* (Mayer, apud A. Gilbert, 1982, p.234).

Nesse período, Sadi Carnot havia já escrito a sua obra mais famosa, *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu*, de 1823, na qual descrevia os processos térmicos ligando-os ao conceito de trabalho. De acordo com D. Silva (1995)

*“Nela se encontra, porém, uma confusão entre as teorias do calórico (concepção material) e do calor como movimento (concepção mecanicista). A importância desse trabalho está no estabelecimento do Segundo Princípio da Termodinâmica, esquecido até 1848, quando foi resgatado por Lord Kelvin.”* (D. Silva, 1995, p. 47)

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 que se encontram em níveis diferentes em termos de altura da coluna de água, até que os níveis nos dois recipientes sejam iguais.

Segundo Feynman, Leighton e Sands, a conservação é a característica mais relevante da energia. Para eles, não se sabe o que é energia, mas que

*“existe uma certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas várias transformações pelas quais passa a natureza.”* (Feynman, Leighton, & Sands, 1977, p. 4)

Para Solomon (1985), o primeiro passo para a compreensão da idéia da conservação da energia veio da percepção de energia como uma quantidade contínua e mensurável.

Em relação ao uso do conceito de energia ao longo da história da ciência, é importante destacar que na primeira metade do século XIX havia uma efervescência em relação ao uso desse conceito. Um dos marcos desse período foi uma série de publicações feitas por Joule (1818-1889), com a colaboração de Lord Kelvin em algumas delas, que culminaram, em 1850, no estabelecimento da equivalência mecânica do calor, isto é, da taxa de transformação de calor em trabalho (D. Silva, 1995). Com esses estudos, e os de outros cientistas que pesquisavam as relações entre calor e matéria, como Helmholtz (1821-1894), o estabelecimento da teoria mecânica do calor começou a ser não só usada, mas também desenvolvida. Esse processo permitiu aumentar o seu alcance e, portanto, a sua aceitação.

Um dos trabalhos de suma importância para a teoria do calor foi o de Clausius (1822-1888), que resgatou as pesquisas de Carnot e o formalismo dado por Clayperon (1799-1864), além da Segunda Lei da Termodinâmica e o conceito de Entropia<sup>6</sup>. No seu trabalho de 1850, se lê:

*“O equivalente de trabalho atribuído ao calor é devido a um processo de transferência de calor de um corpo quente para um corpo frio, no qual a quantidade de calor não é diminuída.”* (Clausius, apud Magie, 1935, p. 232).

Ele continuou a argumentação relatando que futuramente iria tratar mais dessas duas leis – que ficaram conhecidas com Primeiro e Segundo Princípios da Termodinâmica –, e fazendo considerações sobre uma grandeza que tinha ligações com o conceito de energia:

*“... nós podemos expressar as leis fundamentais do universo, às quais correspondem as duas leis fundamentais da teoria mecânica do calor, de uma forma simples:*

*1. A energia do universo é constante.*

*2. A entropia do universo tende a ser máxima.”* (Clausius, apud Magie, 1935, p. 236).

---

<sup>6</sup> A palavra entropia vem do grego e significa “transformação”.

De acordo com J. Silva (1998), a aceitação do Primeiro e do Segundo Princípio da Termodinâmica conduziu ao abandono da teoria do calórico, embora, possivelmente devido aos resquícios da teoria mecânica do calor, ainda hoje há quem entenda a Termodinâmica como a parte da física que estuda o calor. Porém, essa visão se mostra imprópria nesse contexto, considerando-se que energia é muito mais do que calor.

Ainda de acordo com J. Silva (1998), após o estabelecimento dos princípios que regem a Termodinâmica, o calor passou a ser interpretado como movimento molecular, estando associado à energia cinética. Nesse momento, então, o calor não era mais considerado uma forma de energia (energia cinética), mas como o processo de transferência de energia que ocorre quando a causa da transferência de energia interna<sup>7</sup> de um corpo a outro é a diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança.

#### O CALOR NO CONTEXTO DA TERMOQUÍMICA: UMA ABORDAGEM FÍSICO-QUÍMICA

Os desenvolvimentos posteriores contribuíram para esclarecer a natureza do calor, que passou a ser visto como um efeito causado pelos movimentos das moléculas constituintes dos corpos. As moléculas apresentam diversos tipos de movimentos, conforme o estado do corpo. Em todos os estados, quando se tem moléculas constituídas por mais de um átomo, há também movimentos internos de vibração. Os átomos vibram uns em relação aos outros, como uma corda de violão. Todos esses tipos de movimento têm sua energia própria e o calor vem a ser uma transferência dessa energia molecular de um corpo a outro. Nem sempre essa transferência se dá na forma de calor; pode ser também na forma de luz e outras radiações. Pode-se dizer que a temperatura é uma medida da energia desses movimentos (Chagas, 2006).

---

<sup>7</sup> Em química, as variações de energia interna,  $\Delta E$ , que acompanham uma mudança química ou física constituem, muitas vezes, o centro da atenção. A energia interna de qualquer sistema químico pode ser imaginada como a soma das energias potencial e cinética associadas ao sistema. A energia potencial é associada às forças atrativas e repulsivas entre todos os núcleos e elétrons do sistema. É a energia associada às ligações nas moléculas, às forças entre os íons e também às forças entre moléculas no estado líquido e sólido. A energia cinética é a energia do movimento dos átomos, íons e moléculas no sistema; é a soma das energias associadas aos movimentos de translação, vibração e de rotação.

No contexto dessa dissertação, é importante considerar também que, numa transformação química, a energia potencial dos produtos é diferente da energia potencial dos reagentes. A energia, porém, como a massa, se conserva em uma reação. Se a energia potencial associada aos produtos for menor do que a dos reagentes, então ou há transferência de energia para o exterior do sistema, para as suas vizinhanças, ou a energia do sistema se mantém constante e o excesso de energia fica como energia cinética. Nesse caso, o sistema fica mais quente. Ao contrário, se a energia interna dos produtos for mais elevada do que a energia interna dos reagentes, então ou deve ser adicionada energia ao sistema ou a energia necessária aparece às custas da energia cinética das moléculas. Neste caso, a temperatura do sistema fica mais baixa.

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. Identificar essa parcela com o calor é retomar a idéia de que o calor está contido no sistema, o que é errado, pois um processo não pode estar contido em nada.

É importante mencionar que Kelvin chegou a descobrir a *Segunda Lei da Termodinâmica* alguns anos antes que Clausius. Em seu trabalho sobre a escala absoluta de temperatura, de 1848, ele demonstrou em alguns momentos a não definição pelas duas teorias do calor (substancialista e mecanicista) como, por exemplo, ao comentar sobre o ciclo de Carnot:

*“No presente estado da ciência é sabido que o calor pode ser absorvido, o qual aumenta a temperatura da matéria, ou de forma latente provoca alterações nas condições físicas do corpo que lhe absorveu; e a conversão de calor (ou calórico) em efeito mecânico é provavelmente impossível, seguramente não descoberto ainda.”* (Kelvin, apud Magie, 1935, p. 237-242)

Por outro lado, em seu tratado sobre o calor, datado de 1878, ele ressaltou que:

*“Agora que nós sabemos que o calor é um modo de movimento e não uma substância, os conceitos anteriormente definidos de forma ‘imprecisa, não clara e errada’, de calor latente e absorção de calor por compressão, de calor específico dos corpos e quantidades de calor possuídas por eles, foram sumariamente descartados.[...] Uma combinação de termos imprecisos produzidos a partir de noções erradas da natureza do calor fará deixar perplexo um estudante moderno de Termodinâmica, com dúvidas não respondidas pela teoria ou pelos experimentos.”* (Kelvin, apud Fuchs, 1987, p. 162)

A partir dos trechos destacados anteriormente, podemos concluir que em trinta anos, tempo entre os dois trabalhos, muito mudou: de uma dúvida sobre a natureza do calor, Kelvin passou a chamar a teoria substancialista de errada, alertando também para a confusão que os conceitos produzidos no paradigma anterior poderiam gerar. Além disso, a preocupação com a linguagem dos conceitos foi marcante em muitas partes da obra de Kelvin. Por exemplo, o vocábulo “termodinâmica” foi introduzido por ele para explicar os processos térmicos (A. Gilbert, 1982).

De acordo com J. Silva (1998):

*“Os defensores da teoria mecanicista, por sua vez, explicavam o calor como movimento das partículas constituintes da matéria.”*

Vinícius Catão de Assis Souza

*Embora em oposição à teoria do calor como substância durante muito tempo, eles só adquiriram força suficiente no meio científico para fazer com que sua visão fosse aceita com os resultados das experiências de conversão de energia, notadamente os trabalhos de James Joule iniciados em meados do século XIX. A notoriedade de Joule se deveu à sua competência em produzir experiências para estabelecer a correspondência quantitativa entre calor e outras formas de energia, evidenciando assim, a conservação da energia.”* (J. Silva, 1998, p.14-15).

No final do século XIX, a teoria mecânica do calor ganhou novo impulso com os trabalhos de Maxwell (1831-1879) sobre a distribuição de velocidade das moléculas de um gás e de Boltzmann (1844-1906), sobre a introdução da teoria das probabilidades e da entropia no estudo da teoria cinética dos gases (Magie, 1935).

IDÉIAS CONTEMPORÂNEAS SOBRE CALOR E ENERGIA: ALGUNS DEBATES RELEVANTES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS EM RELAÇÃO A UM TEMA INTERDISCIPLINAR

O conceito de energia tem sido apontado por alguns autores (por exemplo, Solbes & Tarín (1998); Sevilla (1986); Pérez-Landazábal, Favieres, Manrique & Varela (1995); Morin (2005)) como um elo entre os diferentes saberes. Tal importância é destacada tanto do ponto de vista científico, quanto tecnológico. Considerando a abrangência teórica que permeia esse conceito, Angotti (1991) afirma que energia é a

*“grandeza que pode e deve, mais do que qualquer outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre ciência, tecnologia e sociedade”* (Angotti, 1991, p.115)

e que tal conceito

*“sinaliza para o mais sofisticado princípio da termodinâmica, o do crescimento da entropia, princípio atualmente considerado como grande inspirador para os avanços da pesquisa em ciência e tecnologia.”* (Angotti, 1991, p.140)

Tais aspectos fomentam importantes discussões que nos levam a uma compreensão ontológica da idéia científica que permeia tal conceito, em meio a uma profusão de concepções históricas destacadas anteriormente, cuja essência parece ainda estar bastante presente no senso comum. Nesse cenário, buscamos centrar nossa atenção, nesse momento, nas idéias do calor como uma das formas de energia, visto que essa pesquisa envolve uma estratégia de ensino baseada na *“energia envolvida nas transformações químicas”*, energia esta que se manifesta nos fluxos de calor

estabelecidos, de forma perceptível, entre os sistemas envolvidos nas transformações químicas.

Em relação aos conceitos de calor e de temperatura, eles são atualmente distintos pelo aspecto de o primeiro ser uma grandeza extensiva, isto é, depende ou é proporcional à massa do corpo (ou sistema) e pode ser definido como sendo a energia transferida de um sistema a outro, quando há uma diferença de temperatura entre eles. A temperatura, por sua vez, é uma grandeza intensiva, ou seja, independente da massa. É, também, uma grandeza média e macroscópica, expressando (juntamente com o volume e pressão) o estado físico de um corpo, estando associada à sua energia de vibração (Erickson & Tiberghien, 1989; Sears & Salinger, 1979).

De acordo J. Silva (1998), com a consolidação, na metade do século XIX, dos conceitos referentes à conservação da energia e entropia, a termodinâmica se estabeleceu como ciência, tendo a energia como seu conceito central. Nesse contexto, é importante destacar que a energia seria uma propriedade da natureza que se conserva e se manifesta de diferentes formas inter-conversíveis.

J. Silva (1998), por sua vez, aponta que

*“a formulação do conceito científico de energia não se deu de modo fácil, como se a primeira lei da termodinâmica estivesse pronta e acabada à espera de um descobridor. O estudo histórico do tema, conforme a breve descrição apresentada anteriormente, revelou um processo laborioso, tanto do ponto de vista teórico quanto experimental.”* (J. Silva, 1998, p.7)

Na história da filosofia, o termo energia já foi usado com um sentido equivalente à *atividade, ato e força*. Na filosofia escolástica, era designado pelos termos ‘*virtus*’ e ‘*vis*’. Não é de se estranhar, portanto, que energia seja comumente utilizada como sinônimo de *força* ou de *potência*. Também não é de se estranhar que lhe seja associada à idéia de que é uma virtude ou propriedade do objeto ou ser. Embora se deva a Kepler a introdução, no século XVII, do termo energia na física e a sua distinção dos conceitos próximos de força e trabalho, sua definição moderna data do século XIX (Santos, 1999).

O conceito de energia emergiu do estudo de sistemas simples como a queda dos corpos e o pêndulo. Huyghens e Leibniz, no século XVII, assumiram que um corpo ao cair livremente de uma certa altura adquiriria a mesma “*vis motrix*” (força motiva) necessária para subir à mesma altura (Dugas, 1955). Quando parado no ponto mais alto, ao corpo estaria associada uma certa “*vis morta*” (força morta, energia potencial ou de

posição). Enquanto em movimento, o corpo possuiria uma “*vis viva*” (força viva), mais corretamente denominada energia cinética ou do movimento. Durante todo o processo de queda, todavia, à medida que diminuiria a altura e, conseqüentemente, a energia potencial, aumentaria a velocidade e a energia cinética na mesma proporção, de forma que a energia total, dita mecânica, se manteria constante.

Nesse contexto, só se conhecia a transferência de energia em forma de trabalho, isto é, através de forças que levariam a deslocamentos, como levantar um peso ou deformar um corpo. Com a demonstração da equivalência entre calor e trabalho, o conceito foi expandido. Mais corretamente, trabalho passou a ser considerado como uma das formas de transferência de energia, idéia que é refutada com base nas leis da termodinâmica (Santos, 1999). Apesar disso, ainda é da maneira antiga que muitos livros definem energia e continuam a confundir calor com energia, denominando-o “energia térmica”. Rosmorduc, por exemplo, destaca que, segundo um dicionário contemporâneo, o conceito de calor poderia ser definido como um “modo particular de transferência de energia” (Rosmorduc, 1988, p. 93).

À medida que outras áreas da ciência se desenvolveram, o conceito de energia se estendeu, englobando outras formas, de maneira que existisse sempre uma quantidade que se conservava. Assim, introduziram-se a energia elétrica, a energia química etc. Sempre que um sistema novo parecia violar o princípio de conservação, era possível definir-se uma nova forma de energia e o princípio de conservação se mantinha. Na verdade, as evoluções do conceito de energia e do princípio de conservação seguiram caminhos paralelos. Somente após muitos sistemas diferentes terem sido estudados e ter-se sempre encontrado neles uma quantidade que se mantinha constante, os cientistas reconheceram a importância geral e a utilidade do conceito de energia e do seu princípio de conservação.

Um exemplo interessante ocorreu quando se descobriu, no começo do século XX, uma substância química (sal de urânio) que emitia radiações sem aparente consumo de energia de qualquer outra forma. Foi necessário introduzir o conceito de energia nuclear, cuja variação em alterações de estados nucleares por transições radioativas era emitida em forma das tais radiações (Santos, 1999).

J. Silva (1998) destaca que, possivelmente, o maior problema com o conceito de energia é ser este um conceito puramente teórico. De fato, ao contrário do que se possa

pensar, a energia não pode ser medida e nem definida operacionalmente. Não podemos medir a energia associada ao movimento de um carro, nem a energia que será liberada numa transformação química. Só podemos calculá-la a partir de quantidades observáveis, tais como velocidades, massas, distâncias, cargas elétricas, temperaturas etc. Não podemos medir a energia associada a uma pedra colocada a uma determinada altura, nem a energia associada ao seu movimento de queda. Apenas podemos medir sua massa, a altura inicial e o tempo que ela levou para cair.

É importante destacar que o termo energia está relacionado com força ou trabalho. Em 1807, o físico inglês Thomas Young (1773-1829) propôs que a energia fosse definida como a capacidade para realizar trabalho, conceito que é até hoje amplamente utilizado na física. Contudo, pode-se perceber que essa definição nada diz sobre a natureza mais específica da energia, sobretudo da energia envolvida nas transformações químicas.

J. Silva (1998) destaca que

*“o estabelecimento de relações quantitativas entre grandezas diversas contribuiu, decisivamente, para o desenvolvimento das idéias de conversão e multiforça do que era denominado ‘força’ ou ‘poder’ e veio a ser a energia. Daí para o conceito de conservação da energia foi necessário o passo teórico final.”* (J. Silva, 1998, p.9)

Além disso,

*“... a noção de que algo se conserva em meio às mudanças é muito antiga, sendo encontrada já no ano 60 da era cristã, com Hero de Alexandria.”* (J. Silva, 1998, p.9)

É importante chamar a atenção para o fato de o princípio de conservação ser facilmente confundido com a idéia de “armazenamento” de energia no interior de um sistema material. Tal fato pode ser explicado levando-se em consideração a idéia concebida no século XVII de que o trabalho realizado por um sistema podia ser “armazenado” de alguma maneira no interior do mesmo e que o “trabalho armazenado” era sempre igual ao “trabalho realizado”.

Por mais de um século, existiu uma disputa entre duas teorias que se relacionavam à natureza calor: uma que o explicava como efeito de um fluido (calórico) e outra que o compreendia como movimento das moléculas constituintes dos corpos (teoria mecanicista). J. Silva (1998) destaca que

Vinícius Catão de Assis Souza

*“Até a aceitação da lei da conservação da energia, coexistiam essas duas teorias sobre a natureza do calor. Os adeptos de ambas buscavam a hegemonia de suas idéias através das explicações dos fatos experimentais. Ao final prevaleceu a posição da teoria mecanicista. Porém, a teoria do calórico deixou rastros na terminologia empregada atualmente na termodinâmica, bem como na conceituação de calor empregada no dia-a-dia.” (J. Silva, 1998, p.14)*

E o conhecimento dessas teorias pode explicar várias das confusões conceituais que costumam ocorrer em relação ao calor.

Conforme destacamos anteriormente, o calórico era considerado uma substância material fluida, rarefeita e capaz de penetrar ou escapar de algum ambiente. Além disso, o calórico era fortemente atraído pela matéria e, ao mesmo tempo, apresentava-se auto-repulsivo. Brown (1950) destaca que, devido a tais propriedades substancialistas, o conceito de calórico relacionado a um modelo corpuscular da matéria explicava vários fenômenos, como: as variações de volume dos corpos quando aquecidos e resfriados, a transferência de energia causada por diferença de temperatura, dentre outras situações que perpassam o nosso dia-a-dia.

Corroborando a idéia apresentada anteriormente, J. Silva (1998) destaca que

*“Termos atualmente empregados, como transferência de calor, condução de calor, absorção e liberação de calor, provêm da época em que o calor era considerado uma substância que penetrava os corpos e, portanto, podia ser transferida, conduzida, absorvida, liberada. Por outro lado, as idéias de capacidade calorífica e calor específico estavam vinculadas às capacidades de contenção do calórico pelos sistemas. Outros termos ainda, como caloria, calor sensível, calor latente, também têm vínculos com a teoria do calórico.” (J. Silva, 1998, p.14)*

Na seqüência, J. Silva (1998) destaca que

*“A derrocada da teoria do calórico se deu não pela força dos resultados experimentais, mas por uma escolha teórica: se o calor pode ser considerado uma forma de energia – e energia não é substância – então, calor também não pode ser substância.” (J. Silva, 1998, p.15)*

Em 1850, Clausius publicou o artigo *Sobre o poder motriz do calor e sobre as leis que podem ser deduzidas do mesmo para a teoria do calor*. Nesse artigo, ele afirma que os estudos empreendidos por Joule, destacando que o calor é produzido de vários modos diferentes pelo emprego de trabalho mecânico, demonstraram não somente a

possibilidade de aumentar a quantidade de calor em quaisquer circunstâncias, mas também a lei de que o calor é proporcional à realização de algum trabalho (Clausius, 1960).

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. Identificar esta parcela com o calor significa retomar a idéia substancialista, ou seja, é considerar que o calor está contido no sistema.

No início do século XVIII, com o progresso dos termômetros e da termometria, um estudo científico do problema se tornou possível, apesar de não permitir resolvê-lo por completo. O físico alemão C. Wolf afirmava claramente que o calor era uma matéria. A idéia foi retomada pelos adeptos do flogisto, que o consideravam ponderável e formado por átomos. Contestando a teoria do flogisto, Lavoisier incluiu como “corpos simples” a luz e o “termógeno”, este último termo designando provisoriamente a “matéria-calor” e modificado posteriormente para calórico. Em 1787, preparando com Guyton de Morveau, Fourcroy e Bertholet a lista dos corpos simples no quadro do estabelecimento de uma nova nomenclatura química, Lavoisier eliminou a luz, mas manteve o calórico. Em seu *Tratado Elementar de Química*, apresentado em 1789, ele ressaltou que a causa do calor, ou seja, o fluido eminentemente elástico que o produz, receberia o nome de calórico. Assim, graças à grande autoridade de Lavoisier, o calor foi considerado por uma parte dos meios científicos como uma espécie de fluido com características não definidas.

Era conhecido o fato de que dois corpos que se encontram inicialmente com temperaturas diferentes modificam suas temperaturas para uma de mesmo valor. Esse estado que os corpos atingem, chamado equilíbrio térmico, conduziu à idéia de que eles deveriam possuir alguma substância que o corpo de maior temperatura deveria perder e que o corpo de menor temperatura deveria ganhar, ou seja, uma teoria do calor como matéria que seria a substância trocada entre esses corpos.

Tal teoria acerca do calor considerava essa substância como um fluido invisível, elástico – podendo penetrar todas as substâncias – e imponderável, que não poderia ser criado e nem destruído. Essa substância foi a que Lavoisier denominou calórico e considerou que estaria presente em quantidades finitas em todos os corpos.

No início do século XIX, a teoria do calórico era amplamente dominante. O químico C. L. Bertholet distinguiu o “calórico radiante” do “calórico combinado” e concluiu a identidade da substância da luz com a do calórico. Biot, nas edições sucessivas de 1816 e de 1827 de seu *Tratado de Física*, dedicou uma parte inteira da obra ao calórico. Fresnel, por sua vez, pensava que o calor era, assim como a luz, produzido pelas vibrações e não pela emissão do calórico. O pai da termodinâmica, o próprio Sadi Carnot, conservava a hipótese do calórico nas suas *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, obra publicada em 1823. Foi preciso a realização da experiência de Joule, em 1840, medindo a taxa de transformação de calor em trabalho, para que a teoria cinética a superasse. Não se pode aqui invocar somente a influência da mecânica. As duas teorias em questão estavam marcadas pelo mecanicismo<sup>8</sup>; a de Rumford talvez mais ainda que a outra. Mas a idéia de “fluido” ainda se mantinha bastante arraigada em todas as discussões empreendidas nos meios científicos.

O calórico permitia explicar algumas das observações feitas, como, por exemplo, um corpo a alta temperatura conteria muito calórico, ao passo que outro a baixa temperatura conteria pouco. Assim, quando eles fossem colocados em contato, o corpo com maior quantidade de calórico transferiria uma parte para o outro corpo com menor quantidade até cessar o fluxo de calórico devido ao equilíbrio térmico. Quanto mais elevada a temperatura de um corpo, mais calórico ele teria no seu interior, e vice-versa.

No caso da dilatação térmica, o calórico entraria num corpo que estaria sendo aquecido, abrindo espaço entre seus constituintes e provocando, desse modo, o aumento de suas dimensões. Propriedades relacionadas com absorção específica de energia térmica por diversos materiais eram explicadas pela quantidade de calórico que o corpo teria em função de sua composição, ou seja, em função do tipo de substância e da quantidade da mesma. Assim, mesmo massas iguais de água e cobre a uma mesma temperatura conteriam diferentes quantidades de calórico.

No entanto, no início do século XVIII, Isaac Newton (1642-1727) já discutia a questão da produção de calor quando se atritam dois corpos. Newton afirmou que o calor consistia num minúsculo movimento de vibração das partículas. Para os

---

<sup>8</sup> Nesse período a ciência estava sobre forte influência do mecanicismo materialista, que defendia a idéia de que todos os fenômenos naturais deveriam ser explicados por corpos e fluidos em movimento e pelas suas interações. A razão mecanicista era defendida pelos iluministas, que procuravam separar a natureza em partes para, então, compreendê-la. Os mecanicistas materialistas acreditavam que a matéria era algo inerte, sem qualquer atividade, formada somente de corpos fluidos que interagiam entre si.

defensores da teoria do calórico, isso seria explicado pensando-se o calórico contido nos corpos como se fosse algo sendo espremido para fora, de forma análoga a quando se espreme uma laranja. Utilizando outra figura de linguagem, o calor seria como algo material que estivesse armazenado dentro de um “ovinho” que, segundo Amaral<sup>9</sup>, ao ser quebrado liberaria o fluido presente em seu interior.

Lavoisier (1743-1795) e Laplace (1749-1782) tentaram conciliar as duas teorias, a do calórico e a do movimento das partículas, afirmando que ambas poderiam explicar a natureza do calor. Mas o próprio Lavoisier fez medidas precisas de massas durante a combustão e verificou que a massa era constante, o que contestava de certa forma a materialidade do calor.

D. Silva (1995) destaca que, em meio às idéias das teorias mecanicista e substancialista do calor, Lavoisier e Laplace apresentam a seguinte conclusão em uma publicação conjunta de 1783:

*“Os físicos não chegaram a um acordo em relação ao calor. Muitos deles consideravam o calor como fluido que se distribui por toda a natureza e que os obriga a conservá-lo. O calor pode combinar com os corpos; então, ele cessa de influenciar o termômetro e pode, também, propagar-se de um corpo a outro; este é o estado de ‘calor livre’. Outros físicos consideravam o calor somente como resultado do movimento invisível das moléculas, que podem vibrar em todas as direções. Este movimento invisível é o calor [...]. Não fizemos escolha sobre essas duas concepções expostas [...] talvez ambas sejam corretas.”* (Lavoisier e Laplace, apud Bassalo, 1992, p. 31 e A. Gilbert, 1982, p. 227).

Shurmann (1946) corrobora a idéia supracitada, destacando ser possível constatar uma vacilação entre as teorias mecanicista e substancialista, seguida por uma tentativa de conciliação entre ambas e com uma sutil tendência para considerar a teoria substancialista.

Em 1798, o engenheiro americano Benjamim Thompson (1753-1814) realizou um experimento em praça pública utilizando uma ferramenta cega que girava sobre uma superfície metálica lisa durante horas seguidas sem produzir partícula alguma de metal. O calor produzido era tanto que a água utilizada para resfriar o sistema atingia sua

---

<sup>9</sup> Comunicação oral feita ao autor deste trabalho pelo professor Luis Otávio Fagundes Amaral, do Departamento de Química da UFMG, em março de 2007.

temperatura de ebulição e se transformava em vapor. Essa e outras experiências levaram a um abandono da teoria do calórico (Pereira & Cardozo, 2005).

De acordo com as conclusões de Rumford, comunicada à Royal Society inglesa no mesmo ano, a fonte de calor gerado por atrito, nessas experiências, era visivelmente inexaurível. Para Rumford, parecia ser extremamente difícil formar uma idéia definida de alguma coisa capaz de ser excitada e transmitida na maneira pela qual o calor era excitado e transmitido nessas experiências, a menos que essa coisa fosse movimento.

Os resultados de Rumford foram praticamente ignorados pouco depois da sua morte, na metade do século XIX, quando Julius Mayer sugeriu que calor e trabalho seriam equivalentes e poderiam se transformar um no outro. James Joule (1818-1889) fez medidas do ‘calor equivalente do trabalho’, o que contribuiu para derrubar a teoria do calórico, ao mesmo tempo em que lançou o conceito de que o trabalho mecânico é o verdadeiro responsável pelo aparecimento do calor no ato de furar os canhões.

Os resultados experimentais da conversão de diversas formas de energia em calor, obtidos por Joule de 1837 a 1847, foram melhorados e forneceram a mesma quantidade de calor a partir de uma dada quantidade de energia, não importando a maneira como era produzida, o que direcionou para a teoria da conservação da energia (a Primeira Lei da Termodinâmica). A agitação do mercúrio, o atrito de anéis de ferro em banhos de mercúrio ou a transformação de energia elétrica em calor num fio imerso em água sempre levavam à mesma proporcionalidade entre as formas de energia: valor hoje conhecido como ‘equivalente mecânico do calor’ (4,18 joules/caloria) determinado por Joule. O calor, então, passou a ser definido como uma forma de energia em movimento (Pereira & Cardozo, 2005).

**O CENÁRIO APRESENTADO NAS PESQUISAS RELATIVAS ÀS IDÉIAS INTUITIVAS DE ENERGIA: AS DIFERENTES ARTICULAÇÕES CONCEITUAIS E/OU HISTÓRICAS ESTABELECIDAS NO ENSINO DE UM TEMA COM GRANDE ABRANGÊNCIA TEÓRICA**

Energia é um termo usado com diversos significados na linguagem presente no senso comum. Energia também é um conceito que aparece em todas as disciplinas ligadas às ciências, com diferentes interpretações por parte de professores e alunos. É interessante notar que a energia envolvida nos processos metabólicos, na fotossíntese e nas transformações químicas em geral é entendida de diferentes maneiras. No contexto

da química, por exemplo, verificam-se muitas confusões conceituais na compreensão da energia térmica envolvida em transformações químicas, temática abordada nessa dissertação.

Auth e Angotti (2001) afirmam que energia é um conceito unificador, que incorpora tanto as mudanças entre as formas energéticas manifestadas, como a conservação dessas formas nos sistemas. Além disso, reúne potencial para interligar tópicos de uma área intradisciplinar e favorece o estabelecimento de relações com temas de outras áreas, em nível interdisciplinar. Para esses autores, os conhecimentos científicos deveriam estar menos fragmentados, necessitando-se buscar conexões entre os diversos conceitos relevantes a fim de favorecer a aprendizagem, além de estruturar os conhecimentos de forma a se priorizar as unificações e sínteses, sem negligenciar o papel fundamental das análises. Nessa linha de raciocínio, é importante ressaltarmos que o entendimento de como se processam as transformações de energia nas reações químicas é fundamental para o entendimento de inúmeros processos vitais, como o metabolismo dos seres vivos.

Vários autores relatam diversas concepções alternativas de alunos do ensino médio sobre conceitos como calor, temperatura, energia e transformações químicas. Essas concepções podem, por exemplo, dificultar a aprendizagem do conceito de energia envolvida nas transformações químicas. Muitas delas podem estar relacionadas aos fatos de os alunos:

- apresentarem dificuldades de estabelecer relações entre conceitos abstratos como calor, temperatura e energia (Cohen & Ben-Zvi, 1992);
- pensarem nas transformações químicas como adição, “cola” de reagentes para formar produtos e não como interação (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1987);
- possuírem uma visão estática das partículas, com pouco ou nenhum entendimento sobre como ocorrem, em nível sub-microscópico, as transformações químicas (Boo, 1998);
- terem dificuldades em entender o significado das transformações químicas e dos processos endotérmicos e exotérmicos (de Vos & Verdonk, 1986);
- desconhecerem, total ou parcialmente, a “origem” do aquecimento ou resfriamento percebido em alguns processos químicos (Boo, 1998).

As concepções sobre calor e temperatura apresentadas por alunos do ensino médio foram sintetizadas por Silva, Neto e Carvalho (1998) da seguinte maneira:

- Calor é entendido como uma substância, uma espécie de fluido, como às vezes o frio ganha uma conotação semelhante e contrária (o frio que *entra* no ambiente ou o calor que sai da garrafa térmica, por exemplo).
- Calor é um processo interno resultante do atrito entre as partículas.
- Calor está associado a temperaturas altas.
- Temperatura é a medida do calor de um corpo.
- Temperatura é uma propriedade dos corpos quentes e frio é uma propriedade contrária.
- Os conceitos de calor e de temperatura são sinônimos, assim como o conceito de temperatura é sinônimo do de energia.
- Uma propriedade animista (um objeto quer *dar* ou *receber*) é usada para explicar o aquecimento ou o resfriamento, sem se constituir em uma figura de linguagem.
- Propriedades macroscópicas (fusão, dilatação, mudança de cor, entre outras) são atribuídas às partículas.

Considerando a multiplicidade de idéias apresentadas pelos alunos em diferentes situações, é pertinente destacar que os professores parecem não possuir um modelo curricular<sup>10</sup> formado para a explicação do que seja a energia envolvida nas transformações químicas. Tal dificuldade é bastante compreensível, considerando-se todos os aspectos relativos à complexidade de se trabalhar com um tema de vasta extensão conceitual, como energia. Porém, a idéia vinculada ao armazenamento de energia tem sido difundida com freqüência nos meios escolares, tanto por professores quanto em livros didáticos. Tal associação pode gerar um entrave na construção do conceito desvinculado do termo “*armazenamento*”. Isso porque se falamos que a energia pode ser armazenada, assumimos, a princípio, que sabemos claramente o que ela é – “*como um queijo armazenado no frigorífico*” talvez, na pitoresca imagem criada por John Benyon. A partir dessa imagem, Benyon (1990) pergunta: “*como a energia é armazenada no objeto?*” e “*onde a energia é armazenada no objeto?*” – questões a que um professor de física ou de química provavelmente não saberá responder prontamente.

---

<sup>10</sup> Entende-se como modelo curricular as simplificações do modelo científico que constituem o currículo escolar (J. K. Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000).

Independente das inquietudes que o estudo dessa temática trás à tona, algo que não se pode contestar é o fato de a energia propriamente dita ser uma entidade/quantidade abstrata. Sendo assim, Warren (1986) nos apresenta outro questionamento: “*como se pode, então, armazenar uma abstração?*”. E, comparando energia com os números – outra abstração – “*como se pode armazenar um número?*”. Segundo Benyon (1990), pode-se evidentemente armazenar objetos através de números ou quantidades de objetos correspondentes a números, mas não os números propriamente ditos. Sendo assim, sugere-se que a idéia 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.

Em consonância com as idéias expressas anteriormente, McClelland (1989) apresenta uma discussão também bastante interessante, com o intuito de tentar construir uma idéia que nos conduza à compreensão de tais relações: se algo será armazenado em sentido metafórico, deverá estar associado a algo material que possa ser armazenado fisicamente. Assim, podemos armazenar combustíveis e podemos armazenar livros; mas não faz sentido falar em armazenar energia como falamos em armazenar informação. Um livro não contém informação, mas apenas manchas de tinta sobre folhas de papel. Cabe a um leitor, que aprendeu a reconhecer aquelas manchas de tinta como letras e palavras, associar palavras a conceitos, “*extrair*” informações do livro. Se o leitor não dominar a língua em que o livro está escrito, não será capaz de realizar esse processo. Pelo mesmo motivo, um computador com *scanner* não é capaz de ler uma página impressa: o que ele consegue apenas é, através de um programa de reconhecimento de caracteres e por meio de um código, traduzir as manchas de tinta em gravações magnéticas num disco rígido. Quem não souber ler nem usar um computador não consegue extrair informação de nenhuma das duas formas de armazenamento. Por isso, é preferível reservar a palavra “*armazenar*” para entidades físicas, como combustíveis, e falar de energia apenas em termos de processos de transformação e trocas entre sistemas.

Em relação à literatura referente ao ensino de ciências, constatamos a presença de várias pesquisas que têm sido realizadas com o objetivo de levar o aluno à compreensão das noções fundamentais de energia, a partir de suas concepções iniciais.

Dentre estes trabalhos, destacamos: Trumper (1991); Higa (1988); Henrique (1996); Pérez-Landazábal, Favieres, Manrique e Varela (1995); Solomon (1985); Bliss e Ogborn (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 (antropocêntrica); (iii) associada ao movimento; e (iv) como sinônimo de força ou fonte de força.

Além destes trabalhos, Filho (1987) sintetiza algumas outras características que alunos relacionam à energia:

- É *algo* presente em todos os fenômenos que ocorrem na natureza e com o homem.
- É *algo* em potencial nos objetos (energia potencial).
- Está ligada ao movimento dos objetos (energia cinética).
- É como uma substância.
- É algo que se perde e se adquire.
- Pode se apresentar de diferentes maneiras (como energia gravitacional, elétrica, magnética, luminoso, sonora, eólica, nuclear, térmica, química etc.).

Trumper (1991), Higa (1988), Henrique (1996) e Pérez-Landazábal et al. (1995), por sua vez, em suas pesquisas com alunos do ensino médio, encontraram diferentes características para o conceito de energia, sintetizadas a seguir:

- Energia como causa para que ocorra um processo (por exemplo, energia produz calor e fogo).
- Energia como produto de um processo (por exemplo, óleo consome oxigênio e produz energia na forma de calor).
- Transformação de energia (por exemplo, energia elétrica é transformada em calor, que aquece o filamento da lâmpada e acende a luz).
- Energia como propriedade da matéria (capacidade de produzir trabalho através da força).
- Energia associada a calor (sinônimo de aquecimento).
- Energia é materializada, ou seja, armazenada em determinados corpos e transferida em certos processos (idéia de energia como ingrediente ou depósito).
- Energia é algo que se conserva.
- Energia é algo que não se conserva (por exemplo: “*produzir energia/consumir energia*”).

- Energia associada ao homem (idéia antropomórfica).

Nesse contexto, é importante destacar que Henrique (1996), ao realizar um estudo sobre o pensamento físico e o pensamento do senso comum envolvendo a energia, afirmou que:

*“... é interessante constatar que essa característica do pensamento presente no senso comum parece guardar uma relação com a história dos conceitos de força e energia.”* (Henrique, 1996, p. 52).

Além disso, em relação ao conceito de conservação de energia presente no senso comum, ele afirmou que:

*“... encontramos um paralelo com concepções da história da ciência, já que constatamos uma busca por invariantes na natureza; a concepção de entidades indestrutíveis ou inatingíveis pelo homem.”* (Henrique, 1996, p. 53).

Diante das dificuldades dos alunos em aprender o conceito de energia em suas múltiplas abrangências, encontramos algumas orientações em diversas pesquisas para se utilizar, no ensino desse tema, o contexto histórico. Isto possibilitaria a abertura de uma compreensão mais globalizada, ao mesmo tempo em que viabilizaria o entendimento conceitual relacionado à ciência (Solbes & Tarín, 1998). Em outras palavras, a utilização de aspectos históricos referentes ao desenvolvimento do conhecimento sobre energia favoreceria a percepção de que as teorias científicas estão em constante mudança, e de similaridades entre o conhecimento do senso comum e o conhecimento científico no decorrer da história. Assim, os alunos poderiam deixar de encarar as teorias científicas como dogmas, ou seja, como verdades absolutas, imutáveis e inquestionáveis. Além disso, é importante destacarmos que a história das idéias nos fornece alguns elementos que permitem entender a complexidade dos fenômenos; ela põe em evidência também uma série de parâmetros que exercem um papel importante na elaboração dos conhecimentos (Giordan & Vecchi, 1996).

Na prática educativa, ao desconsiderar o processo histórico referente ao conceito de energia, partindo rapidamente à formalização teórico-matemática de cada tipo de energia que constitui o produto final desse processo, corre-se o risco de o conhecimento ser transmitido de forma fragmentada, o que dificulta para o aluno a articulação das várias formas de energia, propiciando uma correta compreensão da sua conservação e transformação (Henrique, 1996). Ainda segundo Henrique, nas abordagens tradicionais,

este conceito é tratado como se tivesse existência independente da conservação. Por isso a abordagem histórica tornaria possível a compreensão da natureza desse conceito, uma vez que ele

*“... emergiu na ciência para dar conta de ‘algo’ que ao se transformar se conserva. A compreensão da transformação foi fundamental para o estabelecimento da conservação da energia e, portanto, para a emergência do conceito.”* (Henrique, 1996, p. 29).

No senso comum, por exemplo, existem inúmeras concepções que se confrontam com os conceitos aceitos cientificamente e, em se tratando do conceito de energia, há muitos termos utilizados inadequadamente, de maneira especial em uma conversa informal ou em textos didáticos/paradidáticos. É comum observarmos que aparecem, em muitos momentos, termos impróprios, como por exemplo: energia gravitacional ao invés de força gravitacional; energia química da molécula ou energia de atração entre os átomos no lugar de força de coesão ou atração entre os átomos. Além disso, o calor é freqüentemente apresentado como uma forma de energia e não como energia em trânsito graças a um gradiente de temperatura e as palavras força e movimento são utilizadas indiscriminadamente como sinônimos de energia.

Isso demonstra, então, que as considerações encontradas em diferentes pesquisas apontam que as noções fundamentais de energia não são triviais de serem tratadas no dia-a-dia escolar. Uma série de dificuldades relacionadas à aprendizagem do conceito de energia parece estar presente nas relações de ensino e aprendizagem estabelecidas na escola, sendo reproduzidas ano após ano.

Além desses trabalhos de grande relevância para a temática em questão, vale ressaltar que a termoquímica<sup>11</sup> é um tópico presente no currículo do ensino médio cujo ensino e aprendizagem tem-se revelado problemáticos, conforme enfatizado por Mulford e Robinson (2002), Teichert e Stacy (2002), Griffiths e Preston (1992), Hapkiewicz (1991) e Boo (1998).

---

<sup>11</sup> A termodinâmica, ciência que estuda as transformações e as trocas energéticas nos mais variados sistemas, é uma área fundamental da ciência, cujo tópico de trabalho no nível médio é conhecido por termoquímica (Chagas, 2006). Tal área de conhecimento busca o entendimento da transferência de energia nos diferentes processos químicos. Além disso, proporciona meios de se prever a ocorrência de uma determinada reação. Como a energia domina toda mudança química, a termodinâmica é essencial à química, pois explica porque as reações ocorrem e nos possibilita prever o calor envolvido nas transformações químicas.

Em relação à energia envolvida nas ligações químicas, Hapkiewicz (1991) destaca que, na mente de alguns alunos, a ligação é interpretada como se fosse uma mola estendida e que *libera* energia quando rompida. A idéia de ligação apresentada seria como um pequeno ovinho que, segundo a analogia apresentada por Amaral<sup>12</sup>, ao se quebrar liberaria o conteúdo material presente em seu interior. Fernandez e Marcondes (2006), por sua vez, destacam que a quebra da ligação seria análoga àquele brinquedo de criança em que um palhaço fica preso dentro de uma caixa que, quando aberta provoca um susto em quem a observa. Os alunos, de acordo com Hapkiewicz (1991), teriam a idéia de que a ligação segura os átomos juntos e libera energia quando é rompida.

Fernandez e Marcondes (2006) ressaltam que muitos alunos enxergam a ligação química como uma entidade física. Essa noção parece conectada à noção cotidiana de que para construir qualquer estrutura é necessário fornecer energia e que o contrário, a destruição, libera energia. Para os estudantes, a formação da ligação requer energia e sua quebra libera energia. Essa concepção pode resultar de uma extrapolação sobre os eventos do nível observável para o sub-microscópico. Somam-se a essa concepção idéias advindas da biologia, em que os alimentos armazenam energia química, o que pode conduzir à idéia errônea de que o oxigênio não possui energia química e que a energia viria somente do alimento (Boo, 1998). Ainda no contexto químico, os estudantes também pensam 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 (na comida, no ATP, entre outros) e é liberada nos processos químicos (Teichert & Stacy, 2002); (iv) a quebra das ligações H-H e O-O libera energia (Mulford & Robinson, 2002); e (v) o calor causa a expansão das moléculas, levando ao rompimento das moléculas de água (Griffiths & Preston, 1992).

Considerando as inúmeras e inquietantes constatações destacadas pelas diferentes pesquisas aqui citadas, emerge a necessidade de rever o ensino da temática em questão, buscando desenvolver metodologias que sejam realmente eficazes no desenvolvimento do construto teórico envolvendo energia, sobretudo no contexto da química, foco de nosso interesse.

---

<sup>12</sup> Idem nota 11.

Finalmente, é importante chamar a atenção para o desafio que os professores enfrentam ao trabalhar com temas de grande abrangência teórica, como energia. Isso porque, conforme discutido anteriormente, o uso desses conceitos é feito de forma indiscriminada e pragmática em nossa sociedade, o que pode contribuir para que os alunos reforcem suas idéias intuitivas em relação aos diferentes conteúdos estudados, apresentando dificuldades na construção/aceitação da idéia científica. Cabe aos professores, então, estabelecer uma articulação das idéias dos alunos rumo a um construto conceitual que esteja alicerçado nas idéias científicas, no qual as concepções espontâneas dos alunos sejam reestruturadas em meio às novas idéias estabelecidas no processo de ensino. Atualmente, acreditamos que o ensino fundamentado em modelagem pode favorecer tal articulação.

### **CAPÍTULO 3. MODELOS E MODELAGEM NO ENSINO: UMA NOVA TENDÊNCIA OU UM GRANDE DESAFIO PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA?**

#### **O ENSINO DE CIÊNCIAS E SEUS DESAFIOS FRENTE A UMA ‘NOVA’ PROPOSTA PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**

*“É próprio do pensar certo a disponibilidade ao risco, a aceitação do novo que não pode ser negado ou acolhido só porque é novo, assim como o critério de recusa ao velho não é apenas cronológico.”*

Paulo Freire

Nas últimas décadas, muitos estudos e propostas curriculares têm defendido a necessidade de um ensino que contribua significativamente para a formação dos indivíduos (Brasil, 1999; Millar & Osborne, 1998). Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) afirmam que:

*“O aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, desenvolvendo meios para a interpretação de fatos naturais, a compreensão de procedimentos e equipamentos do cotidiano social e profissional, assim como para a articulação de uma visão do mundo natural e social. Uma concepção assim ambiciosa do aprendizado científico-tecnológico no ensino médio, diferente daquela hoje praticada na maioria de nossas escolas, não é uma utopia e pode ser efetivamente posta em prática.”* (Brasil, 1999, p. 6)

No atual contexto educacional, faz-se evidente a necessidade de romper com o sistema de ensino tradicional, baseado na memorização e transmissão de conteúdos superficiais e inertes, remetendo-nos a um sistema em que o professor atue como orientador na construção do conhecimento e em que o aluno participe ativamente do seu aprendizado, construindo relações significativas com o conhecimento através de suas experiências.

De acordo com Souza (2007), o modelo educacional ainda predominante atualmente, conhecido como *‘tradicional’*, mostra há algum tempo sinais de esgotamento. Uma nova visão do conhecimento está surgindo das interfaces e das novas conexões que se formam entre saberes outrora isolados e dos encontros da subjetividade

humana com o dia-a-dia, o social, o cultural, entre outros, além das experiências vivenciadas ao longo do processo educativo. Redes cada vez mais complexas de relações, geradas pela velocidade das comunicações e informações, estão rompendo as fronteiras das disciplinas e estabelecendo novos marcos de compreensão entre as pessoas e o mundo em que elas vivem. De acordo com Nogueira (2001), o modelo epistemológico para a construção do conhecimento, utilizado amplamente no passado, apresentava uma estrutura linear, com idéias de seriação, pré-requisitos e conhecimento encadeado, conforme representado na figura 1.



Figura 1. Modelo epistemológico linear para a construção do conhecimento.

Atualmente, o modelo epistemológico mais aceito e utilizado no ensino que foge das raízes tradicionalistas é o que representa o conhecimento em rede e que propõe o desenvolvimento das *Múltiplas Inteligências*, conforme representado esquematicamente na figura 2.

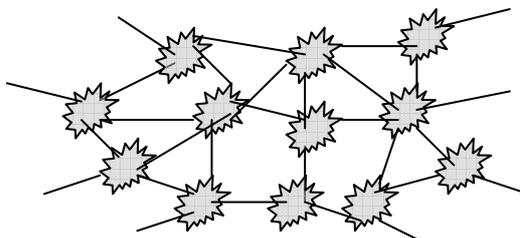


Figura 2. Modelo epistemológico em rede para a construção do conhecimento (Gardner, 2005).

O conhecimento em rede visa à construção de um saber interdisciplinar e multiforme, de modo que os conteúdos se encontram em *nós* ou *situações problema*, que são interfaces que abordam a construção do saber de uma forma holística, sem segmentá-lo. Além disso, permite o desenvolvimento de habilidades e competências fundamentais à construção do conhecimento científico.

Neste contexto, pode-se dizer que a investigação de um dado problema científico não se resolve a partir de ações isoladas, mas exige etapas sucessivas de construção, desconstrução e reconstrução. Conforme assinala Rosen (1994), a solução de problemas nas diferentes áreas do esforço científico não aparece subitamente, mas como a culminância de uma longa série de observações, teorias e experimentos. Presume-se que um processo semelhante pode estar ocorrendo nos indivíduos, quando a

aprendizagem de conceitos científicos (tanto mais quanto mais complexo for o conteúdo em questão) parece requerer inúmeras etapas em que as idéias iniciais são gradativamente complementadas, ampliadas, testadas, reformuladas, rejeitadas, substituídas etc., num processo complexo que se estende indefinidamente. Nesse sentido, acreditamos que uma idéia expressiva como a do conceito de energia, por exemplo, certamente continuará sendo reformulada ao longo de toda a vida de um indivíduo, conforme esse indivíduo for refletindo e tendo contato com uma imensa variedade de novos contextos práticos e teóricos.

Além disso, é importante destacarmos que saber como o conhecimento químico se desenvolve pode dotar os alunos de um pensamento crítico mais elaborado. O estudo da química pode permitir a compreensão da formulação de hipóteses, do controle de variáveis de um processo, da generalização de fatos por uma lei, da elaboração de uma teoria e da construção de modelos científicos. Como ciência teórico-experimental que procura compreender o “*comportamento*” da matéria, a química se utiliza de modelos abstratos que procuram relacionar o mundo macroscópico com o sub-microscópico universo atômico-molecular. Por isso, o trabalho com modelos e modelagem é de grande valia para o desenvolvimento do raciocínio do estudante em qualquer área do conhecimento.

#### **O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NA CIÊNCIA E SUA RELAÇÃO COM A AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO EM SALA DE AULA: UMA NOVA PROPOSTA DE ENSINO**

De acordo com Justi (2006),

*“o significado de modelo tem sido discutido, dentre outros, por cientistas, filósofos da ciência, psicólogos, lingüistas e educadores. Atualmente, a visão mais aceita é a de que um modelo é a representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema, criado com um objetivo específico (J. K. Gilbert et al., 2000). Segundo destacam Morrison e Morgan (1999a), a palavra representação não é usada somente para casos em que exista um tipo de exibição de aspectos visuais da entidade modelada, mas sim como uma representação parcial que, ao mesmo tempo, “abstrai de” e “traduz em outra forma” a natureza dessa entidade.” (Justi, 2006, p. 175)*

Além disso, a consideração desses aspectos implica que modelos não devem mais ser tratados como subordinados a teorias e dados na produção do conhecimento.

Eles se juntam a instrumentos de medição, experimentos, teorias e dados como um ingrediente essencial na prática da ciência. Sendo assim, os modelos científicos são freqüentemente complexos e/ou expressos em formas de representações complexas (como, por exemplo, formulações matemáticas). Por isso, o que ensinamos nas aulas de ciências são simplificações desses modelos. Tais simplificações, conforme destacado anteriormente, são chamadas de *modelos curriculares* (J. K. Gilbert et al., 2000).

Em relação à aprendizagem, é importante ressaltar que ela pode ocorrer em dois pontos do processo: na construção e na utilização do modelo. Quando se constrói um modelo, cria-se um tipo de estrutura representativa, desenvolvendo assim uma forma de pensar científica. Por outro lado, quando se usa um modelo, aprende-se sobre a situação representada por ele (Morrison & Morgan, 1999a).

No que diz respeito à construção de modelos, destacamos que este é um processo inerente ao sistema cognitivo humano (Vosniadou, 2002). Na sua busca por compreender o universo que o cerca, o homem constrói modelos mentais que representam aspectos tanto do mundo físico quanto do social e manipula esses modelos ao pensar, planejar e tentar explicar eventos desse mundo (Ferreira, 2006). Dessa forma, modelos sempre estão presentes no processo de aquisição e construção do conhecimento.

Em relação aos modelos mentais, Borges (1998) destaca que os diferentes entendimentos sobre estes são complementares e não concorrentes. Segundo ele,

*“... modelo mental é uma forma de organizar nosso conhecimento sobre um determinado objeto, processo ou fenômeno, que usamos para pensar sobre eles por meio de simulação mental. Esses modelos capacitam-nos a realizar ações inteiramente na imaginação. Isso permite-nos internalizar as representações que criamos para as coisas e estados de coisas no mundo e processá-los como se fossem externos”.* (Borges, 1999, p. 91)

A construção de modelos pressupõe o uso e a manipulação de signos, na medida em que os modelos mentais são utilizados para organizar os símbolos da experiência e do pensamento. A utilização de modelos permite ao usuário propor explicações para as situações e fenômenos com os quais interage, além de compreender o próprio modelo e aquilo que ele representa. Os modelos mentais são considerados como representações mentais qualitativas, desenvolvidas com base no conhecimento que os sujeitos têm do

mundo, visando a resolução de problemas, a formulação de explicações e previsões ou o desenvolvimento de maior competência num domínio específico.

De acordo com Coll, France e Taylor (2005), uma característica importante dos modelos é que eles representam a descrição aproximada correspondente a sistemas complexos que podem ser chamados de objetos, origem ou protótipo. Assim, um modelo pode negligenciar detalhes e enfatizar aspectos mais importantes da entidade modelada. Embora este seja um aspecto limitante dos modelos, mais importante do que a quantidade de aspectos enfatizados é o fato de as opções feitas serem coerentes com os objetivos definidos para o modelo.

Sendo limitados, os modelos podem explicar satisfatoriamente bem certos aspectos do objeto em estudo e falhar na explicação de outros. Porém, isso não implica em que eles sejam descartados ou considerados como totalmente incorretos. Assim, algumas das utilidades de modelos podem ser sintetizadas como:

- atuam como agentes que simplificam uma teoria ou uma série de dados que podem ser empíricos ou não;
- apresentam capacidade de realizar previsões;
- levam à constituição de uma teoria;
- auxiliam na visualização de entidades abstratas;
- facilitam a comunicação;
- fundamentam a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade;
- descrevem processos.

Em relação à expressão dos modelos mentais, cabe ressaltar que eles não podem ser acessados diretamente, apenas inferidos dos meios principais da comunicação humana: gestos, fala e escrita. Quando os modelos mentais passam a ser de domínio público por meio de uma representação, eles se tornam um *modelo exposto* (J. K. Gilbert et al., 2000). A transposição do modelo mental para o modelo exposto não é completa, tendo em vista a dificuldade inerente à cognição humana em conseguir realizar uma total transposição dos pensamentos articulados na mente do indivíduo para alguma outra forma de expressão. Porém, limitações como essa não desqualificam a potencialidade dos modelos.

Considerando a relevância da utilização de modelos no ensino, é importante destacar que vários estudos (Barab et al., 2000; Barbosa, 2003; Collins & Gentner,

1987; Ferreira & Justi, 2005b; Mendonça & Justi, 2005; Nersessian, 1999; Vosniadou, 1999) têm mostrado que a utilização dessa ferramenta no ensino de ciências, na perspectiva de promover o desenvolvimento do conhecimento, contribui decisivamente para a construção de um aprendizado significativo. Além disso, tal proposta de ensino é corroborada pelas diretrizes colocadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM – (Brasil, 1999, p. 32) da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Neles está destacado que uma das competências gerais a serem desenvolvidas pelos alunos diz respeito aos domínios da investigação e compreensão, ou seja, ao uso de idéias, conceitos, leis, modelos e procedimentos científicos. Mais especificamente, espera-se que o ensino de química forneça condições para o aluno “*reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações problema, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos*”.

A introdução de estudantes em atividades de construção de modelos pode, além de contribuir para a construção de conhecimentos específicos, ajudar o aluno a construir os próprios modelos, avaliando-os e desenvolvendo um potencial crítico em relação àqueles utilizados no ensino e na ciência, e a compreender o processo de construção dos mesmos – sob um aspecto geral e na ciência, em específico – assim como porque são construídos (Justi & Gilbert, 2002). Sendo assim, o envolvimento de estudantes em atividades de construção de modelos se mostra bastante interessante como uma metodologia de ensino que está de acordo com a perspectiva construtivista. Isso porque nessa perspectiva as concepções prévias dos alunos são extremamente relevantes – pois é a partir delas que os modelos são construídos e/ou reformulados – e o aluno é um sujeito ativo nesse processo de construção do conhecimento.

A construção de modelos e sua contribuição para a aprendizagem é uma área recente de pesquisa e deve ser alvo de mais estudos para que seja possível propor mudanças no ensino atualmente promovido. Isso porque, além de as pesquisas sobre utilização de atividades de modelagem no ensino serem poucas, elas se mostram pouco aplicáveis à realidade do ensino, seja pelo tempo que demandam para serem realizadas (geralmente muito grande), seja pelo número de alunos que elas investigam (geralmente muito pequeno) (Justi, 2006).

O ensino através da construção de modelos, nesta perspectiva educacional, tem o potencial para promover um aprendizado participativo, com ricos contextos que possam

encorajar o engajamento dos alunos, em que eles possam trabalhar de maneira colaborativa na construção de significados, conceitos e representações (Barab et al., 2000). Além disso, esse processo de ensino permite ao aluno aprender sobre modelos, sobre sua construção e, conseqüentemente, sobre a construção da ciência, (pois uma das mais importantes atividades dos cientistas é construir, elaborar, testar e validar modelos).

Para as atividades desenvolvidas nesse trabalho, buscou-se favorecer aos alunos uma compreensão do fazer ciência através de uma estratégia de ensino envolvendo a construção e reconstrução de modelos. Levando-se em consideração a estratégia proposta para a abordagem do tema “*energia envolvida nas transformações químicas*”, os alunos perceberiam que teorias e hipóteses produzidas pela ciência correspondem não a verdades absolutas extraídas diretamente da natureza, mas a explicações provisórias elaboradas pelos cientistas, buscando acomodar as evidências disponíveis da melhor maneira possível. Dessa forma, as explicações dadas aos diferentes fenômenos seriam dependentes do contexto e estariam sujeitas à substituição por teorias e hipóteses consideradas mais “*poderosas*”.

Alguns estudos têm discutido como o processo de elaborar, expressar, reformular e comunicar modelos, conhecido como modelagem<sup>13</sup>, pode contribuir na construção desse conhecimento holístico da ciência (por exemplo, Barab et al., 2000; Vosniadou, 2002, Ferreira & Justi, 2005).

Considerando os pressupostos discutidos anteriormente, podemos inferir que o ensino baseado em atividades de modelagem está de acordo com os debates mais recentes em relação ao ensino de ciências, que têm como um dos pressupostos a necessidade do envolvimento ativo dos alunos nas aulas em um processo interativo professor/aluno, em que os horizontes conceituais dos mesmos sejam contemplados. Isso significa criar oportunidades para que eles expressem como vêem o mundo, o que pensam, como entendem os diferentes conceitos. Além disso, considerando que a construção e o emprego de modelos são a base do processo da pesquisa científica, compreender a utilização da modelagem significa conhecer as bases sobre as quais se

---

<sup>13</sup> Ferreira (2006) destaca que, embora em português não exista uma única palavra que seja consensualmente usada como sinônimo de *processo de construção e reformulação de modelos*, optou-se por caracterizar tal processo usando a palavra *modelagem*. Acreditamos ser coerente a idéia em questão, o que nos faz assumir a mesma postura nesta dissertação em relação à terminologia em destaque.

desenvolve o conhecimento em ciências (Gobert & Buckley, 2000; Halloun, 2004; Morrison & Morgan, 1999a).

Desse modo, e considerando que o processo de construção do conhecimento ocorre a partir do estabelecimento de relações conceituais, em que esquemas mentais são elaborados pelos alunos para compreender os novos conceitos construídos em sala de aula, entendemos que a proposta deste trabalho está em consonância com as competências e habilidades desenvolvidas na utilização de modelos e sugeridas pelos PCNEM.

### **PESQUISAS SOBRE MODELOS E MODELAGEM NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

Em termos das contribuições de situações de ensino em que a proposta fundamentada em modelos e modelagem foi utilizada, é importante destacar que recentemente algumas pesquisas foram desenvolvidas em torno da temática ou da perspectiva de ensino aqui colocada. Destacamos, inicialmente, os seguintes trabalhos:

- Barbosa (2003), que investigou a evolução de estruturas ontológicas e causais dos modelos mentais de energia em estudantes de física da primeira série do ensino médio e a sua conseqüente relação com o desenvolvimento de modelos mentais de energia mais consistentes.
- Ferreira (2006) e Justi e Mendonça (2007), que desenvolveram suas pesquisas baseadas em situações de ensino de química planejadas e conduzidas na perspectiva de modelagem.

Acreditamos que essas situações peculiares de ensino merecem um maior destaque neste momento por estarem mais próximas da proposta implementada nesse trabalho. Em todos os casos, as questões de pesquisa relacionaram-se com a aprendizagem dos alunos e com a extensão em que a abordagem utilizada no ensino favoreceu a aprendizagem dos mesmos. Além disso, as investigações foram realizadas em situações regulares de ensino, sendo as aulas ministradas pelos próprios pesquisadores.

Na pesquisa desenvolvida por Barbosa (2003), constatou-se que, em geral, os modelos iniciais dos alunos sobre energia são simples, baseados em conceitos típicos do senso comum. Os alunos, por exemplo, concebem inicialmente a energia como algo

material e concreto, como uma substância, que pode ser armazenada (fisicamente) e transferida. Ela é normalmente a causa que faz os fenômenos e eventos acontecerem. Quando muito, a energia é compreendida como um intermediário entre a fonte de causalidade e o objeto que sofre seus efeitos. O vocabulário utilizado pelos estudantes é marginal à terminologia adotada pela ciência (escolar ou não), com freqüentes confusões de significados.

Com relação às pesquisas desenvolvidas por Ferreira (2006) e Justi e Mendonça (2007), podemos destacar, de forma resumida, os principais resultados obtidos:

- Os alunos mostraram ter desenvolvido uma compreensão bastante ampla dos temas químicos envolvidos em cada uma das situações (equilíbrio químico e ligação química). Além disso, a análise das discussões ocorridas nos grupos e nas turmas mostrou que os alunos buscaram estabelecer relações dos conceitos discutidos entre si com conceitos de outros domínios (principalmente oriundos da física). Os resultados também mostraram que a aprendizagem não aconteceu em momentos de *insight*, mas ao longo do processo de ensino que, em ambos os casos, teve a duração de algumas semanas<sup>14</sup>.
- A maioria dos alunos mostrou ter desenvolvido uma compreensão adequada sobre a natureza e a utilização de modelos, assim como sobre a importância do processo de elaboração de modelos na construção do conhecimento científico.
- Os alunos se envolveram bastante em todas as etapas do processo, principalmente naquelas resultantes da introdução de questões bastante desafiadoras e 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, coerente com suas idéias anteriores, com as evidências e informações às quais eles tiveram acesso e com as idéias discutidas no grupo ou entre os grupos. Como resultado, a maior parte dos alunos foi capaz de elaborar e reformular seus modelos.

Acreditamos que esses resultados apontam para o fato de os pressupostos do ensino fundamentado em modelagem poderem ser usados como algo promissor e

---

<sup>14</sup> Assumindo que a aprendizagem de um determinado tema não se esgota quando ele é ensinado pela primeira vez, mas que pode ser influenciada por discussões futuras daquele ou de outros temas relacionados, as pesquisadoras destacam que o processo não se esgotou no tempo de realização das pesquisas. Todavia, como os dados disponíveis foram coletados naquele tempo específico, as afirmativas são feitas em relação a ele.

inovador para se ensinar um conteúdo imbuído de grande abstração, como é o caso da “*energia envolvida nas transformações químicas*”.

### **PROPOSTA DE ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM: ASPECTOS TEÓRICOS**

*“Ensinar não é transferir conhecimentos, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção.”*

Paulo Freire

O trabalho com modelos e modelagem no ensino pode abranger duas instâncias distintas de aprendizagem: (i) aprendizagem de modelos curriculares e (ii) aprendizagem sobre a natureza do conhecimento científico e o papel de modelos no processo de construção desse conhecimento.

A proposta de ensino apresentada nesse trabalho tem o intuito de favorecer essas duas instâncias de aprendizagem, na medida em que os alunos têm a oportunidade de aprender o modelo curricular simultaneamente ao aprendizado sobre modelagem. Dessa forma, acreditamos que eles podem desenvolver uma melhor noção sobre o porquê e a importância da utilização dos modelos em ciências e seu papel no desenvolvimento do conhecimento científico, pois os modelos não lhes serão apresentados prontos. Além disso, eles serão capazes de expressar e testar seus modelos individualmente ou em grupo, num ambiente de ensino propício, através da discussão em pares (entre alunos ou com o professor). Posteriormente, os modelos dos alunos deverão ser aplicados em outros contextos para explicar situações problema. Dessa forma, pretende-se que eles percebam o poder de explicação de seus modelos, bem com suas limitações. Por fim, o modelo curricular será discutido a partir dos modelos elaborados pelos alunos, proporcionando-lhes uma contraposição de idéias estabelecida entre os dois modelos e favorecendo a construção de um novo significado para o conteúdo em estudo.

Além disso, o ensino através da construção de modelos permite ao aluno aprender sobre modelos, sobre sua construção e, conseqüentemente sobre a construção da ciência, uma vez que uma das mais importantes atividades dos cientistas é construir, elaborar, testar e validar modelos.

Levando-se em consideração tais pressupostos, é importante que os professores tenham a noção dos possíveis modelos que os alunos poderão construir. Com base nisso, os professores poderão dar subsídios para que os alunos articulem os testes de

seus modelos utilizando, no decorrer de todo processo, “*questões geradoras*”<sup>15</sup>. Tais questões têm o propósito de estimular o desenvolvimento do modelo e a construção do conhecimento sem, com isso, fornecer respostas de um conhecimento já pronto (Vosniadou, 2002). Nesse processo, o professor atuará como facilitador<sup>16</sup>, podendo solicitar explicações do aluno que chamem a atenção para aspectos que o auxiliem durante a construção dos modelos, favorecendo o desenvolvimento de raciocínios análogos e a ocorrência de *insights*<sup>17</sup>, que poderão desencadear na elaboração do conhecimento (Clement, 1989).

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 3) será brevemente comentado a seguir.

---

<sup>15</sup> Tradução usada nesse trabalho para a expressão em inglês ‘*generative questions*’, apresentada por Vosniadou (2002).

<sup>16</sup> O papel do professor deve passar por uma transição: de uma ênfase na entrega do conteúdo em pacotes prontos (enfoque tradicionalista) para um foco em dar suporte aos estudantes de forma a engajá-los na construção de modelos.

<sup>17</sup> Clement (1989) define *insights* como “*estalos*” em que ocorrem mudanças muito rápidas no pensamento da pessoa, o que organiza suas estruturas do conhecimento. Esses *insights* são rápidos flashes de inspiração, possivelmente originados de um período de incubação ou atividade mental não consciente.

Vinícius Catão de Assis Souza

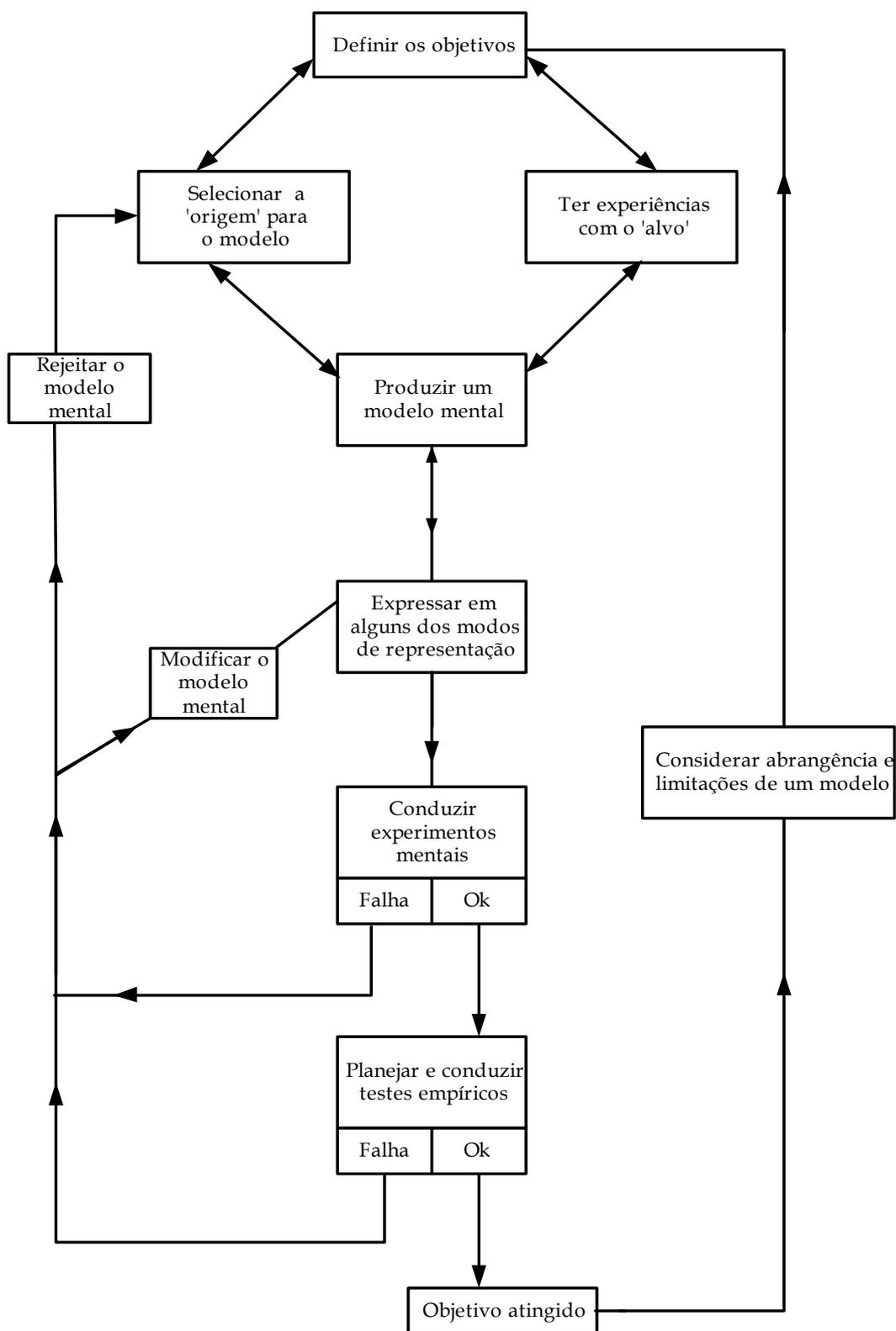


Figura 3. Diagrama *Modelo de Modelagem*, segundo Justi e Gilbert (2002, p.371).

De acordo com o diagrama *Modelo de Modelagem*, o processo se inicia pela consideração do fenômeno que se deseja estudar, limitando-se os aspectos que serão abordados. A partir daí, a pessoa participante do processo – no caso escolar, o aluno – elabora um modelo mental para seu objeto de estudo, levando em conta 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 com a seleção de uma “origem” adequada (por exemplo, uma fonte a partir da qual uma analogia possa ser estabelecida ou relações matemáticas possam ser utilizadas).

Após a elaboração do modelo mental, deve-se decidir a forma através da qual esse modelo será expresso. É importante que exista uma adequação entre o modelo que o aluno elaborou em sua mente e o modelo que será expresso, podendo ocorrer um ciclo de alterações em ambos até o momento em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro.

Em seguida, o modelo expresso obtido deve passar à etapa de testes. Tais testes podem ser de duas naturezas: via experimentos mentais e através de planejamento e realização de testes empíricos. Justi (2006) ressalta que essa etapa pode ser caracterizada pela ocorrência sucessiva desses dois tipos de teste ou pela utilização de um único tipo. Isso dependerá 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.

Após a elaboração do modelo mental, deve-se decidir a forma através da qual esse modelo será expresso. Nesse momento, deve haver uma adequação entre o modelo que o aluno elaborou em sua mente e o modelo que será expresso, podendo ocorrer um ciclo de alterações em ambos até o ponto em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro. Em seguida, o modelo expresso obtido deve ser testado através de experimentos mentais, nos quais ele deve ser empregado em diferentes situações imaginárias para que seja possível avaliar a sua aplicabilidade, capacidade de explicação e/ou predição, além da coerência com resultados esperados para os testes mentais. Caso o modelo falhe nesse ponto, é possível voltar no ciclo e propor modificações nele ou, ainda, dependendo dos resultados, rejeitá-lo. Isto irá levar a uma reconsideração radical

dos elementos que foram usados para a sua elaboração. O sucesso do modelo na etapa de testes indica que ele alcançou os objetivos para os quais foi construído.

Após a obtenção desse modelo bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as limitações do modelo, bem como a extensão de seu emprego. Outras pessoas podem fazer considerações sobre etapas anteriores no processo de construção do modelo (ampliando os propósitos iniciais do mesmo, bem como a base de conhecimentos para sua construção), o que pode levar o modelo a entrar novamente no ciclo. Na ciência, essa última etapa é de fundamental importância, pois corresponde à comunicação do modelo à comunidade científica que, além do importante papel de contribuir com novos conhecimentos para a elaboração do modelo, poderá aceitá-lo ou rejeitá-lo.

É importante ressaltar que, como evidenciado pelas setas duplas da figura 3, este é um processo dinâmico e não linear, pois algumas etapas podem influenciar em outras.

Justi (2006) destaca que no processo de construção de modelos na educação, o engajamento dos estudantes é fundamental para que eles tenham uma evolução no processo de edificação do conhecimento. A comunicação do modelo construído pelo aluno (ou por um grupo de alunos) à turma é um processo de socialização que provoca esse envolvimento do grupo, pois é o momento em que o aluno deverá apresentar o suporte de suas idéias e avaliar o conhecimento que produziu. Isso irá proporcionar não só a interação entre os alunos, mas entre os alunos e o professor, entre os alunos e seus modelos e mesmo entre os alunos e o conhecimento que eles produziram.

Por fim, é importante ressaltar que a realização de atividades experimentais como fonte de informações para os alunos é particularmente relevante nas situações em que eles sejam solicitados a elaborar modelos para entidades abstratas ou fenômenos envolvendo tais entidades. Isto é bastante comum em química, ciência em que os modelos explicam os processos relacionados às partículas sub-microscópicas. Nesses casos, as evidências de propriedades e/ou comportamentos dessas entidades observadas na atividade experimental podem significar fontes essenciais de informações sobre a situação em questão. Segundo Justi (2006), isto não é afirmado numa perspectiva empiricista ingênua – de que o conhecimento se origina de observações neutras a partir das quais emergem padrões de regularidade que, então, resultam em explicações – mas

sim considerando que tais informações fundamentam um processo intelectual criativo de elaboração dessas explicações (Millar, 1998).

Pensando-se no relacionamento do diagrama com as atividades a serem desenvolvidas pelo professor durante o processo de ensino, é importante enfatizar que compete a ele, primeiramente, definir os objetivos da estratégia a ser desenvolvida. É importante que se tenha claro um modelo referência – modelo curricular –, ou seja, aquele que se espera que os alunos aprendam. Entretanto, é importante que o professor não se prenda a esse modelo como a única possibilidade ou como o único modelo ‘*correto*’, pois os alunos podem propor modelos também coerentes e com poderes de explicação e previsão adequados.

Após identificar os diversos modelos produzidos pelos alunos, o professor não deverá simplesmente sentenciar os modelos como corretos ou incorretos, mas buscar trazer novos elementos que possam se contrapor às incoerências observadas, levando os alunos a refletir sobre seus modelos através de experimentos mentais. Quando os alunos chegarem a um modelo consensual (que não é necessariamente o curricular), o professor deverá ser cauteloso ao apresentar esse modelo curricular. Ele deverá valorizar os modelos dos alunos, enfatizando o poder explicativo deles, suas abrangências e limitações e, através desse contexto, apresentar o modelo curricular (ou seus elementos não presentes nos modelos dos alunos).

Considerando os pressupostos destacados anteriormente, podemos dizer que atividades envolvendo modelagem podem permitir ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas através das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais abrangentes. Dessa forma, ocorre uma integração entre o conhecimento conceitual e a construção de modelos, em que o conhecimento do aluno permite criar modelos e os modelos o permitem desenvolver e construir novos conhecimentos.

A proposta de ensino desenvolvida neste trabalho não teve o intuito de apresentar o diagrama aos alunos. A intenção era que ele fosse usado como um alicerce para preparar as atividades a serem executadas pelos alunos no decorrer das aulas. Desse modo, foi indispensável que o professor tivesse uma ampla compreensão do mesmo, além de (re)conhecer as principais concepções alternativas dos alunos sobre o tema.

## CAPÍTULO 4. DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

### QUESTÕES DE PESQUISA

Considerando as dificuldades de ensino e aprendizagem relacionadas ao tema *energia envolvida nas transformações químicas* discutidas anteriormente, buscaremos desenvolver uma investigação que procure demonstrar como uma nova metodologia pode contribuir para que esse ensino se torne mais significativo. Desse modo, e devido ao trabalho se relacionar a um tema de grande abstração e permeado por uma complexa rede conceitual (energia), optamos por adotar o ensino fundamentado em modelagem, tendo em vista que os alunos poderiam desenvolver um pensamento que seria acompanhado pelo professor no decorrer de todo o processo de ensino.

Nessa perspectiva, este trabalho se desenvolveu a partir da elaboração, da aplicação em sala de aula e da análise de uma proposta de ensino fundamentada na construção e reconstrução de modelos pelos alunos, tendo como tema específico a *energia envolvida nas transformações químicas*.

O principal objetivo desta proposta de ensino foi permitir a compreensão de *como* o processo referente ao rearranjo dos átomos ocorre nas transformações químicas, facilitando a compreensão de vários aspectos relativos ao processo, impossíveis de serem entendidos pela simples observação deste ou pela simples manipulação de fórmulas. Além disso, buscou-se fazer com que aspectos relacionados à quebra e formação de ligações, inerentes a toda transformação química, fossem utilizados no processo de modelagem, favorecendo a construção de modelos que subsidiassem a explicação do saldo energético ao final do processo. Isto porque a consideração de tal saldo permitiria aos alunos caracterizar os processos químicos como endotérmicos ou exotérmicos.

Ao propor tal metodologia para o estudo das *energias envolvidas nas transformações químicas*, esperávamos que ela pudesse contribuir também para a discussão e compreensão de modelos em um âmbito mais geral, ajudando os alunos a aprender química de acordo com as perspectivas mais contemporâneas propostas na literatura (por exemplo, Barab et al., 2000; Hodson, 1992, 2003).

Nesse sentido, a pesquisa apresentada nesta dissertação visou responder às seguintes questões:

- 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*”?
- Como aspectos históricos, referentes ao desenvolvimento do conhecimento acerca da *energia*, podem auxiliar na compreensão dos modelos elaborados pelos alunos?

#### ELABORAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ENSINO

As atividades propostas aos alunos foram desenvolvidas a partir das idéias contidas no diagrama *Modelo de Modelagem* (Justi & Gilbert, 2002) (figura 3). Foram também utilizados, como fonte de consulta para a elaboração das atividades, livros de química do ensino médio e superior abordando esse assunto e 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*<sup>18</sup>.

Nesse contexto foram elaboradas as atividades da estratégia de ensino buscando abordar o tema priorizando um enfoque qualitativo, uma vez que os alunos 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. Maiores detalhes sobre cada uma das atividades que compõem a estratégia serão apresentados posteriormente, no Capítulo 5.

---

<sup>18</sup> Projeto desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química, do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais, coordenado pela professora Rosária Justi. Neste projeto, nove professores de química com tempo de formação e prática docente variados participavam de um grupo colaborativo. Seu objetivo principal era o de contribuir para melhorar a formação dos professores a partir do aprimoramento dos seus conhecimentos sobre o processo de modelagem e sua utilização no ensino.

## COLETA DE DADOS

Inicialmente, é importante destacar que a pesquisa seguiu rigorosamente todos os trâmites exigidos pela Universidade Federal de Minas Gerais, sendo submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa dessa universidade. Sendo assim, a coleta de dados foi iniciada após o Comitê de Ética em Pesquisa ter aprovado o projeto e os sujeitos envolvidos – professora e alunos (e também seus responsáveis) – terem assinado Termos de Consentimento Livre e Esclarecido que autorizavam a utilização dos dados coletados nesta pesquisa.

Em relação a esse tipo de pesquisa, Ferreira (2006) destaca que é desejável do pesquisador o desenvolvimento de uma postura eclética, fazendo uso de vários instrumentos de coleta de dados. Sendo assim, essa pesquisa contou com vários instrumentos de coleta de dados, organizados em torno de ações previamente planejadas, com o objetivo de avaliar as contribuições de ensino propostas na aprendizagem dos alunos. Além disso, esses dados coletados por diversos meios permitiram a validação interna dos mesmos, através de combinação e contraposição desses. Os métodos de coleta de dados utilizados foram: registros escritos produzidos pelos alunos em cada atividade, questionário aplicado ao final do processo, registro em vídeo de todas as aulas e anotações das observações do pesquisador e da professora.

Todas as aulas ministradas foram filmadas, englobando tanto as partes expositivas quanto as discussões (sejam gerais – 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.

Como dispúnhamos de uma única filmadora, a gravação em vídeo de todos os momentos de discussão em cada um dos grupos ficou inviabilizada. Porém, o objetivo principal dessa gravação foi tentar fornecer dados relativos ao processo como um todo, buscando registrar, principalmente, a participação de cada indivíduo nas discussões dos grupos e com a turma.

Além desses instrumentos, foram coletados dados escritos através de várias atividades realizadas durante as aulas (Apêndices I a V) e uma avaliação ao final do processo de modelagem, abordando os aspectos procedimentais e atitudinais (Apêndice

VI). As atividades realizadas durante as aulas tinham questões cujos objetivos eram: investigar o conhecimento prévio de cada aluno, registrar o modelo proposto pelo grupo (tanto em forma de desenhos quanto descritiva) e avaliar o processo que os alunos vivenciaram.

O questionário de avaliação final foi formulado a partir de questões de vestibulares adaptadas e questões elaboradas pelo pesquisador e discutidas com a orientadora e com alguns professores participantes do grupo de pesquisa sobre modelagem no ensino de química citado anteriormente. Tais discussões buscaram avaliar a coerência, clareza e a objetividade das questões, o que resultou em uma maior fidelidade no processo avaliativo. As questões tinham o objetivo de verificar o conhecimento químico, observando a existência ou não de concepções alternativas. Elas foram aplicadas como uma avaliação normal do curso, três semanas após o encerramento da pesquisa. Este tempo não foi deliberadamente escolhido pelo pesquisador, mas sim definido em função das demais atividades da turma nas aulas de química e do calendário de avaliações previamente estipulado pela escola.

#### **ANÁLISE DOS DADOS**

A integração de todos os dados permitiu a elaboração de estudos de caso para cada grupo de alunos, o que norteou o processo de análise da primeira questão de pesquisa, auxiliou a compreensão do processo em seu todo e subsidiou alguns pontos discutidos na segunda questão de pesquisa.

Em relação aos estudos de caso descritos a partir das diferentes fontes de dados, é importante ressaltar que eles, assim como outras estratégias de pesquisa, representam uma maneira de se investigar um tópico empírico seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados. Dessa maneira, eles se mostram necessários 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. Por esse motivo é que concentramos a nossa atenção em cada um dos grupos de alunos procurando, quando relevante, destacar a participação de alunos individuais.

A utilização de estudo de caso é um desenho ideal para entender e interpretar observações do contexto educacional (Merriam, 1988). Isso porque um estudo de caso (i) apresenta uma descrição rica e vívida de eventos relevantes para o caso; (ii) fornece uma narrativa cronológica dos eventos; (iii) pode combinar uma descrição dos eventos com sua análise e/ou avaliação; (iv) foca em um ator individual ou grupo de atores e se empenha em entender a percepção desses sobre o evento; (v) salienta eventos específicos que são relevantes para o caso (mesmo que sejam eventos pouco frequentes); e (vi) reuer do pesquisador um envolvimento integral no caso, esforçando-se para evidenciar a riqueza deste ao reportá-lo.

Para Lucke e André (1986), os estudos de caso têm uma tônica essencialmente qualitativa e resultam em vantagens porque são apropriados às pequenas escalas e não restringem a possibilidade de novos estudos, a posteriori, de aprofundamento ou de simples retomada.

Yin (2002), por sua vez, destaca que a essência de um estudo de caso se baseia na tentativa de esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados. Sendo assim, Yin (2002) ressalta que um estudo de caso é uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Além disso, como tal investigação se baseia em várias fontes de evidências, torna-se essencial restringir os focos de interesse na pesquisa, visando o desenvolvimento de um estudo mais criterioso e pontual.

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 do pesquisador 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 pesquisadores<sup>19</sup>, visando uma maior confiabilidade e precisão em suas análises.

Através dos estudos de caso, o pesquisador pode integrar suas observações à narrativa dos fatos, isto é, interpretar os dados, permitindo que os estudos de caso

---

<sup>19</sup> O autor desta dissertação e sua orientadora.

atingissem um estágio além da descrição. Assim, o pesquisador pode usar os dados para analisar, interpretar ou teorizar sobre o fenômeno em questão.

Entretanto, as declarações teóricas (escritas ou verbais), assim como em outras formas de pesquisa em ciências humanas, devem ser suportadas pelas evidências apresentadas. Isso foi buscado nesse trabalho através da apresentação de dados a partir dos quais emergiram as afirmações feitas na análise. Ao longo do texto, todos os dados citados terão sua autoria identificada em termos de códigos associado ao aluno ou grupo de alunos, conforme especificaremos posteriormente.

Para a segunda questão de pesquisa, os dados foram analisados buscando relacionar a evolução do pensamento dos alunos com a evolução histórica das idéias envolvendo energia, demonstrando assim os pontos em comum e a abrangência desses aspectos no pensamento contemporâneo (as influências do senso comum, de relações místicas etc.). É pertinente destacarmos que a história nos mostra quão laboriosa foi a evolução das idéias que permearam as questões energéticas na ciência, demonstrando os erros e acertos cometidos pelos cientistas no decorrer de seus estudos. Nesse contexto, então, buscamos demonstrar que a estratégia em questão favoreceu aos alunos o desenvolvimento de um pensamento científico em consonância com o que a história da ciência nos apresenta. Porém, o trabalho dos alunos se mostrou mais proveitoso considerando-se que a professora e o pesquisador dominavam a temática histórica em questão, o que permitiu identificar todas as concepções incompatíveis com os modelos curriculares na estratégia de ensino elaborada e nas aulas.

#### **CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA: AMOSTRA E CONTEÚDO ESTUDADO PREVIAMENTE**

A aplicação da proposta de ensino ocorreu em um ambiente real de sala de aula, durante o período normal das aulas de química em uma turma da segunda série do ensino médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte. 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, durante todo o processo. O pesquisador apenas acompanhou e filmou as aulas.

Inicialmente, fez-se um estudo piloto com cinco turmas da mesma série, porém de outra instituição de ensino. O estudo piloto foi realizado com o objetivo de adaptar a metodologia e a conduta das atividades, identificando possíveis falhas e pontos que poderiam ser modificados. Minha atuação se deu como professor regente das turmas piloto e observador da turma na qual se coletou os dados analisados nesse trabalho.

Em relação à turma cujos dados deram origem a essa dissertação, ela era formada por 20 alunos, com uma faixa etária variando de 16 a 19 anos (média de 17 anos). Tais alunos estiveram dispostos em quatro grupos fixos contendo cinco componentes cada.

A proposta de ensino foi aplicada quando os alunos já haviam estudado o conteúdo de ligações químicas e interações intermoleculares. Em termos de 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 uma menor energia. Quando aprenderam sobre isso, eles estudaram o gráfico conhecido como *poço potencial*, que descreve o que acontece com a energia de dois átomos de hidrogênio, quando esses se aproximam, conforme destacado na figura 4, retirado do livro didático utilizado pelos alunos. Tal gráfico foi utilizado para explicar a ligação covalente, cuja característica principal é o compartilhamento dos elétrons entre os átomos envolvidos na ligação. Nesse contexto, o livro destaca o seguinte:

*“Na natureza, as substâncias buscam um estado energético mais estável, de menor energia. Por exemplo, vejamos o que acontece com a energia de um sistema contendo dois átomos de hidrogênio, quando esses átomos se aproximam.*

Vinícius Catão de Assis Souza

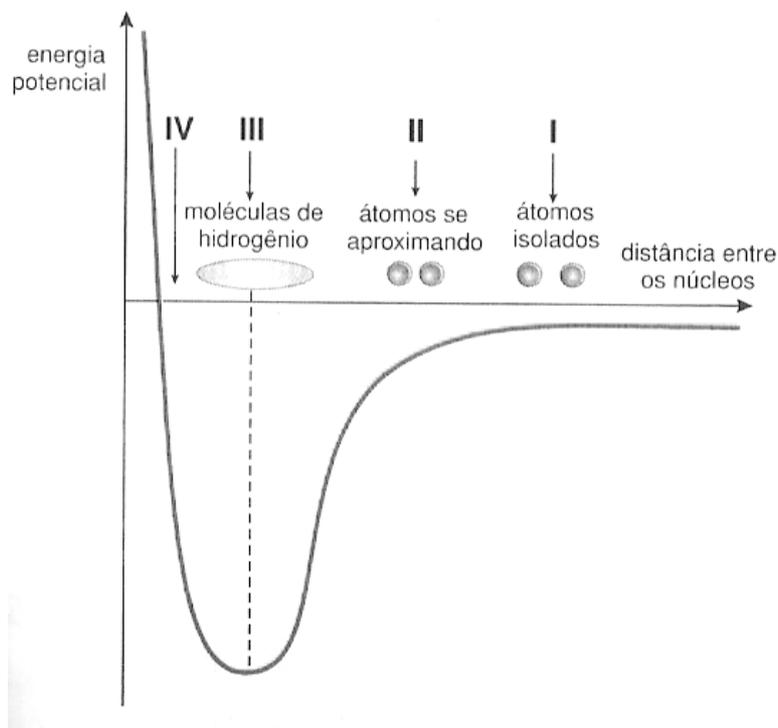


Figura 4. Diagrama de energia potencial x distância internuclear para a formação da molécula de hidrogênio.

Quando dois átomos estão afastados (**situação I**), praticamente não existe uma interação entre eles. À medida que se aproximam, passam a atuar forças de atração entre o núcleo de cada um dos átomos e os elétrons do outro. Ao mesmo tempo, atuam forças de repulsão entre os núcleos e também entre os elétrons dos dois átomos (**situação II**). A predominância das forças de atração faz com que os átomos de hidrogênio aproximem-se cada vez mais, diminuindo a energia do sistema, até alcançarem uma distância na qual a energia é mínima (**situação III**). Nessa situação, há um equilíbrio entre as forças de atração e repulsão e os elétrons de cada um dos átomos são atraídos igualmente pelos dois núcleos dos dois átomos, chamada de comprimento de ligação. Uma maior aproximação entre os átomos (**situação IV**) provocará um aumento da energia do sistema, com conseqüente diminuição da estabilidade.

A situação III corresponde à formação de uma ligação química entre os átomos de hidrogênio. O resultado é a formação de uma molécula de hidrogênio ( $H_2$ ). Esse tipo de ligação química se dá por compartilhamento de elétrons e, como já vimos, se chama **ligação covalente**. A formação de ligações covalentes entre os átomos geralmente resulta na formação de um agrupamento de átomos denominado **molécula**.

(...) Toda vez que se forma uma ligação química, a energia do sistema diminui. Essa diminuição corresponde a uma liberação de energia do

Vinícius Catão de Assis Souza

*sistema para a vizinhança. A quantidade de energia liberada é conhecida como **energia de ligação**. De forma análoga, para que uma ligação química seja quebrada é necessário fornecer energia ao sistema. As reações químicas correspondem a rearranjos de átomos, onde algumas ligações são quebradas e outras são formadas. A quantidade de energia liberada ou consumida numa reação química vai depender do balanço entre a energia consumida para quebrar as ligações existentes nas espécies reagentes e a energia liberada na formação de novas ligações nos produtos. Frequentemente, numa reação exotérmica (que libera calor para a vizinhança), a energia liberada na formação das ligações nos produtos é maior que aquela consumida para quebrar as ligações nos reagentes. Numa reação endotérmica (que absorve calor da vizinhança), a energia necessária para quebrar as ligações existentes nas espécies reagentes é maior que a energia liberada na formação das ligações nos produtos.”* (Mortimer & Machado, 2002, p.187-188)

Considerando o texto transcrito anteriormente, poderíamos inferir que os alunos já possuíam uma idéia inicial acerca da *energia envolvida nas transformações químicas*. Porém, segundo nos relatou a professora da turma, tais aspectos energéticos não foram enfatizados anteriormente, tendo em vista os estudos sobre termoquímica que seriam realizados a posteriori. Entretanto, é importante ressaltar que muitas das idéias estudadas, como aquelas que remetem ao gráfico do *poço potencial*, por exemplo, foram retomadas pelos alunos inúmeras vezes no decorrer da estratégia. Isso foi observado quando eles recorriam ao livro para buscar alguma informação ou procuravam discutir com a professora ou um colega do grupo aspectos referentes ao conteúdo já estudado. Por fim, cabe ressaltar que todo o conteúdo estudado anteriormente serviu como um importante subsídio para que os alunos começassem a desenvolver seus modelos, contribuindo, assim, decisivamente para que eles aprendessem o tema atual de maneira mais significativa.

## **CAPÍTULO 5. O ENSINO DA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS ATRAVÉS DE MODELAGEM**

### **PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS AULAS**

A estratégia foi aplicada em seis aulas de cem minutos, perfazendo um total de doze horas/aula, incluindo as atividades de modelagem, as aulas de fechamento e as avaliações da aprendizagem. As atividades e as avaliações encontram-se nos Apêndices I a VI.

Uma descrição preliminar de todas as aulas do processo envolvendo a ordem de execução das atividades, as ações realizadas e alguns aspectos que descrevem os objetivos das mesmas em relação ao diagrama são apresentados nos quadros 1 e 2. Essa descrição tem por objetivo propiciar uma noção geral da estratégia de ensino utilizada, para que o leitor deste trabalho consiga situar os momentos que serão destacados durante o processo de análise de cada questão de pesquisa.

<b>Ordem da aula</b>	<b>Atividade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Objetivo destacado no diagrama</b>
1 <sup>a</sup>	Idéias 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 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 <sup>a</sup>	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 seqüência, 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 <sup>a</sup>	Atividade de reformulação dos modelos	Os alunos tiveram a oportunidade de reformular suas idéias em relação ao calor envolvido nas transformações químicas. Na seqüência, eles repensaram os modelos elaborados anteriormente e implementaram reformulações nos mesmos, visando uma possível aplicação às diversas reações presentes em nosso dia-a-dia.	Testar os modelos (através de experimentos mentais)
4 <sup>a</sup>	Chegando a um modelo consensual	Na seqüência, os modelos foram socializados na turma, tentando chegar a um que fosse consenso. Além disso, discutiu-se sobre as evoluções do pensamento científico ao longo da história da ciência e sobre as limitações dos modelos (em geral e do modelo consensual recém elaborado).	Testar os modelos (através de experimentos mentais) + Discutir abrangência e limitação do modelo

Quadro 1. Breve descrição das atividades de ensino 1 a 4 (*Apêndices I a IV*).

Ordem da aula	Atividade	Descrição
5 <sup>a</sup>	Apreciação final da estratégia	Momento em que os alunos tiveram a oportunidade de refletir sobre a sua própria aprendizagem e a relevância das atividades realizadas.
6 <sup>a</sup>	Avaliação final do conteúdo	Momento de avaliação da compreensão conceitual do aluno após o desenvolvimento da estratégia de ensino.

Quadro 2. Breve descrição das atividades avaliativas (*Apêndices V e VI*).

Como destacado anteriormente, os quadros 1 e 2 fornecem uma primeira noção das atividades desenvolvidas na estratégia e de seus propósitos em relação ao ensino fundamentado em modelagem. Porém, para que o leitor tenha uma compreensão mais ampla do processo empreendido naquela turma, serão ressaltados, a seguir, mais alguns detalhes das atividades desenvolvidas.

### 1<sup>a</sup> AULA: IDÉIAS GERAIS DOS ALUNOS SOBRE ENERGIA

A primeira aula começou com uma breve discussão abordando a energia em um âmbito geral, com destaque para as concepções que perpassam o senso comum. Os alunos debateram suas idéias e questões com a professora e descreveram as várias formas de energia que conheciam e os vários contextos nos quais esse termo poderia ser utilizado.

Na seqüência, fizeram a *Atividade 1* (Apêndice I) com o objetivo de mostrar as possíveis e múltiplas utilizações da palavra energia em situações distintas, seja no senso comum ou na ciência.

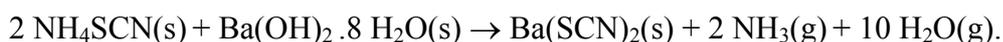
Inicialmente, foram apresentadas situações em que a palavra energia estaria associada a um contexto diferenciado do científico, como, por exemplo, no slogan apresentado no rótulo do achocolatado em pó Nescau<sup>®</sup>: “Nescau, energia que dá gosto”. Neste contexto, foi solicitada uma explicação, de acordo com os conhecimentos gerais e/ou científicos, para o significado do termo *energia* usado como estratégia de marketing do produto.

Em relação às questões apresentadas na seqüência, os questionamentos foram paulatinamente sendo direcionados para o contexto científico, buscando focalizar a atenção nos aspectos envolvendo o conceito de energia aplicado no âmbito da ciência.

Na conclusão da atividade, a professora socializou algumas idéias apresentadas pelos alunos, discutindo as diferentes possibilidades relacionadas à utilização do termo ‘*energia*’. Por fim, ela buscou direcionar a atenção para o enfoque científico da aplicação do termo em questão – foco de interesse das atividades a serem desenvolvidas posteriormente.

## **2ª AULA: ATIVIDADE PRÁTICA ASSOCIADA À CRIAÇÃO DE MODELOS PARA EXPLICAR AS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS OBSERVADAS (PROCESSOS ENDOTÉRMICO E EXOTÉRMICO)**

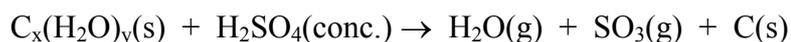
A segunda aula começou com a realização de dois experimentos, de forma demonstrativa. O primeiro apresentava uma transformação química caracterizada como endotérmica, resultante da reação do tiocianato de amônio (NH<sub>4</sub>SCN) com o hidróxido de bário hidratado (Ba(OH)<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O), conforme a descrição presente na equação química seguinte:



Os alunos observaram um resfriamento abrupto que foi sentido no contato com a parede externa do tubo de ensaio, 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 diminuição na temperatura do mesmo. Cabe ressaltar também que 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 (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) quando se adicionou ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que é um forte agente desidratante. Após a reação, houve a liberação para o ambiente de vapor d’água e trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), sendo este último percebido pela sensação irritante

causada por este gás (nos olhos, vias orais e nasais). Esta liberação do gás fez com que o carbono presente no sistema expandisse seu volume, conforme apresentado na figura 5.

Considerando-se que os carboidratos são caracterizados pela fórmula geral  $C_x(H_2O)_y$ , o processo em questão pode ser descrito pela equação não balanceada a seguir:



30 segundos após o início da reação

60 segundos após o início da reação

120 segundos após o início da reação

180 segundos após o início da reação

Figura 5. Seqüência de fotos com a evolução da transformação química ocorrida entre  $H_2SO_4(\text{conc.})$  + açúcar, em um determinado intervalo de tempo.

Com esses subsídios, os alunos começaram a elaborar modelos mentais que pudessem descrever as transformações químicas observadas na *Atividade 2*.

Inicialmente, eles foram conduzidos a pensar sobre o calor considerando a situação observada no experimento em questão. Para tanto, a questão 1 pedia que eles procurassem definir o que é calor, de acordo com os conhecimentos que possuíam.

Na questão seguinte, os alunos foram solicitados a elaborar modelos (desenhos) que buscassem demonstrar o que acontece durante o processo químico, no nível das partículas constituintes das substâncias, para que o sistema se resfrie ou se aqueça.

Após a expressão do modelo (por desenhos) e a descrição do mesmo, foi solicitado que os alunos propusessem uma explicação para o fato de algumas transformações químicas “*absorverem*” calor do ambiente e outras “*liberarem*”. Esta questão teve o objetivo de garantir uma explicação coerente com os modelos elaborados inicialmente pelos alunos, visto que as descrições feitas na seqüência dos modelos poderiam não expressar a idéia que permeia o fenômeno observado como um todo.

Por fim, foi solicitado aos alunos que tentassem explicar a *origem* do calor gerado ou absorvido nos experimentos realizados. Esta questão teve como objetivo principal garantir que os alunos expressassem suas idéias sobre o calor envolvido nas transformações químicas observadas anteriormente em nível sub-microscópico, caso

eles não tivessem pensado nisso ao responder a questão anterior. Neste momento, eles foram conduzidos a refletir sobre alguns aspectos fundamentais que perpassam as transformações químicas. Com isso, eles começaram a pensar sobre a relação da energia envolvida nos processos químicos, como as relações substancialistas (energia armazenada) e/ou as relações de estabilidades relacionadas à união entre os átomos.

Após a realização da *Atividade 2* e de uma ampla e profícua discussão entre os componentes dos grupos e a professora, os alunos expressaram seus modelos apenas por meio de desenhos. Antes da construção do modelo expresso do grupo, cada aluno, após elaborar seu modelo mental, expressou-o para seus colegas de grupo, compartilhando suas idéias na construção dos mesmos. É importante destacar que a expressão dos modelos mentais dos alunos não ocorreu somente de forma verbal. Algumas vezes, cada aluno já expressava seu modelo mental através de desenhos originais ou modificando um modelo expresso pelo colega. O resultado desse processo de expressão e discussão de modelos foi a elaboração do modelo consensual do grupo.

Após a construção desse modelo consensual, cada grupo o apresentou para a turma, explicando-o. Nesse processo, não houve qualquer intervenção por parte da professora no sentido de corrigir os modelos. Foram feitas interferências apenas para confrontar as diferenças entre os modelos e levantar questões sobre aspectos envolvidos na construção de modelos que pudessem contribuir para a explicação das idéias discutidas em cada grupo.

### **3ª AULA: ATIVIDADE DE REFORMULAÇÃO DOS MODELOS**

A terceira aula se iniciou com a recapitulação dos modelos propostos por cada grupo na aula anterior, seguida da realização da *Atividade 3* (Apêndice III). Essa atividade teve três propósitos fundamentais, descritos a seguir:

- 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, foi descrito na primeira questão um experimento em que um sistema se aquecia quando a reação se processava. Na seqüência, foram destacadas as massas dos reagentes e dos produtos e, por meio de um cálculo simples, os alunos puderam perceber que

nas duas situações em questão elas se conservavam (massa dos reagentes = massa dos produtos). Assim, os alunos poderiam concluir 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).
- Verificar se os alunos teriam a habilidade de associar e aplicar seus modelos a outros contextos onde ocorrem diferentes transformações químicas.

As questões iniciais tinham o objetivo de conduzir os alunos a uma desconstrução da idéia substancialista para o calor – que resultava em caracterizá-lo como um dos produtos de reação. Nesse sentido, buscou-se favorecer a modificação das idéias de calor como matéria visando subsidiar a construção de um novo modelo no qual tal aspecto não fosse evidenciado. Além disso, as questões direcionavam os alunos a focar o pensamento no processo das transformações químicas, destacando os rearranjos de átomos inerentes ao mesmo. Os alunos, então, deveriam manusear os modelos, desfazendo as ligações estabelecidas entre os reagentes para, em seguida, refazê-las com os outros átomos participantes do processo, levando à formação de novas substâncias (os produtos). Para a situação em questão, isso foi feito por meio de uma simulação da reação de formação da água (reação de combustão do gás hidrogênio), na qual os alunos deveriam representar uma determinada quantidade específica de reagentes e a reação entre os mesmos, evidenciando a formação dos produtos. É importante destacar que essa atividade foi surpreendente para muitos alunos, que começaram a conceber de maneira coerente os processos envolvendo as transformações químicas que resultam no aquecimento do sistema no qual ocorre a reação, indicado por um significativo aumento na temperatura do mesmo.

No final, os alunos avaliaram o modelo elaborado anteriormente para explicar o calor envolvido nas transformações químicas apresentadas experimentalmente, verificando sua coerência ou não. Aqueles que encontraram deficiências em seus modelos, tiveram a oportunidade de começar a implementar a reformulação nos mesmos, visando uma maior coerência em suas previsões.

Para finalizar, foi solicitado que eles aplicassem tais modelos em um contexto diferente: eles deveriam explicar a “origem” do calor liberado na reação de combustão do gás hidrogênio:  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

#### **4ª AULA: CHEGANDO A UM MODELO CONSENSUAL PARA A CARACTERIZAÇÃO DA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS**

Essa aula se iniciou com os componentes de cada grupo discutindo entre si os modelos reformulados, o que proporcionou uma troca de idéias entre eles, favorecendo o desenvolvimento de explicações para uma atividade considerada por nós desafiadora, pois requeria dos alunos uma articulação de suas idéias com conceitos prévios e, acima de tudo, uma grande abstração. Na seqüência, tais modelos foram socializados.

Durante a socialização dos modelos, cada grupo foi questionado sobre a relação daquele modelo com o anterior. Para isso, os alunos desenharam no quadro negro o modelo inicialmente elaborado e o modelo reformulado ao longo do processo, contrapondo suas idéias e as relações que geraram as modificações implementadas.

A apresentação dos modelos reformulados foi seguida de uma ampla discussão, com o objetivo de levantar as limitações dos modelos construídos e contrapor a aplicabilidade dos mesmos. Ao mesmo tempo, foram identificadas as características que deveriam estar presentes no modelo para explicar a energia envolvida nas transformações químicas. Isso ocorreu através de um consenso em cada um dos grupos e, posteriormente, na turma, sem a imposição de um determinado modelo científico. A professora apenas limitou-se a fazer perguntas para testar os modelos apresentados pelos alunos e permitir reflexões por parte deles.

Por fim, foi apresentado aos alunos um texto referente à *Atividade 4* (Apêndice IV) buscando concluir todos os aspectos citados anteriormente. Isto objetivou favorecer a compreensão, de forma mais sistemática, sobre o fazer ciência. Seus principais tópicos se relacionam à evolução das idéias ao longo do tempo e à limitação dos modelos em explicar todos os aspectos de um determinado processo. A discussão sobre a limitação dos modelos se deu no momento em que os alunos tentavam explicar alguns aspectos referentes aos processos endotérmicas (evidenciados pelo resfriamento do sistema), em relação aos quais eles não conseguiam entender o seguinte ponto: como o sistema

poderia *absorver* mais energia do que *liberar* se todos eles buscam um estado de maior estabilidade, ou seja, um estado de menor energia? Com esse questionamento e sua posterior discussão, os alunos concluíram que, embora os modelos possuam inúmeras limitações, podem ser boas ferramentas para descrever e explicar diferentes situações desde que sejam consideradas as suas particularidades e poder de previsão.

#### **5ª AULA: APRECIÇÃO FINAL DA ESTRATÉGIA**

O processo de ensino foi submetido a uma apreciação dos alunos através de uma atividade individual (Apêndice V) que tinha por objetivo verificar como o processo foi percebido e avaliado por eles. Nesse sentido, as questões envolviam aspectos relacionados à visão dos alunos sobre sua aprendizagem do tema químico estudado, do processo de construção de modelos e sobre o papel de modelos na ciência. Em todas as questões os alunos tiveram que justificar suas respostas apresentando argumentos consistentes que as amparassem.

#### **6ª AULA: AVALIAÇÃO FINAL DE CONTEÚDO**

Para avaliar como o conteúdo ministrado por meio da estratégia foi assimilado pelos alunos, foi aplicada uma atividade avaliativa (Apêndice VI). As questões desta atividade estão brevemente descritas no quadro 3 em termos de seus objetivos e dos conteúdos e habilidades avaliados.

Ordem das Questões	Descrição da Questão		Objetivos
	Conteúdos	Habilidades	
1 <sup>a</sup>	Energia envolvida em uma determinada transformação química; energia de ligação.	Representar a reação por meio de modelos; organizar idéias e propor explicações; associar dados quantitativos ao processo em questão.	Favorecer aos alunos pensar na energia de ligação para efetuar cálculos que conduzissem aos valores associados às variações de energia nas transformações químicas.
2 <sup>a</sup>	Energia química aplicada a diferentes contextos da natureza (ciência).	Interpretar as equações químicas e uma figura esquemática associada a elas.	Conduzir os alunos a pensar sobre as diferentes aplicações para a energia química, analisando criticamente as diferentes formas de abrangência deste conceito.
3 <sup>a</sup>	Transformação química.	Realizar uma análise crítica dos modelos elaborados por outros alunos.	Favorecer aos alunos pensar criticamente na previsão de alguns modelos e nas possíveis limitações inerentes a cada um deles.
4 <sup>a</sup>	Energia química aplicada a diferentes contextos sociais (senso comum).	Estabelecer uma análise crítica em relação a uma determinada situação do cotidiano.	Conduzir os alunos a pensar sobre as diferentes formas de abrangência do tema, buscando delimitar o significado ontológico do termo aplicado à ciência e ao senso comum.
5 <sup>a</sup>	Representação das transformações químicas.	Refletir sobre a temática em questão, caracterizar as transformações químicas e avaliar a coerência dos termos utilizados na caracterização das transformações químicas.	Demonstrar um entendimento sobre as possíveis dificuldades e limitações relacionadas às terminologias utilizadas para descrever a energia envolvida nas transformações químicas.

Quadro 3. Descrição das questões apresentadas na *Atividade 6* (Apêndice VI).

## CAPÍTULO 6. INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM DOS ALUNOS

### CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A seguir será apresentado um estudo de caso para cada um dos quatro grupos participantes desta pesquisa. Conforme destacado na discussão dos aspectos metodológicos desta pesquisa, esses estudos de caso foram escritos utilizando como fontes de dados a filmagem das aulas, o material escrito produzido pelos alunos em cada atividade, a avaliação de aprendizagem e também as impressões e anotações do pesquisador e da professora ao longo do processo de ensino.

Nos estudos de caso, cada aluno foi identificado por um código do tipo AxGy, em que x é um número de ordem, atribuído aleatoriamente aos alunos e y se refere ao grupo ao qual ele pertencia. Além disso, todas as falas dos alunos são apresentadas entre aspas duplas e marcadas em itálico sendo, assim, distinguidas das demais idéias apresentadas no decorrer do texto.

Na seqüência, os estudos de caso foram representados através de diagramas, similares aos apresentados por Ferreira (2006). Eles foram construídos para evidenciar as etapas e os elementos do processo que influenciaram a aprendizagem de cada grupo em relação aos principais conceitos relacionados à *energia envolvida nas transformações químicas*, assim como os principais atributos dos sucessivos modelos elaborados durante o processo de ensino. Todos esses aspectos estão presentes nos textos dos estudos de caso, mas a construção do diagrama favoreceu a visualização dos mesmos.

Nos diagramas, os dados estão apresentados em três colunas (não delineadas). Na coluna central encontra-se a esquematização do processo vivido por cada grupo. Os códigos aí utilizados – EEn, IPn e Mn – referem-se, respectivamente, a evidências experimentais, idéias prévias e modelos. Em todos eles, *n* é o número de ordem. Em relação aos modelos, é importante esclarecer que o número de ordem só foi modificado, isto é, só se considerou que os alunos elaboraram um modelo diferente quando os atributos essenciais do modelo, ou seja, aqueles que o caracterizam e se relacionam com as concepções centrais em termos da ocorrência das transformações químicas e das relações energéticas que permeiam o processo, foram mudados. Quando os alunos apenas acrescentaram algum elemento mais periférico (por exemplo, o detalhamento de uma idéia

diferente das concepções centrais, mas importante para o modelo como um todo), ou quando eles modificaram alguma dessas idéias, mas sem alterar as concepções centrais de um determinado modelo, a distinção foi feita acrescentando-se sucessivas apóstrofes ao código do modelo (por exemplo, M1', M1'' etc.).

Ao final do processo vivenciado pelos grupos, foi indicada nos diagramas a idéia de ter se passado um determinado tempo. Esse tempo foi o período de três semanas entre o término do processo e a realização da avaliação final de conteúdo. Durante esse período os alunos estiveram envolvidos com avaliações finais de outras disciplinas e aulas com a seqüência do conteúdo em estudo.

Na representação do processo, as principais etapas foram nomeadas (solicitação da estratégia, questionamento da professora, socialização das idéias, socialização dos modelos na turma etc.) ao longo de uma linha vertical. A única etapa não nomeada foi a discussão entre os alunos, com exceção de momentos em que estas se mostram de grande relevância para a compreensão de aspectos fundamentais ao processo. Tal opção foi feita porque essa discussão ocorreu em praticamente todo o processo. Assim, quando nenhuma outra etapa é nomeada em um segmento da linha vertical, deve-se entender que ali ocorreu discussão entre os alunos.

A representação do processo através de uma linha central não remete à idéia de linearidade do processo. Tal linha se refere à seqüência em que os dados foram registrados, isto é, ela indica a continuidade de uma idéia a partir da anterior e a influência de todas essas idéias nos modelos seguintes. Além disso, muitos acontecimentos ocorreram simultaneamente. Entretanto, a representação dos acontecimentos segue a ordem em que eles foram evidenciados nos dados disponíveis, não correspondendo exatamente à ordem em que ocorreram no processo.

O diagrama é também acompanhado de algumas informações. Na primeira coluna, são apresentadas informações que contribuem para caracterizar o processo. Os tipos de informações comuns a todos os grupos são: descrições das evidências experimentais observadas pelos alunos, resumo das idéias prévias que eles expressaram, descrição de como os modelos foram expressos e questões apresentadas pela professora. A opção por acrescentar essas informações foi feita visando evitar que o leitor tivesse que retornar ao texto do estudo de caso com freqüência.

Finalmente, na última coluna do diagrama são apresentados os atributos principais dos modelos.

A partir dos textos dos estudos de caso de cada grupo e de seus respectivos diagramas, foi feita a análise de cada caso. Tal análise buscou evidenciar como cada um dos elementos do processo de ensino contribuiu para a aprendizagem dos alunos daquele grupo, nos permitindo responder à primeira questão de pesquisa.

## GRUPO 1

### ESTUDO DE CASO

Na realização da *Atividade 1* (Apêndice I), esse grupo apresentou, inicialmente, idéias 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.” (A3G1)*

À medida que as discussões ocorreram, a professora procurou enfatizar os aspectos compatíveis com a idéia científica, tendo o objetivo de chegar a uma definição aplicada à ciência. Os alunos, então, conseguiram distinguir as idéias 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 idéias 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 seqüência, foi realizada a *Atividade 2* (Apêndice II), na qual eles deveriam começar a elaborar um modelo para tentar explicar o significado da energia química a partir de alguns aspectos observados nos experimentos (processo endotérmico e exotérmico). Todos os alunos deste grupo associaram o calor envolvido nos processos em

questão à transferência de energia cinética entre as partículas (expressão do modelo cinético molecular).

Inicialmente, eles não conseguiram criar uma explicação que atendesse à solicitação da questão para o porquê da *liberação* e *absorção* de calor nas transformações químicas apresentadas. Porém, com o acompanhamento da professora, começaram a discutir a respeito dos fenômenos que lhes foram apresentados, fazendo referência à força das ligações químicas. 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 idéia 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.” (A3G1)*

A idéia apresentada por A3G1 remete a uma concepção da 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. Para subsidiar esta idéia, os alunos recorreram ao capítulo de ligações químicas do livro didático utilizado na série e se depararam com a discussão do diagrama do poço potencial – que explica sobre a energia envolvida na formação das ligações químicas –, já estudado anteriormente.

A partir da consulta ao gráfico do poço potencial, os alunos chegaram 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 seqüência, o questionamento de um aluno fomentou uma ampla e interessante discussão entre os participantes do grupo e a professora, conforme destacamos no trecho a seguir:

A3G1: *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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tem energia?*

- A3G1: *Sim...*
- P: *Qual energia o  $H_2SO_4$  tem?*
- A3G1: *Energia cinética das moléculas.*
- A5G1: *Energia de atração...*
- A3G1: *Ele tem energia potencial?*
- P: *Sim, tem energia potencial... Então, será que esta energia não seria proveniente do  $H_2SO_4$ ?*
- A3G1: *(Aluno pensando...)*
- A5G1: *(Aluno pensando...)*
- P: *Vamos dizer... será que ele “contém”, entre aspas, esta energia potencial?*
- A3G1: *(Aluno pensando...)*
- A5G1: *(Aluno pensando...)*
- P: *E se eu fizesse essa reação em um sistema isolado? Entendem o que é um sistema isolado?*
- A3G1: *Sim...*
- P: *Será que a reação aconteceria?*
- A3G1: *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.*
- A4G1: *Mas as moléculas têm energia...*
- A3G1: *Mas não é suficiente...*
- P: *Se você tem aqui gasolina e  $O_2$ , a reação ocorre sozinha?*
- A3G1: *Não...*
- P: *Você precisa de uma faísca, por exemplo.*
- A3G1: *Faísca no motor para comprimir a gasolina...*
- P:  *$HCl$  com  $NaOH$ : acontece a reação?*
- A3G1: *Acontece...*
- A4G1: *São gasosos?*
- P: *Aquosos. Duas soluções de  $HCl$  e  $NaOH$  aquosos.*
- A4G1: *Acontece a reação.*
- P: *E a gasolina com o oxigênio?*
- A3G1: *Precisa de energia de ativação...*
- P: *Precisa, então, de certa energia de ativação.*
- A3G1: *As reações que observamos precisam de energia de ativação?*
- P: *Eu não tive que aquecer nenhuma das duas...*
- A4G1: *Será que a energia está nas partículas?*
- A3G1: *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.*

Vinícius Catão de Assis Souza

- P: *Você acha que o ácido sulfúrico naquele frasco sempre vai liberar energia?*
- A3G1: *Ele vai liberar energia até que fique estável, em que a temperatura ambiente seja a mesma.*
- P: *O que é ficar estável? Seria ficar com a mesma temperatura ambiente?*
- A3G1: *Eu esqueci a palavra ... equilíbrio térmico.*
- P: *Mas isso é ser estável?*
- A3G1: *Não.*
- P: *Equilíbrio térmico é diferente de ser estável.*
- A3G1: *(Aluno pensando...)*
- P: *O que é ser estável, de acordo com a discussão relacionada à formação das ligações químicas?*
- A1G1: *Se ele vai formar ligações, perde energia química.*
- P: *E esta energia se relaciona com o que no átomo?*
- A5G1: *Equilíbrio nas forças de atração e repulsão...*
- P: *E isto está associado com a energia que a molécula tem quando ela é formada?*
- A5G1: *Está...*
- P: *Então seria a energia potencial.*

Como evidenciado acima, a professora tentou contribuir fazendo os alunos pensarem em elementos – novos e estudados em aulas anteriores – que os ajudassem na elaboração de seus modelos mentais.

Na seqüência, o aluno A5G1 continuou com suas inquietações sobre o aquecimento do sistema resultante da junção de ácido sulfúrico com açúcar e o diálogo anterior prosseguiu:

- A3G1: *O ácido sulfúrico gera calor...*
- P: *Mas ele não gera calor sozinho.*
- A3G1: *Eu sei... mas quando acontece a reação, vai ter calor, certo?*
- P: *Certo... o calor é consequência da liberação de energia...*
- A3G1: *Isso ocorre porque as moléculas adquirem um estado de menor energia, que seria mais estável, ou não?*
- P: *Moléculas dos produtos?*
- A3G1: *Isto...*
- P: *Para elas, aquele é o estado mais estável.*
- A3G1: *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 idéia elaborada inicialmente – que se relacionava ao modelo cinético molecular. Isso favoreceu o surgimento de novas idéias para explicar as transformações químicas observadas, conduzindo-os a pensar, mesmo que superficialmente, nas possíveis relações envolvendo a quebra e a formação das ligações químicas. É importante destacar que esta idéia se apresentou, inicialmente, bastante discreta e pouco convincente para os alunos. Eles ainda insistiam em buscar explicações para as transformações químicas observadas nos experimentos tendo em vista o modelo cinético molecular. Isso pode ser observado, por exemplo, na resposta à questão 2 da *Atividade 2*. Nessa questão, ao ser solicitada 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.” (A1G1)*

Em relação à explicação para o sistema resfriado, foram expressas duas idéias distintas:

*“Os produtos têm menos energia que os reagentes. Por isso liberam energia.” (A3G1)*

*“Na situação inicial, as moléculas estão muito unidas, com pouca energia cinética. Para quebrar as ligações, elas recebem [energia] do ambiente.” (A1G1)*

O aluno A3G1 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. Por outro lado, o aluno A1G1 destacou a necessidade das ligações *receberem* energia para serem rompidas.

No momento 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 idéia baseada no modelo cinético molecular das partículas, conforme destacamos anteriormente, demonstrando que a temperatura inicial do sistema era maior do que a temperatura final. A professora, visando conduzir os alunos a 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 idéia 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 idéias 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.” (A1G1)*

É importante destacar que os alunos deste grupo demonstraram em suas respostas 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. Como apresentaram uma considerável dificuldade na representação inicial desta idéia no modelo, ao serem questionados pela professora sobre o modelo representado, a resposta dada foi a seguinte:

*“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.” (A1G1)*

Embora demonstrassem uma compreensão inicial do processo como um todo, em momento algum eles fizeram alguma referência à idéia 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 idéias expressas anteriormente destacando que, ao formar as ligações, o sistema libera energia, dando uma sensação de aquecimento, enquanto que para quebrar as ligações o sistema absorve energia, dando uma sensação de frio.

Alguns alunos, porém, expressaram outra idéia para o calor envolvido nos processos, como destacado a seguir:

*“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.” (A2G1, A4G1, A5G1)*

Na seqüência, solicitou-se aos alunos a explicação para 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* (Apêndice III) com o objetivo de conduzir os alunos a reformular suas idéias prévias e, conseqüentemente, os modelos inicialmente propostos. 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 simulassem a transformação química<sup>20</sup> proposta, apenas A4G1 atendeu corretamente a solicitação apresentada na atividade, expressando na simulação em questão o rearranjo dos átomos, ou seja, o fato de que os átomos constituintes dos reagentes se transformaram em produto(s).

A partir das representações destacadas pelos alunos, somos levados a pensar que eles ainda mantinham uma idéia fixa 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 idéia de quebra das moléculas dos reagentes para o posterior rearranjo dos átomos, formando o produto da reação.

Ao iniciarem a atividade de reformulação dos modelos, os alunos reestruturaram suas idéias, 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. Na representação do modelo, o grupo utilizou bolinhas de massinha para caracterizar os átomos constituintes do processo em destaque e palitos para representar as ligações, conforme a figura 6.

---

<sup>20</sup> Nessa questão, os alunos deveriam seguir criteriosamente as solicitações apresentadas no enunciado, realizando o processo de rearranjo dos átomos, inerentes às transformações químicas. Porém, alguns alunos, embora não seguissem os passos destacados na questão, apresentavam idéias corretas em relação ao processo como um todo. Tal questão e as possíveis dificuldades apresentadas pelos alunos em sua resolução serão discutidas posteriormente.

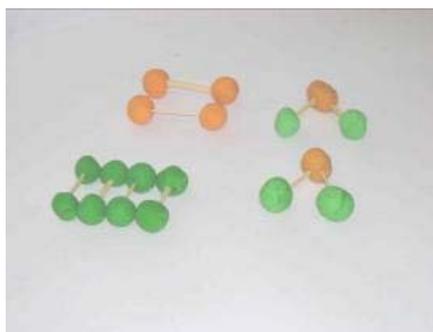


Figura 6. Modelos elaborados pelos alunos de G1 para descrever a transformação química.

Na reformulação dos modelos, os alunos apresentaram o desenho destacado na figura 7.

NOVO MODELO PARA O SISTEMA AQUECIDO			NOVO MODELO PARA O SISTEMA RESFRIADO		
Antes	DURANTE	DEPOIS	ANTES	DURANTE	DEPOIS
<p>                     O → SACAROSE                      Δ → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>                      X → QUEBRA AS LIGAÇÕES DOS REAGENTES                      ~ → H<sub>2</sub>O(l)                      S → H<sub>2</sub>O(g)                      Z → SO<sub>2</sub>                      W → CALOR                 </p>			<p>                     ◇ → Ba(OH)<sub>2</sub>                      ○ → NH<sub>4</sub>SCN                      ~ → H<sub>2</sub>O                      X → QUEBRA                      W → CALOR                      Δ → NH<sub>3</sub>                      U → Ba(SCN)<sub>2</sub> </p>		

Figura 7. Modelos reformulados pelos alunos de G1 para a explicação do sistema aquecido e resfriado.

Na seqüência, os alunos deram a seguinte explicação para a idéia contida no mesmo:

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 foi solicitado que eles utilizassem seus modelos na explicação de outra reação proposta [ $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ], os alunos aplicaram corretamente a idéia 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.

Por fim, eles socializaram seus modelos com a turma, destacando inicialmente o modelo cinético molecular das partículas 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 idéia coerente em relação à *absorção* de energia (associada à quebra da ligação) e à *liberação* de energia (associada à formação da ligação), concebendo a idéia de saldo energético final para o processo, fundamental na caracterização dos aspectos termoquímicos envolvendo as transformações químicas. Além disso, os alunos constataram uma limitação em seus modelos para explicar as transformações químicas caracterizadas com endotérmica, 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 (Apêndice VI), os alunos deste grupo demonstraram saber representar coerentemente uma reação por meio de modelos (pequenas esferas associadas aos átomos).

Ao serem solicitados a propor uma explicação, em nível sub-microscópico, para o fato de a energia ter sido *gerada* em um processo exotérmico, eles apresentaram algumas idéias distintas, caracterizadas e exemplificadas nas passagens a seguir:

- Correto entendimento das transformações químicas, destacando os rearranjos dos átomos por meio da quebra e formação das ligações:

“*Absorção de energia na quebra das ligações e liberação de energia na formação das ligações.*” (A2G1, A5G1);

- Entendimento parcial e limitado das transformações químicas:

*“Gerou energia, pois absorveu menos do que liberou [durante a transformação química].” (A4G1);*

- Concepções gerais envolvendo as transformações químicas:

*“Energia necessária para formar novas ligações é inferior à ganha para rompê-las (libera energia que sobrou).” (A3G1) e*

*“Energia potencial armazenada é utilizada para quebrar as ligações.” (A1G1).*

Quando solicitados a manipular os dados fornecidos para o cálculo da energia de ligação dos produtos, somente A3G1 e A4G1 conseguiram articular corretamente os dados da questão, demonstrando um raciocínio coerente no desenvolvimento dos cálculos. É importante destacar que os demais alunos, embora tenham utilizado um raciocínio coerente, não chegaram a uma resposta correta por desconsiderarem detalhes matemáticos fundamentais ao cálculo do processo.

Os alunos foram solicitados também a explicar o que compreendiam por energia química, levando em consideração 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*) ou energia *“armazenada”* nas substâncias (ligações), conforme destacado por A5G1. 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 (A1G1, A2G1, A4G1 e A5G1) ressaltaram que nas reações químicas modeladas a energia envolvida não havia sido considerada. O outro aluno (A3G1), 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.” (A3G1)*

Porém, quando questionados sobre a coerência dos modelos que não representavam a energia envolvida no processo, três alunos (A2G1, A4G1 e A5G1) 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 (A1G1 e A3G1) 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.

Na questão seguinte, foi apresentada uma imagem de um carro próximo a uma bomba de combustível juntamente com a afirmativa de que ela havia sido associada à energia química, seguida da solicitação de que os alunos expressassem sua opinião sobre a adequação ou não da mesma. Nenhum aluno considerou a imagem adequada, destacando que o desenho permitia estabelecer associações incorretas com o significado real de energia química. Porém, quando solicitados a propor uma explicação para a associação desse desenho com aquilo que se convencionou chamar de *energia química*, os alunos foram unânimes em dizer apenas que ocorre uma reação de combustão, produzindo energia para movimentar o carro.

Para finalizar, foi disponibilizada a equação de queima do álcool e solicitado que os alunos propusessem uma explicação a um colega de turma a respeito da liberação de energia na queima do mesmo. Três alunos deste grupo (A1G1, A2G1 e A4G1) associaram a explicação à quebra e formação das ligações. O aluno A5G1 se referiu à estabilidade do sistema com a liberação de energia, enquanto A3G1 disse, sem maiores explicações, que nem toda a energia envolvida (*absorvida*) no processo é usada, sendo que o excedente é *liberado* para o ambiente, conforme destacado na passagem 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.”*  
(A3G1).

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”* (A1G1), pela palavra *“descarta”* (A5G1) e pela expressão *“devolve a energia para o meio”* (A3G1). Porém, A2G1 e A4G1 disseram ser coerente utilizar a palavra *libera* para caracterizar o processo final relativo ao sistema exotérmico.

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

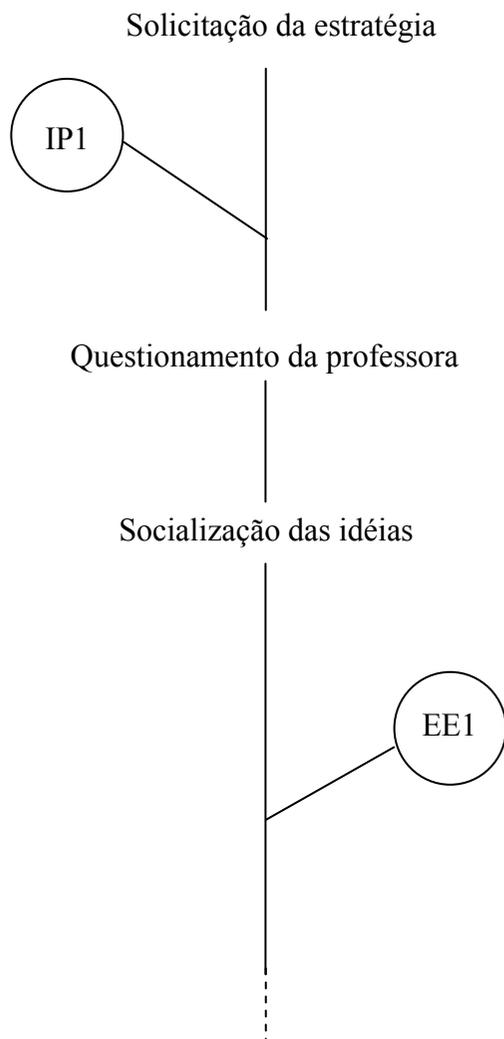
Idéias gerais sobre energia.

- Energia associada à eletricidade, força, vigor físico, disposição.
- Energia é um conceito abrangente e complexo, difícil de ser expresso.
  
- Vocês já ouviram falar na expressão *energia química*? O que ela significa?
  
- Energia não tem massa, sempre se conserva e pode ser transformada.
- Energia química associa-se às reações químicas.

Atividade experimental demonstrativa.

- Sistema açúcar +  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.})$ : *aquecido*.
- Sistema  $\text{NH}_4\text{SCN}$  +  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ : *resfriado*.

## PROCESSO



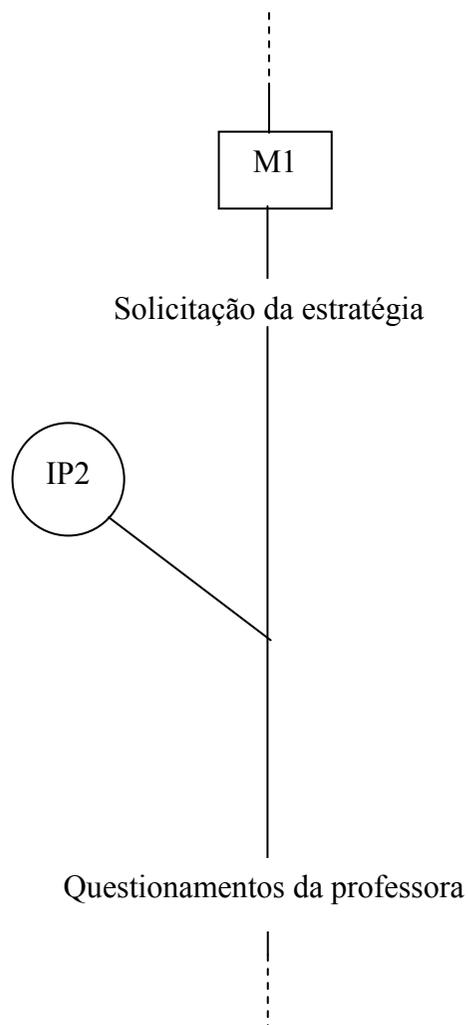
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Idéias gerais sobre calor.

- Calor associado à força das ligações químicas, que podem absorver muita ou pouca energia para serem desfeitas.
- Estabilidade das substâncias ao se estabelecer as ligações químicas (gráfico “poço potencial”).
  
- Será que o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tem energia?
- O  $\text{H}_2\text{SO}_4$  no frasco *libera* energia?
- O que é ser estável, de acordo com a discussão relacionada à formação das ligações químicas?

## PROCESSO

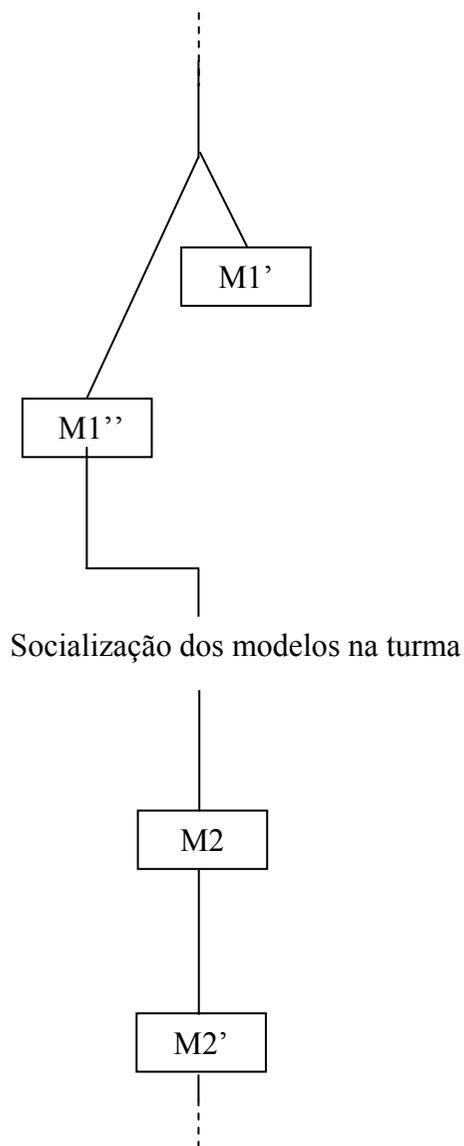


## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Calor como transferência de energia cinética entre as partículas.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

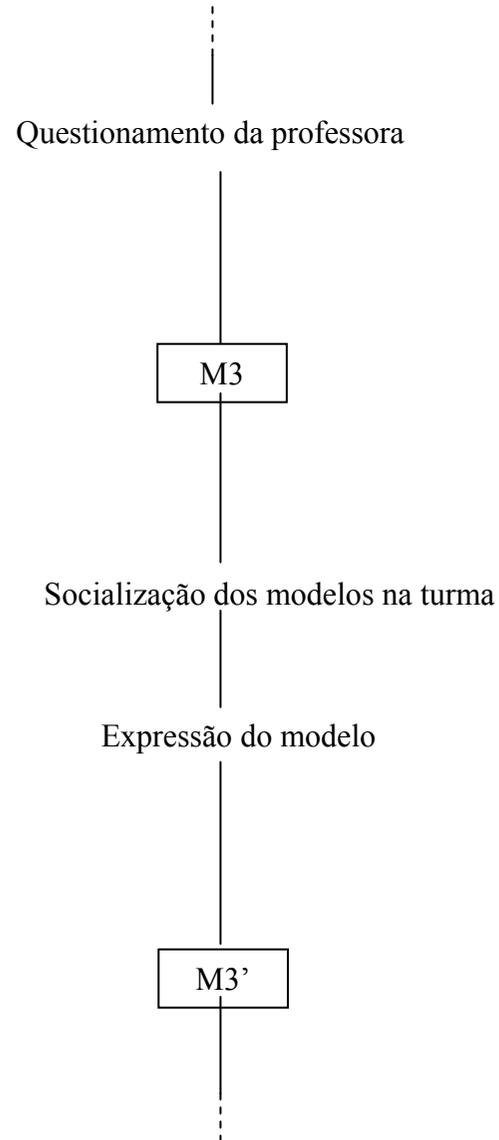
- Energia associada às forças das ligações (atração e repulsão quando a molécula é formada).
- Calor é *liberado* quando as moléculas ficam com menor energia, isto é, mais estáveis.
- No início, as moléculas estão muito unidas, com pouca energia cinética. Para quebrar as ligações, elas recebem energia do ambiente.
- Os produtos têm menos energia do que os reagentes, *liberando* a energia excedente.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Como a temperatura inicial pode ser maior que a temperatura final se no início os componentes do sistema estavam todos à temperatura ambiente?

- Representação do modelo por meio de desenhos.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Quando ocorre a quebra das ligações, o sistema *absorve* energia.
- Quando ocorre a formação das ligações, o sistema *libera* energia.

- Quando ocorre a formação da ligação, o sistema *libera* energia.
- Quando ocorre a quebra da ligação, o sistema *absorve* energia.
- Em relação ao calor absorvido, ele se origina do ambiente.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Dados empíricos para que os alunos concluíssem que as massas se conservam em uma transformação química (processo exotérmico) e que energia não tem massa.
- Elaborar um modelo (desenho) para simular a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio, representada pela equação:  
$$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}).$$
- Utilização de massa de modelar, formando moléculas e simulando a ocorrência da transformação química.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Reagentes e produtos coexistem nas representações em questão, mesmo depois de toda a transformação química ter se processado.
- Átomos se rearranjam no decorrer do processo, para que os reagentes se transformem em produtos.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

Socialização do modelo

M5

Solicitação da estratégia

- Utilizar o modelo elaborado inicialmente para explicar uma transformação química (combustão do gás hidrogênio).
- $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .
- Explicação coerente utilizando M5.

- A energia *absorvida* na quebra das ligações e *liberada* na formação das mesmas se associa a um saldo energético final.
- Quando o saldo é positivo, o sistema se aquece, *liberando* energia ao final do processo.
- Quando o saldo é negativo, o sistema se resfria, caracterizando uma maior *absorção* de energia no processo.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Na discussão final, o grupo utilizou M5, enfatizando que as transformações químicas ocorrem por meio da *absorção* de energia para quebrar as ligações e *liberação* de energia na formação das mesmas.
- Em relação ao saldo energético final do processo (endotérmico ou exotérmico), os alunos identificaram que ele é caracterizado pela energia *absorvida* e *liberado* no decorrer do mesmo.
- Limitação do modelo para explicar os processos endotérmicos, pois se as substâncias buscam um estado de maior estabilidade, os produtos não poderiam ter mais energia do que os reagentes, como verificado nos processos endotérmicos.

## PROCESSO

Discussão final com a turma

Reconhecimento de limitação

Tempo

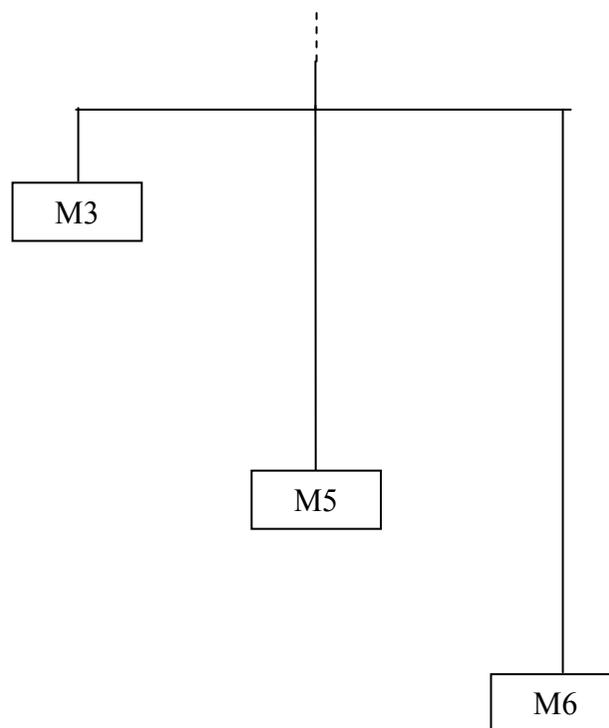
Avaliação

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS



- Numa reação ocorre rearranjo dos átomos (*absorção* de energia para quebrar as ligações dos reagentes e *liberação* de energia na formação das ligações dos produtos).
- Numa reação ocorre rearranjo dos átomos (*absorção* de energia para quebrar as ligações dos reagentes e *liberação* de energia na formação das ligações dos produtos).
- Existe um saldo energético final.
- A energia *liberada* nas transformações químicas estava armazenada nas substâncias.

#### ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

A partir da análise do diagrama construído para o estudo de caso do grupo 1, é possível constatar que todas as duas evidências empíricas apresentadas ao longo do processo foram importantes para a introdução de novas informações sobre as transformações químicas em estudo. Além disso, as intervenções da professora permitiram fomentar discussões entre os alunos através de novos subsídios para que eles pensassem em todo o processo. Isso favoreceu a elaboração ou reformulação de um modelo pelo grupo diante da percepção de novos elementos, teste do modelo anterior ou percepção de alguma inconsistência do modelo construído.

As evidências experimentais 1 (EE1) tiveram o objetivo de introduzir um dado experimental que instigasse os alunos a elaborar uma idéia que o explicasse. A observação das evidências empíricas também levou o grupo a buscar em seus conhecimentos prévios elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações. Isso ocorreu a partir dessas EE1, que fizeram o grupo iniciar uma discussão sobre a idéia envolvendo o conceito do calor. Os alunos recorreram à definição de calor estudada na química, em conteúdos anteriores, para expressar o que entendiam por essa entidade em questão. Para eles, o calor estava associado à força das ligações químicas, que absorvem muita ou pouca energia para serem desfeitas.

As evidências experimentais 2 (EE2) tinham o objetivo de permitir aos alunos reformular uma possível idéia de calor como substância, indicando que há a conservação das massas em uma transformação química, mesmo depois que o calor é liberado ao final do processo.

Os questionamentos promovidos pela professora, pelo próprio grupo e propostos nas atividades realizadas pelos alunos constituem também elementos bastante relevantes para o desenvolvimento do processo, pois levaram os alunos, por exemplo, à busca de novas informações que subsidiaram a construção de 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 conseqüente reformulação do modelo. Alguns questionamentos e discussões levaram à recapitulação de idéias prévias que pudessem ser aplicadas na construção e/ou explicação dos modelos (como aconteceu, por exemplo, nas transições de M1'' para M2 e de M2' para

M3). Finalmente, a socialização dos modelos na turma foi essencial para que os alunos percebessem as possíveis inconsistências nos mesmos.

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

A expressão concreta dos modelos contribuiu na explicitação das idéias 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 (M1, M1' e M1''), 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 idéia baseada no modelo cinético molecular das partículas, demonstrando que a temperatura inicial do sistema era maior do que a temperatura final. E 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. É importante destacar que tal idéia 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 idéia 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.

Cabe ressaltar que 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, é importante destacar que a reação mostrada na figura 5,

envolvendo 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 conceberem uma coerência nas idéias apresentadas (quanto maior o calor, maior será a agitação molecular e, conseqüentemente, maior a expansão no volume do sistema). Tal explicação, embora coerente, não se aplica às transformações químicas em estudo por não contemplar os processos de quebra e formação das ligações. Ela se associa à expansão de gases com o aumento da temperatura, estudada mais detalhadamente na física.

Ao iniciarem a atividade de reformulação dos modelos, os alunos reestruturaram suas idéias, 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 agora, isto é, que foi mais fácil reformular os modelos inicialmente criados considerando-se essas idéias. Tal facilidade parece estar associada à construção dos modelos com materiais concretos (massa de modelar, palitos, lápis de cor, entre outros). De acordo com A2G1, “*ao construir os modelos para a reação, fica mais fácil de entendermos o que acontece na prática.*”. Ou seja, a manipulação dos modelos permite os alunos conceber a idéia 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 transformarem no(s) produto(s).

Embora demonstrassem uma compreensão inicial do processo como um todo, até então eles não haviam feito referência à idéia de saldo energético final do sistema, caracterizando os processos em estudo como endotérmico ou exotérmico. Porém, é importante destacar que, com a reformulação dos modelos, a idéia 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). Entretanto, verificamos que a relação energética estabelecida inicialmente não foi correta, 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). Tal associação se mostra incoerente, pois no processo exotérmico os produtos terão menos energia ( $H_P$ ) que os reagentes ( $H_R$ ), o que

resultará em um saldo energético final negativo, conforme pode ser confirmado com a expressão matemática que resume a lei de Hess<sup>21</sup> ( $\Delta H = H_P - H_R$ ). Essa diferença de energia (ou entalpia) entre os reagentes e produtos é explicada pelo fato dos átomos dos reagentes se rearranjarem formando produto(s) com maior estabilidade energética. E quanto maior a estabilidade, menor a energia. 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.

Por fim, eles socializaram com a turma seus modelos reformulados, lembrando inicialmente o modelo cinético molecular das partículas 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, permitiram que eles reformulassem seus modelos, assumindo uma idéia referente à *absorção* de energia para a quebra da ligação e da *liberação* de energia associada à formação da ligação. Isto deveria levá-los a conceber a idéia de saldo energético final para o processo, fundamental na caracterização termoquímica dos processos envolvendo as transformações químicas.

Em relação à avaliação final, os alunos desse grupo evidenciaram que não tinham uma idéia substancialista, com exceção de A5G1 que ressaltou a idéia de que a energia liberada nas transformações químicas estava armazenada nas substâncias.

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. 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 energética existente entre os produtos e os reagentes que, se positivo, indicaria um processo endotérmico e, se negativo, indicaria um processo exotérmico.

---

<sup>21</sup> A conservação da energia é a base da lei de Hess, que afirma: *se uma reação for a soma de duas ou mais reações, a variação de entalpia,  $\Delta H$ , do processo todo é igual à soma dos valores das variações de entalpia das reações parciais*. É importante ressaltar que a lei de Hess apresenta coerência teórica porque a variação de entalpia numa reação é uma função de estado, isto é, é uma grandeza que está determinada apenas pelo estado do sistema. *A variação de entalpia numa mudança química ou física não depende do caminho que leva das condições iniciais até as condições finais*. Qualquer que seja a maneira pela qual se passa uma reação, o calor desprendido ou absorvido (a pressão constante) tem sempre o mesmo valor (Kotz & Treichel, 1998).

Em relação aos modelos finais, os alunos A1G1, A2G1 e A4G1 utilizaram na avaliação as idéias apresentadas anteriormente no modelo M3, destacando o rearranjo de átomos, sem a idéia do saldo energético final.

O aluno A3G1, por sua vez, utilizou em sua avaliação a idéia contida no modelo M5, destacando o rearranjo dos átomos e indicando um saldo energético ao final da transformação química, caracterizando o processo final.

Por fim, o aluno A5G1 ressaltou em seu modelo final que a energia *liberada* na transformação química estava armazenada nas substâncias para que elas ficassem mais estáveis. Tal idéia, conforme destacado anteriormente, parece indicar uma concepção substancialista ainda persistente: a energia seria algo físico que estaria *acondicionada* em um sistema.

Em termos do processo como um todo, cabe ressaltarmos que o envolvimento dos alunos com a estratégia em questão permitiu que eles desenvolvessem habilidades que os favoreceram na articulação das idéias. Porém, ao final da estratégia, os alunos demonstraram conceber de forma elucidativa as transformações químicas em estudo, embora a maioria deles não associasse corretamente a idéia de saldo energético final. Acreditamos que tal fato se deve, pelo menos em parte, a eles terem demonstrado uma idéia 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 a estratégia, eles passaram a conceber a idéia inerente à quebra e formação das ligações nas transformações químicas, podendo assumir uma postura mais crítica frente às diferentes representações destacadas 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 estudos.

## **GRUPO 2**

### ESTUDO DE CASO

Este grupo apresentou, inicialmente, algumas idéias sobre energia relacionadas à eletricidade, alimentos e atividades físicas. Quando foi solicitado que expressassem a

idéia de energia presente na estratégia de marketing utilizada pelo achocolatado Nescau<sup>®</sup>, todos foram unânimes em dizer que este é um produto que proporciona a aquisição de energia para realizar atividades físicas, por ter substâncias importantes relacionadas ao metabolismo. Para enfatizar tal idéia, um aluno disse em um determinado momento da discussão: “*O Nescau no seu corpo vai produzir energia.*” (A5G2).

Todas as idéias expressas inicialmente estavam relacionadas ao senso comum, sem um enfoque científico. Apesar disso, quando os alunos tentaram trazer o conceito para o contexto da ciência, eles apresentaram algumas idéias relacionadas aos conceitos abordados na física, como “*capacidade de realizar trabalho*”, “*algo que pode ser conservado/transformado*” e “*as diferentes formas de energia em que se apresentam (energia cinética, potencial elástica e gravitacional)*”.

Ao serem questionados sobre o termo *energia química*, todos disseram já o conhecer e que, para eles, o mesmo estava associado às reações químicas.

Na seqüência, os alunos observaram o experimento que fomentou a elaboração dos modelos na *Atividade 2* (Apêndice II). Todos relacionaram o calor à transferência de energia entre os corpos ou, como definiram em suas próprias palavras, “*energia em trânsito*”. Tal idéia foi trazida da parte termodinâmica estudada na física.

No momento da elaboração do modelo que buscasse demonstrar o que acontece no nível das partículas constituintes das substâncias para que durante o processo químico o sistema seja resfriado ou aquecido, os alunos expressaram, em seus desenhos, idéias focadas no modelo cinético-molecular. Eles indicaram, por meio de setas, a *absorção* e *liberação* de calor. No decorrer da atividade, eles discutiram intensamente a origem da energia *liberada* para o ambiente e da energia utilizada para quebrar as ligações. Em suas explicações, destacaram que:

- no sistema aquecido,

*“a energia de ligação é alta. Assim, quando se quebra a ligação absorve pouca [energia], mas quando formam-se novas ligações não é necessário muita energia, causando uma liberação. Libera para o ambiente a sobra de energia.”* (A2G2);

- no sistema resfriado, há absorção de energia. Porém, um aluno ressaltou que:

Vinícius Catão de Assis Souza

*“A energia utilizada durante a reação é maior que a energia armazenada pelo sistema. Dessa forma, o sistema absorve energia para suprir essa deficiência de energia.” (A3G2).*

Em relação a este modelo inicial, é interessante destacar que o aluno A4G2 discutiu o mecanismo da reação por meio de uma analogia representando a interação com dois colegas do grupo: *“eu separo dela para juntar com ele, pois tem menos energia”*. A professora, por sua vez, ressaltou que esta analogia deveria ser repensada, visto que a atração entre os átomos não é algo físico, conforme ele propunha. Na seqüência, porém, esta idéia não foi retomada/aproveitada pelo aluno na construção do seu modelo, tendo permanecido apenas como parte significativa do contexto dialógico, propiciado pela estratégia de ensino, que se estabeleceu na interação da sala de aula. Além disso, este foi um momento privilegiado para o grupo e o aluno, em especial, (re)pensarem suas idéias e, conseqüentemente, começarem a tentar explicar a energia envolvida nas transformações químicas em estudo.

Em seguida, quando solicitados a propor uma explicação para o fato de algumas reações *liberarem* calor enquanto outras o *absorvem* do ambiente, os alunos A4G2 e A5G2 não conseguiram propor uma explicação efetiva. Os demais, por sua vez, destacaram as idéias de que para formar as ligações, o sistema *libera* energia (sensação de aquecimento) e para quebrar as ligações, o sistema *absorve* energia (sensação de frio). Isso pode ser evidenciado pela seguinte resposta:

*“Durante as reações, algumas moléculas precisam quebrar as ligações para reagirem com outras substâncias. Por isso elas absorvem calor, sendo que esta energia é consumida na reação resfriando o sistema.*

*Quando há liberação de energia é porque após a reação a energia dos produtos ainda é grande. Como o estado de menor energia é o mais estável, o sistema tende a perder energia.” (A3G2)*

No momento em que foi solicitada uma explicação para origem do calor nos processos químicos em questão, apenas A2G2 destacou que o calor liberado é oriundo da formação das ligações químicas. Todos os demais alunos ressaltaram que a energia interna dos produtos é superior à necessária para que o sistema fique estável (excesso de energia nos produtos), conforme destacado a seguir:

*“Todas as moléculas possuem uma energia interna. Quando a energia interna de cada substância é insuficiente para a ocorrência da*

*reação, o sistema absorve energia. Quando a energia dos produtos é superior à necessária para que o sistema fique estável, há geração de calor.” (A1G2)*

Em relação ao calor absorvido no processo, os alunos A2G2, A4G2 e A5G2 associaram sua origem ao ambiente. Os demais, por sua vez, responderam que a energia interna das moléculas seria insuficiente para a ocorrência da reação, sem dar uma explicação mais detalhada para o significado da idéia apresentada.

Na apresentação e discussão dos modelos inicialmente elaborados para os sistemas aquecido e resfriado, os alunos os representaram por meio de desenhos reproduzidos no quadro negro (figura 8). É importante destacar que eles demonstraram uma compreensão sobre as transformações químicas, indicando em seus desenhos símbolos diferentes para a representação dos reagentes e dos produtos. Porém, inicialmente não apresentam nenhuma idéia de como se processa a transformação dos reagentes em produtos.

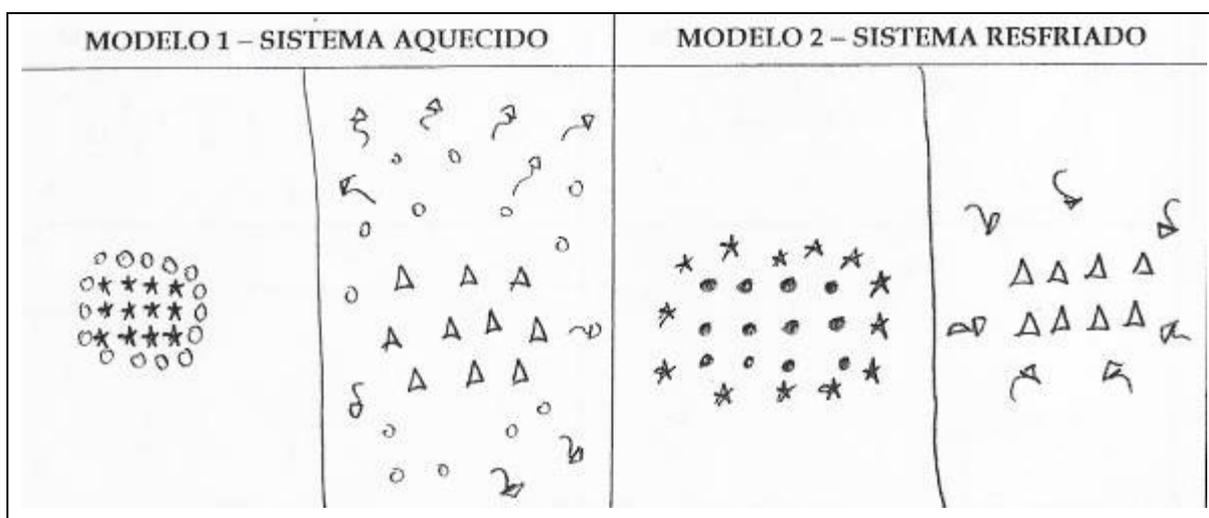


Figura 8. Modelos criados pelos alunos de G2 a partir de evidências experimentais.

Para o sistema aquecido, eles destacaram que há *liberação* de energia (saldo negativo de energia). Para o sistema resfriado, destacaram que há *absorção* de energia para adquirir estabilidade. A professora, oportunamente, chamou a atenção para as relações energéticas expressas pelo gráfico do poço potencial, que já havia sido estudado no capítulo de ligações químicas, destacando que o ponto mais baixo do gráfico (o “poço”) é o ponto de menor energia, correspondente à formação das ligações, conforme descrito anteriormente.

Quando os alunos foram solicitados a reformular seus modelos (*Atividade 3 – Apêndice III*), inicialmente eles foram unânimes em demonstrar uma ampla compreensão sobre a conservação das massas em uma transformação química, sendo que alguns deles até citaram o Princípio de Lavoisier<sup>22</sup>, descrevendo seu enunciado. Além disso, eles conceberam bem, a priori, a idéia de que energia não é matéria e, portanto, não tem massa.

Quando foi solicitado que criassem modelos para simular a ocorrência de uma transformação química, nenhum dos alunos deste grupo representou o rearranjo dos átomos na resposta da questão. Em outras palavras, eles não expressaram a formação dos produtos com a utilização dos átomos presentes nos reagentes. A representação de tal rearranjo na ocorrência do processo demonstraria uma compreensão de que os reagentes se transformam em produtos. Porém, eles simplesmente preencheram todo o quadro da segunda questão, destacando uma representação estática das equações químicas, similar à apresentada em diversos materiais didáticos e situações de ensino, na qual, mesmo após as reações terem ocorrido, os reagentes ainda permanecem com sua representação inalterada na equação, não demonstrando a dinamicidade do processo (figura 9). Porém, é importante destacar que eles representaram corretamente a estequiometria da reação, confirmando suas afirmativas anteriores sobre a conservação das massas.

---

<sup>22</sup> O Princípio de Lavoisier é geralmente enunciado como: “Na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”.

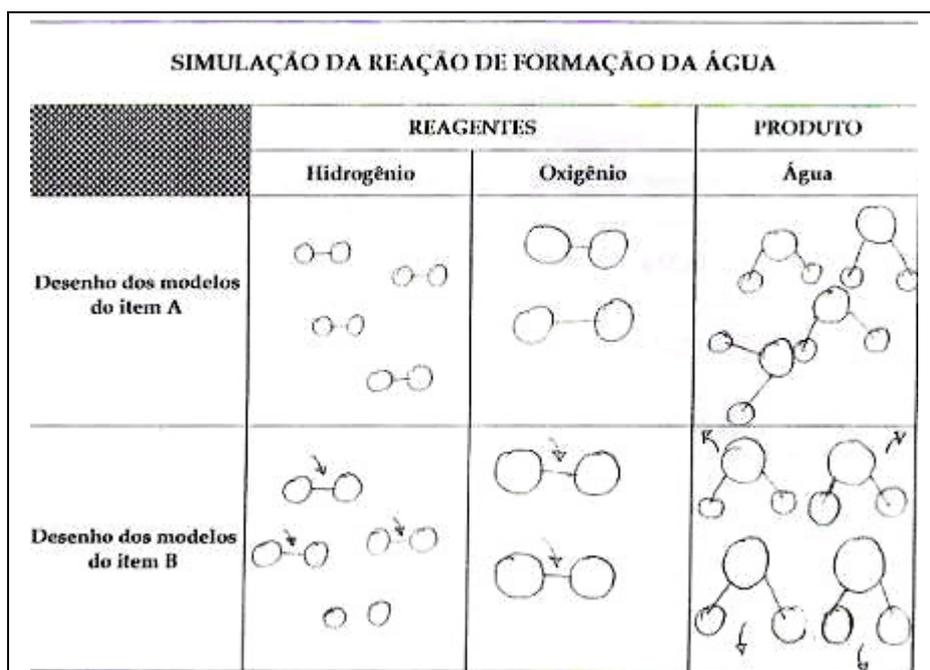


Figura 9. Modelos propostos pelos alunos do G2 na Atividade 3.

Ao serem questionados pela professora, no decorrer da atividade, sobre o que deveria acontecer com os reagentes e os produtos durante a reação, todos citaram a quebra das ligações existentes nas moléculas dos reagentes e o posterior rearranjo dos átomos, levando à formação do produto.

Ao reformular seus modelos, então, os alunos fizeram representações buscando evidenciar a quebra das ligações nos reagentes e a *liberação* de energia na formação dos produtos. Em suas explicações para o sistema aquecido, destacam-se as seguintes idéias:

*“Todos os reagentes possuem uma energia interna (energia de ligação). Ela é usada para romper as moléculas (sic) as quais se reorganizam (conforme as forças de atração e repulsão). Os produtos são formados e há grande liberação de energia (a quantidade necessária de energia para romper as moléculas (sic) dos reagentes é menor do que a liberada na formação dos produtos).” (A1G2)*

*“A energia necessária para quebrar as ligações das moléculas é menor que a energia que o sistema tem. Assim, há uma sobra de energia, liberando calor.” (A2G2)*

*“O sistema absorve energia para quebrar as ligações. Os átomos se reorganizam e após a formação dos produtos, liberam energia. O sistema fica aquecido porque libera mais energia do que absorve.” (A3G2, A4G2, A5G2)*

Tais respostas apresentam idéias referentes à quebra e formação das ligações, que não haviam sido expressas pelos alunos no modelo inicial.

Em relação ao sistema resfriado, as respostas foram muito semelhantes àquela apresentada anteriormente para o sistema aquecido, isto é, os alunos utilizaram os mesmos argumentos, mas considerando as especificidades referentes ao processo (*absorção* de energia).

Ao serem solicitados a aplicar seus modelos a outro sistema (combustão do gás hidrogênio), explicando a origem do calor *liberado* nessa reação, apenas o aluno A5G2 não conseguiu fazer a associação. Os demais destacaram diferentes aspectos em relação à origem da *liberação* do calor, conforme as passagens a seguir:

*“Absorção de energia para romper as ligações e liberação de energia na formação de novas ligações.” (A1G2 e A4G2)*

*“O calor gerado vem da energia cinética e potencial existente na molécula.” (A2G2)*

*“A energia dos reagentes é menor que a energia dos produtos, ocasionando liberação de energia.” (A3G2)*

Em relação à avaliação do conteúdo (Apêndice VI), na questão 1 nenhum dos alunos conseguiu utilizar os dados fornecidos no enunciado para o cálculo da energia de ligação do produto referente à reação entre o  $H_2(g)$  e o  $F_2(g)$ .

Quando foi solicitado aos alunos que propusessem uma explicação, em nível sub-microscópico, para o fato de a energia ter sido *gerada* no processo exotérmico, eles novamente apresentaram idéias diferenciadas:

- Correto entendimento das transformações químicas, destacando os rearranjos dos átomos por meio da quebra e formação das ligações:

*“Absorção de energia na quebra das ligações e liberação de energia na formação das ligações.” (A3G2 e A5G2)*

- Entendimento parcial das relações energéticas que permeiam as transformações químicas:

*“Gerou energia, pois absorveu menos do que liberou.” (A1G2)*

- Concepções gerais que permeiam as transformações químicas e as relações energéticas envolvendo o processo:

Vinícius Catão de Assis Souza

*“Energia interna de cada reagente é utilizada na quebra dos mesmos e a energia de ligação dos produtos é inferior à quantidade que ‘sobra’ na quebra dos reagentes.” (A2G2)*

*“Os reagentes possuíam mais energia que os produtos.” (A4G2)*

Em relação à questão 2, ao explicar o que compreendiam por *energia química*, a partir de um diagrama de respiração e fotossíntese e de suas respectivas equações químicas, os alunos A3G2 e A4G2 disseram ser *“a representação da energia envolvida nas reações químicas (liberada ou absorvida)”*; A1G2 se referiu à *“energia armazenada nas substâncias (ligações)”*; A2G2 se remeteu à *“energia necessária para romper ou estabelecer ligações”* e A5G2 associou a energia química à *“energia liberada pela molécula de glicose, através do ATP”*. Além disso, os alunos A4G2 e A5G2 afirmaram que era necessário indicar a energia envolvida no sistema como produto da reação.

Na questão 3, que solicitava a análise de dois modelos representando a reação de combustão do gás hidrogênio, os alunos A2G2, A3G2 e A5G2 ressaltaram que a energia envolvida nas reações químicas não havia sido considerada nos modelos analisados. Os alunos A2G2, A3G2 e A4G2 disseram que tais modelos não eram coerentes, ressaltando a importância de se representar a energia envolvida nos processos químicos (quebra e formação das ligações). Os outros dois alunos disseram que a representação era coerente, ressaltando, como justificativas, *“a complexidade para se representar algo não material (energia) com recursos materiais (massa de modelar, palitos etc.)”* (A1G2) e o objetivo da representação química como sendo o de *“mostrar a conservação das massas e a organização das moléculas”* (A5G2).

Na questão 4, na qual se apresentou um desenho de um carro próximo a uma bomba de combustível associado com a energia química, todos os alunos afirmaram que o desenho permitia estabelecer relações incorretas com o significado real de *energia química*. Porém, ao proporem uma explicação para a associação desse desenho com aquilo que se convencionou chamar de *energia química*, os alunos A2G2, A3G2 e A5G2 disseram que o desenho poderia sugerir a ocorrência da reação de combustão, produzindo energia para movimentar o carro. Os outros dois alunos, por sua vez, afirmaram que *“a energia é utilizada para aumentar a energia interna do motor, provocando movimento”* (A1G2) e que *“a energia química é a energia proveniente das ligações e interações entre os átomos”* (A4G2).

Na questão 5, solicitou-se aos alunos que propusessem uma explicação relacionada à *liberação* de energia na queima do álcool. Um aluno associou a explicação à “*quebra e formação das ligações*” (A2G2), dois alunos se referiram à “*estabilidade do sistema com a liberação de energia*” (A1G2 e A5G2) e os outros dois disseram que “*nem toda a energia envolvida (absorvida) no processo é usada, sendo que o excedente é liberado*” (A3G2 e A4G2). Todos os alunos utilizaram explicações coerentes com o modelo científico, tendo em vista os conhecimentos que construíram nas atividades realizadas. Porém, é importante destacar que, apesar de distintas em termos do argumento central, todas as explicações convergiram para um ponto em comum: as justificativas para a ocorrência das transformações químicas como um processo dinâmico de rearranjo dos átomos.

Quando questionados sobre a substituição da palavra *libera* por alguma outra que melhor representasse o que ocorre no sistema, dois alunos responderam que ela poderia ser substituída por “*saldo de energia ao final da reação*” (A2G2) e pela palavra “*desprende*” (A4G2), embora esta última ainda mantenha a idéia da energia armazenada ou guardada no sistema (idéia substancialista de energia, como se ela estivesse materialmente acondicionada em um sistema). Os outros três alunos disseram ser coerente a utilização da palavra *libera* para representar o processo final que ocorre no sistema exotérmico.

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

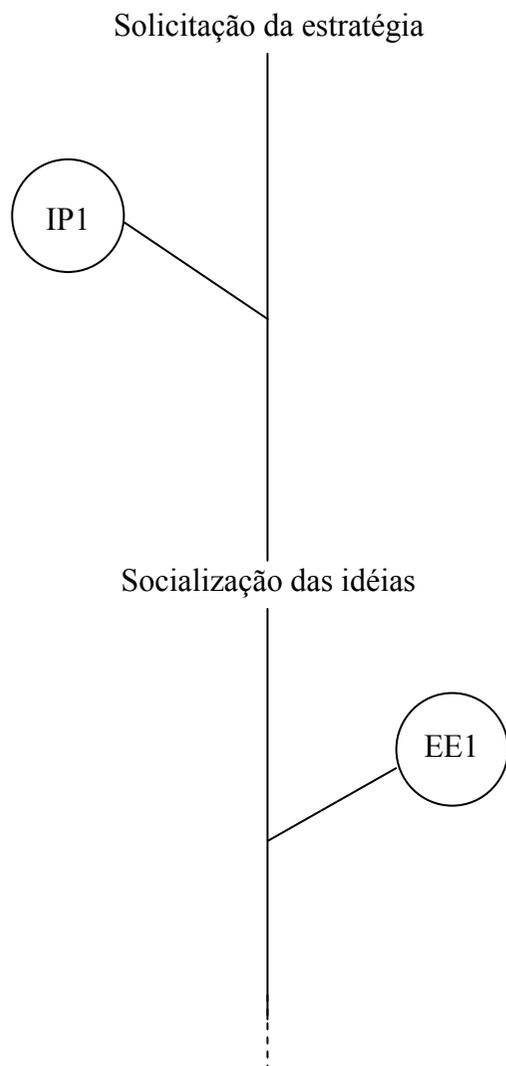
Idéias gerais sobre energia.

- Energia associada à eletricidade, alimentos e atividades físicas.
- Energia associada à capacidade de realizar trabalho.
- Energia associada a algo que pode ser conservado/transformado.
- Energia apresentada de diferentes formas (energia cinética, potencial elástica e gravitacional).
- Energia química associada às reações químicas.

Atividade experimental demonstrativa.

- Sistema açúcar +  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.})$ : *aquecido*.
- Sistema  $\text{NH}_4\text{SCN}$  +  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ : *resfriado*.

## PROCESSO



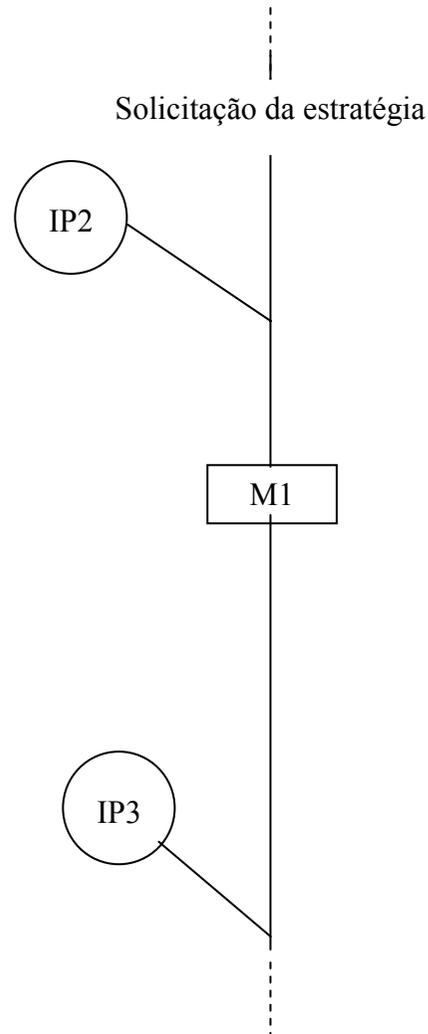
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Idéias gerais sobre calor.

- Calor associado à transferência de energia entre os corpos (conceito oriundo da física).
- Elaboração do modelo inicial (desenho)
- Idéia associada à energia presente na ligação química. Tal energia, nomeada pelos alunos *energia de ligação ou energia interna*, é liberada no momento em que a ligação é formada.
- Tal idéia foi expressa por meio de uma analogia.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

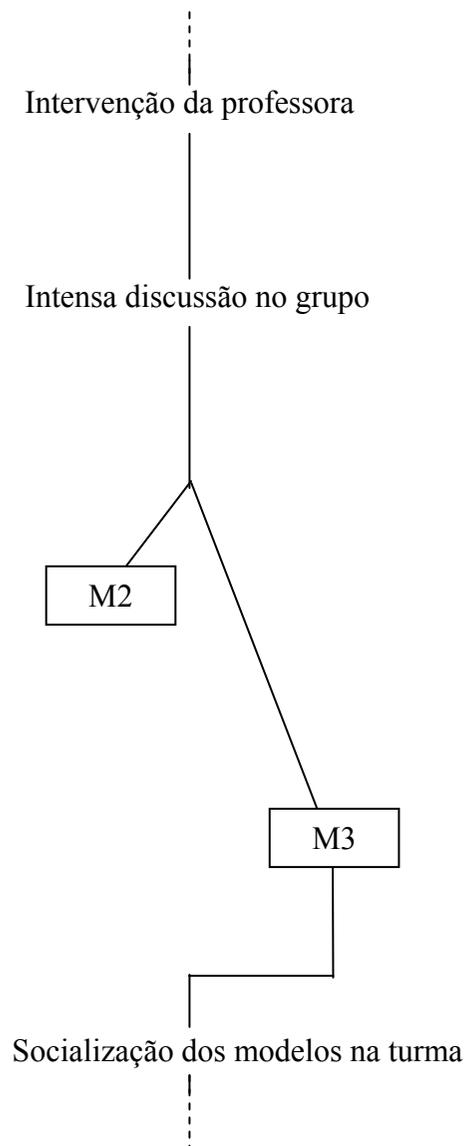
- Modelo indicando um maior espaçamento entre as partículas do sistema aquecido e um menor espaçamento entre elas no sistema resfriado.
- Representação de setas indicando a *entrada* e *saída* de calor (fluxo de calor no sistema).

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- A analogia deveria ser repensada, pois a atração entre os átomos não é algo físico, conforme era proposto na comparação feita.

- Idéias relacionadas aos modelos M2 e M3, indicando também o rearranjo dos átomos no decorrer da transformação química.

## PROCESSO

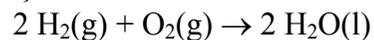


## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

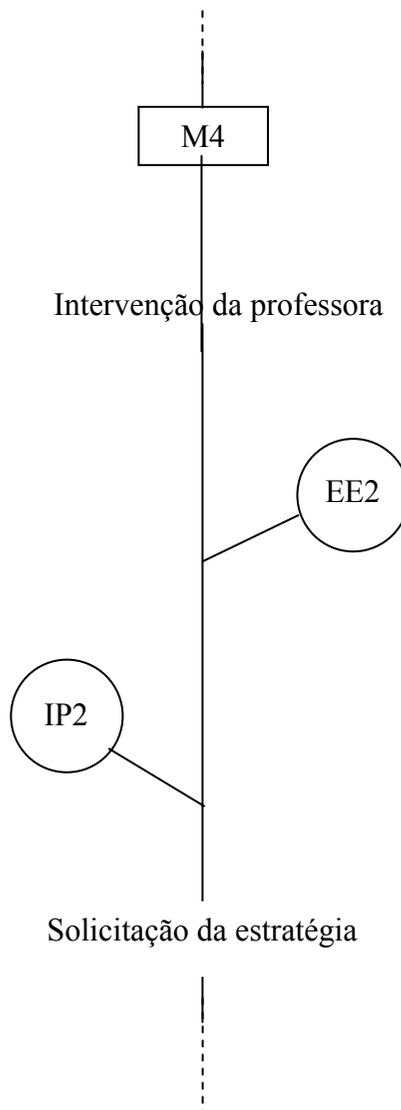
- Energia utilizada durante a reação é maior do que a energia *armazenada* pelo sistema (“energia interna das moléculas”).
- *Absorção* de energia na quebra das ligações.
- *Liberção* de energia na formação das ligações.
- Calor absorvido do ambiente.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- A professora chamou a atenção para as relações energéticas expressas pelo gráfico do “poço potencial”, estudado no conteúdo de ligações químicas.
- Dados empíricos para que os alunos concluíssem que as massas se conservam em uma transformação química (processo exotérmico).
- Conservação das massas em uma transformação química.
- Energia não é matéria, não tendo massa.
- Elaboração de um modelo (desenho) para simular a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio, representada pela equação:



## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Sistema aquecido: há *liberação* de energia (saldo energético final negativo).
- Sistema resfriado: há *absorção* de energia para adquirir estabilidade.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- O que deveria acontecer com os reagentes e os produtos durante a ocorrência da reação?
- Utilizar massa de modelar, formando moléculas e simulando a ocorrência da transformação química.

Elaboração do modelo

M5

Questionamento da professora

Solicitação da estratégia

M6

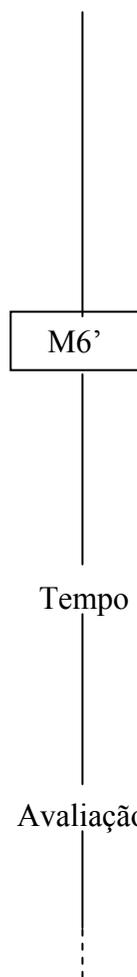
- Modelo expressando a idéia estática do processo químico (reagentes e produtos coexistem, mesmo ao final da transformação química).
- Setas indicando a absorção de energia nos reagentes e liberação de energia nos produtos.

- Idéia associada à energia interna dos reagentes, caracterizada pelos alunos como *energia de ligação*, que seria usada para romper as ligações das moléculas.
- O calor gerado vem da energia cinética e potencial existente na

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

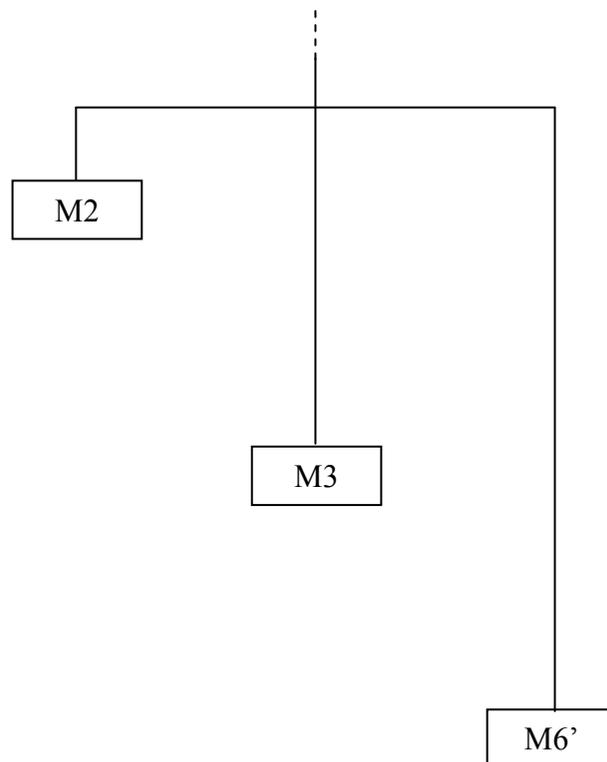


- molécula.
- Idéia de reorganização dos átomos no decorrer das transformações químicas, associando a um saldo energético final.
  - *Absorção* de energia para romper as ligações e *liberação* de energia na formação de novas ligações.
  - Idéia associada ao saldo energético final, caracterizando o processo como endotérmico ou exotérmico.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS



- A energia utilizada durante a reação é maior do que a energia armazenada pelo sistema, caracterizada como a energia interna das moléculas.
- Correto entendimento das relações energéticas que permeiam as transformações químicas (absorção e liberação de energia na quebra e formação das ligações).
- Nas transformações químicas ocorrem rearranjos dos átomos por meio da quebra e formação de novas ligações (processo dinâmico).
- Existe um saldo energético final, que caracteriza o processo como endotérmico ou exotérmico.

#### ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

De acordo com a descrição realizada na análise do grupo anterior, as evidências empíricas apresentadas ao longo do processo e as intervenções da professora foram de grande relevância, favorecendo a formulação ou reformulação dos modelos pelo grupo, pois favoreceram a percepção de novos elementos, teste do modelo anterior ou percepção de alguma inconsistência do modelo construído.

Com as evidências experimentais 1 (EE1), os alunos foram instigados a construir uma idéia que explicasse os fenômenos em destaque. A observação das evidências empíricas também levou esse grupo a buscar em seus conhecimentos prévios elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações. A partir delas, o grupo iniciou uma discussão sobre a idéia envolvendo o conceito do calor. Os alunos recorreram à definição de calor trazida da física para expressar o que entendiam por esta grandeza. Para eles, o calor estava associado à transferência de energia entre os corpos (energia em trânsito).

Os questionamentos promovidos pela professora, pelo grupo e também os propostos nas atividades foram bastante relevantes para o desenvolvimento do processo de aprendizagem por favorecerem, por exemplo, a busca de novas informações que subsidiaram a construção dos modelos. Além disso, os questionamentos também contribuíram para a reflexão a respeito da aplicabilidade dos modelos propostos, para a identificação de possíveis limitações e conseqüente reformulação do modelo. Alguns questionamentos e discussões levaram à recapitulação de idéias prévias que pudessem ser aplicadas na construção e/ou explicação dos modelos (como aconteceu, por exemplo, nas transições de M4 para M5). Finalmente, a socialização dos modelos foi essencial para que os alunos percebessem as possíveis inconsistências nos mesmos, pois os alunos tiveram a oportunidade de pensar criticamente em seus modelos e reformulá-los de acordo com as informações trazidas pelos outros grupos.

Em relação às idéias prévias dos estudantes, essas foram importantes na proposição da explicação para a origem do calor envolvido nos processos químicos, considerando-se que suas concepções se baseavam em conteúdos estudados anteriormente na física ou em outras disciplinas da área de ciências da natureza. Tais idéias favoreceram a percepção dos processos em estudo, conduzindo os alunos a uma

melhor compreensão dos mesmos e fundamentando suas idéias na construção dos modelos que explicariam a energia envolvida nas transformações químicas.

A expressão concreta dos modelos contribuiu na explicitação das idéias dos alunos para a turma. A expressão de forma verbal permitiu que o grupo apresentasse elementos do modelo impossíveis de serem expressos concretamente (como os aspectos energéticos que permeiam a união dos átomos, as questões de estabilidade, entre outras), além de promover a reflexão sobre o próprio modelo ao expressá-lo. Isso foi observado, por exemplo, quando o aluno A4G2 elaborou uma analogia para tentar demonstrar o mecanismo da transformação química em questão. Esta analogia foi abandonada após a ponderação da professora, destacando que a atração entre os átomos não é algo físico, como a analogia propunha.

No momento da elaboração do modelo que buscasse demonstrar o que acontecia, no nível das partículas constituintes das substâncias, para que durante o processo químico o sistema se resfriasse ou se aquecesse, os alunos expressaram, em seus desenhos, idéias baseadas no modelo cinético-molecular das partículas. Eles indicaram, por meio de setas, a *absorção* e *liberação* de calor, indicando ser este algo material que emana de um corpo. É importante ressaltar que alguns códigos de representação, como as setas por exemplo, podem ou não nos remeter a uma concepção substancialista por parte dos alunos, conforme será discutido oportunamente.

Quando foi solicitado que criassem modelos para simular a ocorrência de uma transformação química, nenhum dos alunos deste grupo representou o rearranjo dos átomos na execução da questão. Porém, eles representaram corretamente a estequiometria da reação, confirmando suas afirmativas anteriores sobre a conservação das massas. Isso parece indicar que, embora eles não tivessem representado o processo proposto pelo enunciado da questão, eles demonstraram possuir uma idéia correta sobre o processo como um todo. Esta discrepância na execução da questão pode ser atribuída a uma não compreensão do enunciado da mesma, que pode ter sido confuso e desconexo para os alunos.

Ao serem questionados, no decorrer da atividade, sobre o que deveria acontecer com os reagentes e os produtos durante a ocorrência da reação, todos os alunos do grupo citaram a quebra das ligações existentes nas moléculas dos reagentes e o posterior rearranjo dos átomos, levando à formação do(s) produto(s). Isso parece demonstrar que

os alunos estavam bastante familiarizados com as equações químicas (representações estáticas), embora parecessem não conceber o significado processual e dinâmico que tais representações carregam. Porém, apesar de tal idéia não ter sido representada concretamente, a sua explicação parecia ser trivial e familiar a todos, o que nos traz indícios de que a transposição do modelo mental para o modelo expresso pode ter sido uma grande barreira para os alunos.

Ao reformular seus modelos, os alunos fizeram representações buscando evidenciar a quebra das ligações nos reagentes e a *liberação* de energia na formação dos produtos. O modelo reformulado (M6') apresentou idéias referentes à quebra e formação das ligações, idéia que não havia sido expressa no modelo inicial, indicando que as atividades propostas e as discussões fomentadas por elas e pela professora foram relevantes para que eles repensassem suas idéias iniciais, buscando subsídios para alicerçar o novo saber construído durante o processo de modelagem.

Em relação à avaliação do conteúdo, nenhum dos alunos conseguiu utilizar os dados fornecidos no enunciado para o cálculo da energia de ligação dos produtos referentes à reação entre o  $H_2$  (g) e o  $F_2$  (g). Isto parece indicar que eles não foram capazes de transpor os aspectos qualitativos trabalhados na modelagem para a abordagem quantitativa com relativa facilidade.

Ao explicar o que compreendiam por energia química a partir de um diagrama de respiração e fotossíntese e de suas respectivas equações químicas, percebemos que alguns alunos ainda mantinham a concepção substancialista arraigada em suas idéias. Isso foi observado, por exemplo, quando A1G2 se referiu à energia química como sendo a “*energia ‘armazenada’ nas substâncias (ligações)*”. O aluno A5G2, por sua vez, associou a energia química à “*energia ‘liberada’ pela molécula de glicose, através do ATP*”. Além disso, os alunos A4G2 e A5G2 afirmaram que era necessário indicar a energia envolvida no sistema como produto da reação, reforçando ainda mais o indício de que a idéia substancialista referente à energia ainda persistia.

Por fim, apesar de distintas em termos do argumento central, todas as explicações dadas às questões da avaliação convergiram para um ponto em comum: as justificativas para a ocorrência das transformações químicas como um processo dinâmico de rearranjo dos átomos.

É importante destacar que os alunos demonstraram uma compreensão bastante clara dos processos de *absorção* e *liberação* de energia para se romper e formar as ligações. Porém, como no caso do grupo 1, parece que ainda existia alguma confusão na associação desse processo a um saldo energético final, que indicaria se o processo é endotérmico ou exotérmico, embora a idéia e a palavra saldo tenham aparecido em algumas respostas. Mas, considerando-se a consistência apresentada na reformulação dos modelos e nas respostas apresentadas na avaliação do conteúdo, parece que os rearranjos dos átomos e as relações energéticas referentes a esse processo foram bem compreendidos por todos os alunos do grupo.

Em termos dos modelos finais dos alunos, caracterizados na avaliação, podemos destacar que:

- A2G2 apresentou um modelo (M2) destacando a energia interna das moléculas (energia utilizada durante a reação é maior que a energia armazenada pelo sistema);
- A1G2 e A4G2 apresentaram um modelo (M3) destacando um entendimento parcial das relações energéticas que permeiam as transformações químicas (*absorção* e *liberação* de energia na quebra e formação das ligações químicas, respectivamente), sem expressar a idéia de saldo energético final;
- A3G2 e A5G2 apresentaram um modelo (M6') destacando um correto entendimento das transformações químicas, representando os rearranjos dos átomos por meio da quebra e da formação das ligações químicas. Além disso, expressaram a idéia de saldo energético final, caracterizando o processo como endotérmico ou exotérmico.

Por fim, é importante ressaltarmos que este grupo apresentou uma evolução considerável de suas idéias no decorrer da estratégia, reformulando os modelos por diversas vezes e reconsiderando pontos que ainda se mostravam incoerentes nos mesmos. Devemos destacar, porém, que mesmo com tantas idéias apresentadas pelos componentes do grupo e com as intensas discussões empreendidas entre eles, o aluno A2G2 demonstrou em seu modelo final a manutenção de uma concepção substancialista. Tal fato pode ser explicado pela simplicidade inerente à utilização desta idéia, que pode, de forma pragmática, ser inferida como algo que estava *guardado* e em determinado momento foi *liberado*. Embora seja notoriamente incorreta do ponto de vista científico, tal idéia parece se mostrar bastante convincente e satisfatória para os

alunos. Além disso, é importante considerarmos que o aluno em questão esteve ausente na primeira aula, na qual ocorreram as atividades 1 e 2. Isso pode ser considerado um dos fatores que contribuíram para suas dificuldades, uma vez que ele não participou da discussão de alguns pré-requisitos importantes que foram discutidos de forma enfática neste grupo nas atividades iniciais.

### GRUPO 3

#### ESTUDO DE CASO

Este grupo apresentou, inicialmente, algumas idéias sobre energia relacionadas à força, vigor, eletricidade, combustível e, de forma geral, àquilo que possibilita realizar algo. Na *Atividade 1* (Apêndice I), tais idéias foram expressas nas duas primeiras questões. Um aluno relacionou o termo energia, usado na estratégia de marketing do achocolatado Nescau<sup>®</sup> à “*aquisição de energia para realizar atividades físicas*” (A3G3), enquanto outros dois alunos associaram a “*um combustível (alimento) para o nosso organismo*” (A2G3 e A5G3).

Ao sair do âmbito geral, ou seja, da visão presente no senso comum, e buscar um enfoque científico, os alunos apresentaram idéias associando energia a:

*“algo que pode ser conservado/transformado, possuindo assim uma capacidade de realizar trabalho e podendo se apresentar sobre diferentes formas”* (A3G3),

e também ao “*metabolismo (fonte de vida)*” (A2G3 e A5G3).

Em relação à expressão *energia química*, todos os alunos responderam que já a conheciam, associando-a às reações químicas.

Na seqüência, foram realizados os experimentos da *Atividade 2* (Apêndice II). Inicialmente, solicitou-se que os alunos buscassem definir o calor. Todos foram unânimes na seguinte definição trazida da física:

*“O calor é a energia em trânsito de um corpo mais quente para um mais frio, fazendo com que a temperatura de ambos se altere.”* (Idéia apresentada por A3G3, mas compartilhada por todos os alunos do grupo)

No momento da criação de modelos (através de desenhos) para tentar demonstrar o que acontece no nível das partículas constituintes das substâncias para que, durante o processo químico, o sistema se resfrie ou se aqueça, os alunos relataram que a liberação de energia indica uma maior separação entre as partículas, remetendo indiretamente ao modelo cinético-molecular das partículas. Tal idéia pode ser confirmada pelos modelos criados, nos quais os alunos representaram uma maior separação entre as partículas no sistema aquecido e uma aproximação das mesmas no sistema resfriado, conforme representado na figura 10.

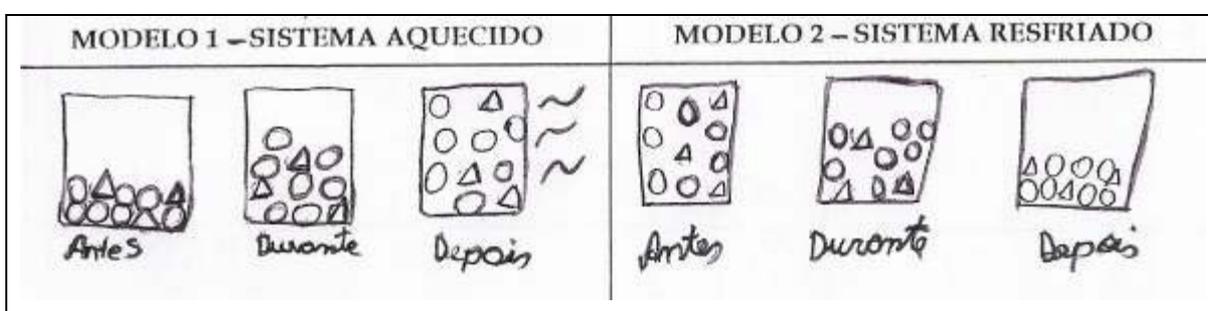


Figura 10. Modelo criado pelo aluno A2G3 a partir das evidências experimentais.

Além disso, no momento das discussões no grupo para a elaboração dos modelos, o aluno A5G3 fez referência aos estados físicos das substâncias indicados nas equações das reações apresentadas no experimento. Em seguida, o aluno A3G3 apresentou o seguinte questionamento: “*De onde vem a energia, se a temperatura da reação foi superior à temperatura ambiente?*” (ou seja, se a energia foi absorvida do ambiente, o sistema não poderia liberar mais energia do que aquela que foi absorvida. Por exemplo, se a temperatura ambiente é de 30°C, como o sistema pode ter-se aquecido a uma temperatura superior a 50°C? De onde veio este calor excedente?). Diante desse questionamento, os alunos começaram a rever suas idéias e articular outras, considerando então o rompimento e a formação das ligações químicas para explicar os fenômenos observados. Na seqüência, o aluno A3G3 apresentou outra questão: “*H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tem muita energia de ligação?*”. A professora, por sua vez, socializou tal questionamento e procurou conduzir os alunos a pensar sobre o significado das transformações químicas, caracterizando os rearranjos dos átomos no processo (os átomos dos reagentes se reorganizam para formar os produtos). O aluno A4G3 disse que “*a energia dos produtos é maior que a dos reagentes*”.

Quando solicitados a explicar seus desenhos (modelos), os alunos argumentaram que:

- no sistema aquecido,

*“a energia utilizada durante a reação é menor que a energia armazenada pelo sistema. Dessa forma, a energia não utilizada é liberada para o ambiente em forma de calor”* (idéia apresentada por A2G3, mas destacada por todos os outros alunos do grupo);

- no sistema resfriado,

*“a energia utilizada durante a reação é maior que a energia armazenada pelo sistema. Dessa forma, o sistema absorve energia para suprir essa deficiência”* (A2G3, A3G3 e A4G3);

*“a energia necessária para ocorrer a reação é menor do que a energia armazenada no sistema. Dessa forma, o sistema absorve energia para suprir essa deficiência”* (A5G3).

Ao proporem uma explicação para o fato de algumas transformações químicas *liberarem* calor e outras o *absorverem*, os alunos disseram que isso se relaciona com a energia de ligação e a energia necessária para que ocorra a reação. Entretanto, nenhum aluno foi capaz de explicar a origem do calor *gerado* na reação. Apenas o aluno A3G3 tentou explicar a origem do calor *absorvido*, associando-o à “*energia interna das moléculas*” e reconhecendo que esta “*é insuficiente para a ocorrência da reação*”.

No momento da apresentação e discussão dos modelos elaborados inicialmente, os alunos discutiram o sistema aquecido, levando em conta o pressuposto de que a energia da reação é menor do que energia *armazenada*. Ou seja, a energia de formação<sup>23</sup> é menor do que a energia de ligação<sup>24</sup>.

Na tentativa de ajudar os alunos a pensar melhor sobre esse aspecto e a refinar o significado dos termos apresentados por eles, a professora tentou retomar, junto à turma, o significado das transformações químicas, levando-os a articular a idéia de *quebra* das ligações dos reagentes (*absorção* de energia) para formar os produtos (*liberação* de energia). Os alunos deste grupo não discutiram o modelo resfriado na apresentação.

---

<sup>23</sup> A energia de formação, de acordo com a concepção apresentada pelo aluno, se refere à energia *liberada* na formação das ligações.

<sup>24</sup> A energia de ligação, de acordo com a concepção apresentada pelo aluno, se refere à energia que mantém os átomos ligados entre si, formando as moléculas.

Cabe ressaltar que, no decorrer da socialização dos modelos na turma, os alunos de outros grupos apresentaram suas contribuições, levantando questionamentos e sugestões para os modelos elaborados. Essas discussões ajudaram os alunos deste grupo a pensar de forma mais concreta em seus modelos iniciais, chegando à conclusão de que no sistema aquecido a energia *absorvida* na reação (energia utilizada para o rompimento das ligações químicas estabelecidas entre os átomos dos reagentes) é menor do que a energia *utilizada* na mesma (energia *liberada* na formação das ligações químicas estabelecidas entre os átomos que formam os produtos). Dessa forma, a energia excedente é *liberada* na forma de calor (saldo energético final).

Ao reformular seus modelos na *Atividade 3* (Apêndice III), os alunos deste grupo concluíram claramente que as massas se conservam nas transformações químicas, sendo que alguns deles evocaram o princípio da conservação das massas, enunciado por Lavoisier. Além disso, eles afirmaram enfaticamente que a energia, não sendo matéria, não pode ter massa.

Ao utilizar o modelo elaborado anteriormente para simular a reação de combustão do gás hidrogênio ( $H_2$ ), todos os alunos expressaram o rearranjo dos átomos corretamente, mostrando que ocorre a “*quebra das moléculas nos reagentes*”, ou seja, das ligações estabelecidas nas moléculas, permitindo que haja o rearranjo dos átomos para a formação dos produtos.

Na seqüência, ao serem questionados sobre o que deveria acontecer com as moléculas dos reagentes e dos produtos durante a ocorrência da reação, o grupo foi unânime em dizer que ocorre a “*quebra das moléculas dos reagentes e o rearranjo dos átomos*” para a conseqüente formação do(s) produto(s).

Ao final da atividade, o grupo propôs a seguinte explicação para o modelo consensual relativo a cada um dos sistemas:

- Sistema aquecido: *absorção* de energia na quebra das ligações dos reagentes para um posterior rearranjo dos átomos, ocasionando a *liberação* de energia. Apesar de alguns alunos mencionarem a idéia de saldo energético final em algumas das discussões (particularmente A3G3, A4G3 e A5G3), eles não a discutiram ou a representaram no modelo final ao tentar demonstrar as possíveis diferenças entre as energias *absorvida* e *liberada* no processo. É importante destacar que, embora eles tenham representado setas indicando a energia

*absorvida* para se desfazer as ligações dos reagentes e a energia *liberada* na formação de novas ligações no produto, nenhuma representação pode ser atribuída, em seus modelos, à idéia explícita de saldo energético final. Porém, em suas explicações, eles destacaram que:

*“Durante a reação, as ligações são quebradas e forma-se uma nova substância.”* (A1G3);

*“A energia liberada para formar novas substâncias é maior do que a energia absorvida para quebrá-las.”* (A3G3);

*“A energia que sobra da reação é liberada sob a forma de calor.”* (A4G3);

*“Antes da reação, as moléculas estão estáveis. Para que se rompam as ligações entre os átomos, certa quantidade de energia é necessária. Essa energia utilizada é menor do que a quantidade de energia do sistema. Então, ao final da reação a energia não utilizada é liberada.”* (A5G3).

Embora as respostas sejam diferentes, na essência elas abordam os mesmos aspectos para se explicar a situação em questão.

- Sistema resfriado: foi representado um sistema apenas *absorvendo* energia para romper a ligação dos reagentes, indicando por meio de setas uma intensa *absorção* de energia (inúmeras setas foram representadas, conforme destacado na figura 11). Porém, pelas respostas apresentadas na explicação desse modelo, parece-nos que o significado do mesmo não estava claro para os alunos. Isto porque o aluno A1G3 deixou a questão em branco, enquanto os alunos A4G3 e A5G3 não apresentaram coerência em suas explicações. Apenas o aluno A3G3 propôs que *“a energia liberada para formar novas substâncias é menor que a energia absorvida para quebrá-las”*.

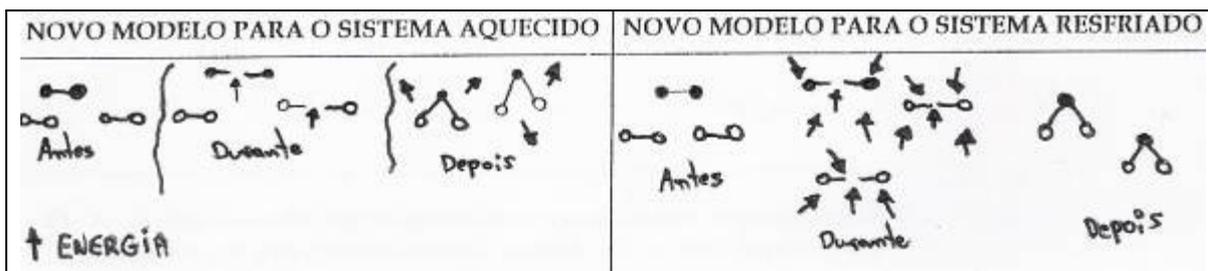


Figura 11. Modelo reformulado por G3 para os sistemas aquecido e resfriado.

Diferenças entre as idéias dos alunos deste grupo também foram observadas quando solicitado que eles aplicassem seu modelo a uma equação química diferente daquela que foi modelada (processo que indicava a *liberação* de calor na combustão do hidrogênio, formando água como produto). Neste caso, um aluno deixou a questão em branco (o mesmo da questão anterior), enquanto os outros responderam que:

*“A energia liberada na formação das moléculas de água é maior do que a absorvida.”* (A3G3 e A5G3) e

*“A energia gasta para reorganizar os átomos durante a reação é menor que a energia do sistema.”* (A4G3).

Em relação à avaliação final (Apêndice VI), nenhum aluno apresentou a idéia de balanço energético completo e corretamente explicado como resposta à questão que solicitava uma explicação (em nível sub-microscópico) para o fato de a energia ter sido *gerada* na transformação química em destaque. Os alunos A1G3, A3G3 e A4G3, por sua vez, apresentaram a idéia do balanço energético, mas explicado somente de forma parcial. Um deles destacou uma idéia errônea do fenômeno: *“a quebra da ligação libera energia”* (A4G3). Os outros dois relataram que *“houve a geração de energia, pois absorveu menos do que foi liberado no processo”* (A1G3 e A3G3). Finalmente, os outros dois alunos (A2G3 e A5G3) apresentaram concepções gerais relacionadas às transformações químicas e destacaram as relações energéticas envolvendo o processo, ressaltando que *“a energia usada na quebra e formação da nova substância foi menor do que a energia armazenada”*.

Nenhum dos alunos deste grupo conseguiu responder a questão que solicitava uma articulação entre os aspectos quantitativos do processo (através do cálculo da energia de ligação do produto da reação em questão).

Na segunda questão, três alunos responderam que energia química era *“a energia envolvida nas reações químicas (liberada ou absorvida)”* (A1G3, A2G3 e A5G3), enquanto outros dois alunos relataram que era *“a energia armazenada nas substâncias (ligações)”* (A3G3 e A4G3). Quando questionados sobre alguma possível incoerência na representação do esquema para descrever os processos de fotossíntese e respiração, dois alunos destacaram que existia uma incoerência, ressaltando pontos relacionados a alguns elementos gráficos como, por exemplo:

Vinícius Catão de Assis Souza

*“Esquema confuso, pois não permite delimitar os reagentes e os produtos.” (A1G3)*

Os demais alunos não reconheceram nenhuma incoerência na representação em questão.

Na seqüência, foi solicitado que eles estabelecessem uma crítica em relação a dois modelos apresentados no enunciado da questão, destacando os pontos positivos e negativos das representações. Dentre as idéias destacadas pelos alunos, podemos ressaltar: proporção estequiométrica incorreta no primeiro modelo (A1G3, A2G3, A3G3, A4G3, A5G3); não consideração da energia envolvida no processo (A3G3, A4G3); e utilização inadequada do símbolo de igualdade para representar a formação dos produtos no primeiro modelo (A2G3, A4G3).

Ao serem questionados sobre a coerência em não representar a energia envolvida na transformação química, os alunos A1G3, A2G3 e A5G3 afirmaram que isto era coerente. Suas justificativas foram:

*“O objetivo de uma representação química é mostrar a conservação das massas e organização das moléculas.” (A1G3);*

*“Como a proporção em massa não foi utilizada no primeiro modelo, então não existe obrigatoriedade em se usar a proporção energética.” (A2G3); e*

*“Representar a energia se torna incoerente, pois o que se deveria representar é a entropia.” (A5G3).*

Os outros dois alunos responderam negativamente. Um deles destacou que:

*“Embora seja claro que os modelos não podem representar tudo, deve-se buscar uma maior abrangência neles.” (A4G3).*

Finalmente, o aluno A3G3 apresentou uma resposta não conclusiva.

Na questão seguinte, ao comentar sobre a coerência da associação de uma imagem de um carro próxima a uma bomba de gasolina com a energia química, três alunos concordaram com ela, destacando que *“o combustível será transformado em energia, que movimentará o automóvel”* (A1G3, A4G3 e A5G3). Os outros dois alunos responderam que ela não era coerente, argumentando que:

*“Tal desenho permite uma associação incorreta com o significado real de energia química.” (A3G3); e*

*“A energia química não é proveniente somente da gasolina.” (A2G3).*

Quando a associação deste desenho com aquilo que havia se convencionado chamar de *energia química* foi solicitada, todos os alunos foram unânimes em dizer que tal relação é estabelecida devido à reação de combustão, *produzindo* energia para movimentar o carro.

Por fim, ao serem indagados sobre como eles explicariam a um colega de turma que o álcool queima *liberando* energia, os alunos apresentaram diferentes idéias:

- O sistema *absorve* energia para *quebrar* as interações/ligações existentes entre os reagentes e *libera* energia ao formar os produtos:

*“Eu diria que a energia que o álcool absorveu para quebrar suas ligações foi menor do que a energia liberada para formar a água e o gás carbônico, por isso houve a liberação de energia.” (A3G3)*

- Busca de estabilidade do sistema com a liberação de energia:

*“Para formar uma nova substância, os átomos precisam se reorganizar com outros átomos e nessa reorganização eles procuram ficar menos energéticos que antes, assim eles liberam energia.” (A1G3)*

- Nem toda a energia *absorvida* ou envolvida no processo é usada, sendo que o excedente é *liberado*:

*“Sobra energia no processo de transformação química e é essa energia que é liberada.” (A2G3)*

*“Quando ocorre a reação, a energia do sistema (álcool + O<sub>2</sub>) é maior do que a energia necessária para que os produtos sejam formados. Assim, essa diferença de energia é liberada para o ambiente.” (A5G3)*

- Energia *armazenada* nos reagentes é suficiente para promover o rearranjo dos átomos, sendo que o excedente é *liberado*:

*“A energia armazenada nos reagentes é suficiente para garantir o rearranjo dos átomos durante a reação e ainda sobra energia, sendo que esta então é liberada para o meio.” (A4G3)*

No último item da questão, quando perguntados se consideravam que a palavra *libera* poderia ser substituída por alguma outra que melhor representasse o que ocorre no sistema, dois alunos responderam afirmativamente, destacando as palavras “*cedida*”

Capítulo 6

Vinícius Catão de Assis Souza

(A2G3) e “*transforma*” (A5G3). Os demais responderam que era coerente utilizar a palavra *libera*.

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Idéias gerais sobre energia.

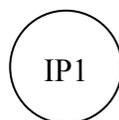
- Energia associada à força, vigor, eletricidade, combustível e, de forma geral, àquilo que possibilita realizar algo.
- Energia associada ao metabolismo (fonte de vida).
- Energia associada a algo que pode ser conservado/transformado.
- Energia associada à capacidade de realizar trabalho.
- Energia pode se apresentar de diferentes formas.
- Energia química associada às reações químicas.

Atividade experimental demonstrativa.

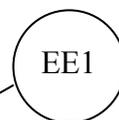
- Sistema açúcar +  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.})$ : *aquecido*.
- Sistema  $\text{NH}_4\text{SCN}$  +  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ : *resfriado*.

## PROCESSO

Solicitação da estratégia



Socialização das idéias



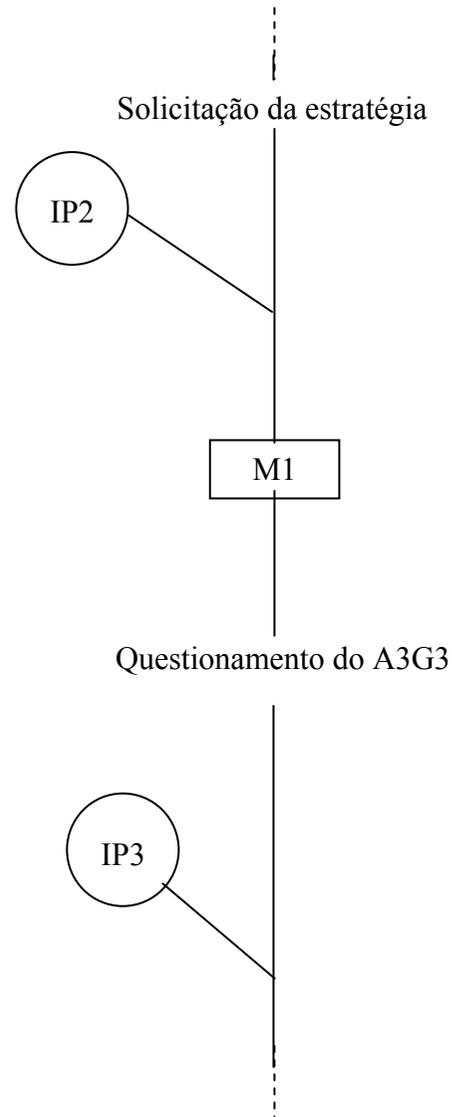
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Idéias gerais sobre calor.

- Calor é a energia em trânsito, transferida de um corpo mais quente para um corpo mais frio, levando a temperatura de ambos a se alterar.
- Elaboração do modelo inicial (desenho).
- De onde vem a energia, se a temperatura da reação foi superior à temperatura ambiente?
- Idéia referente à energia que mantém os átomos ligados entre si, formando as moléculas (energia de ligação).
- Energia interna das moléculas, ou seja, energia associada ao movimento das moléculas.
- Energia de ativação, ou seja, energia necessária para que ocorra a reação.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Modelo indicando uma maior separação das partículas no sistema aquecido e uma maior união das mesmas no sistema resfriado.

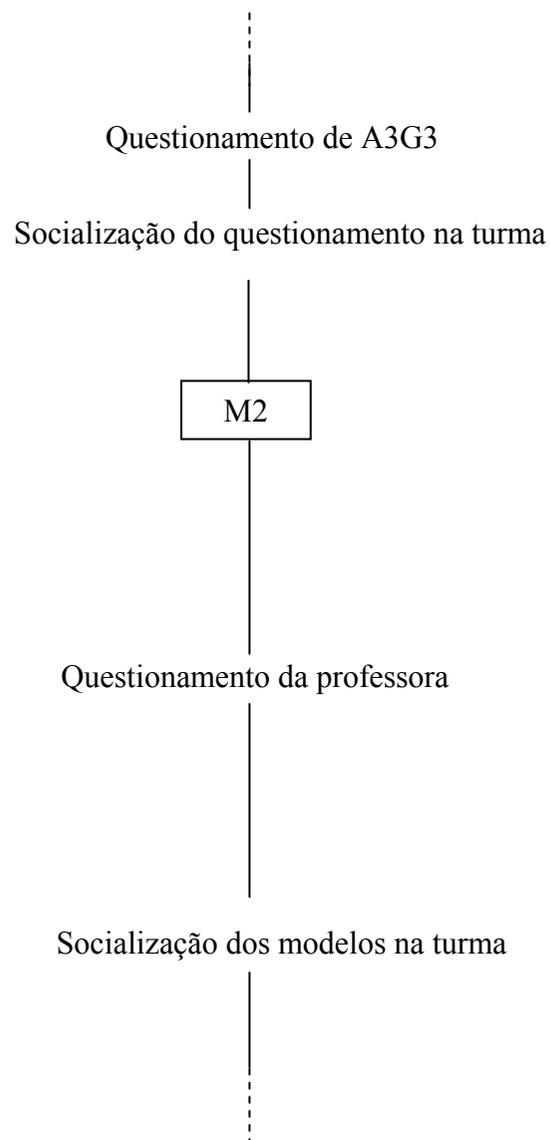
## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- $\text{H}_2\text{SO}_4$  tem muita energia de ligação?

- O que significa uma reação química?

- Intervenção de outros grupos, discutindo aspectos significativos referente à idéia de *quebra* das ligações dos reagentes (*absorção* de energia) para *formar* os produtos (*liberação* de energia).

## PROCESSO



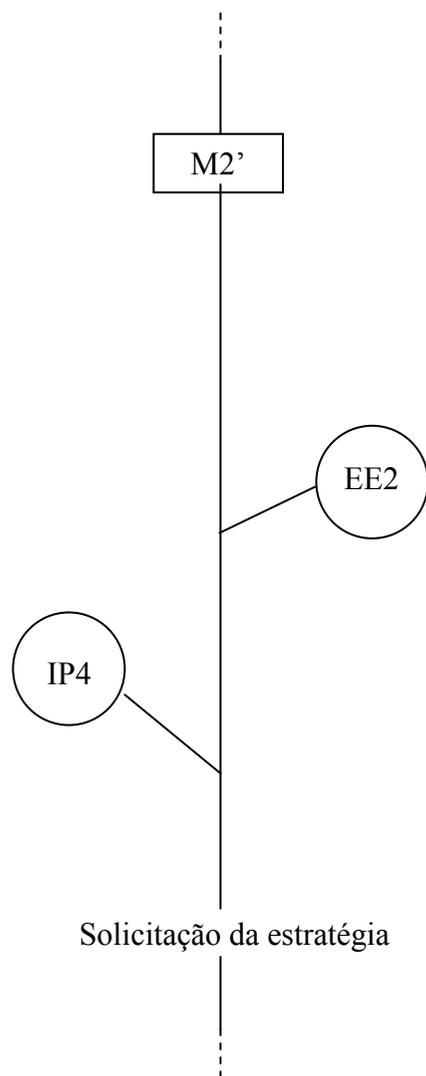
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Numa reação ocorre o rompimento e a formação das ligações químicas.
- Existe um saldo energético final, indicando apenas as diferenças de energia entre os reagentes e os produtos.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Dados empíricos para que os alunos concluíssem que as massas se conservam em uma transformação química (processo exotérmico).
- As massas se conservam em uma transformação química.
- Energia não é matéria, portanto, não tem massa.
- Elaborar um modelo (desenho) para simular a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio, representada pela equação:  
$$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}).$$

## PROCESSO



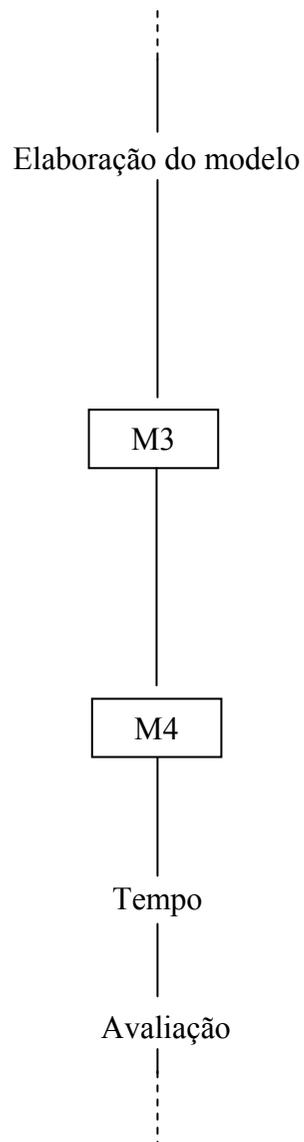
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Numa reação ocorre o rompimento e a formação das ligações químicas.
- Existe um saldo energético final, indicando que a energia *absorvida* na reação é menor do que a energia utilizada na mesma.
- O saldo final da energia excedente é *liberado* na forma de calor.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Utilização de massa de modelar para descrever a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio.

## PROCESSO



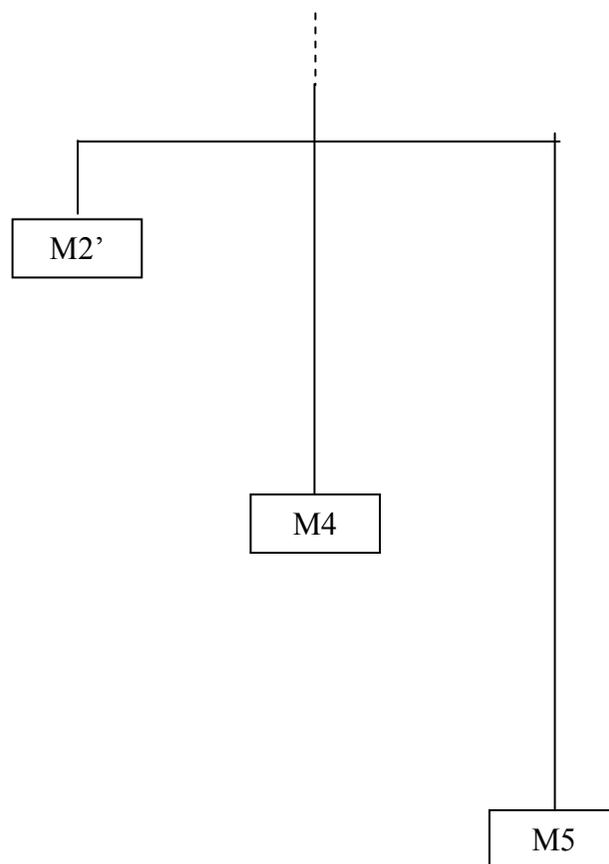
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Modelo feito com bolinhas de massinha e palitos, com o qual os alunos expressaram o rearranjo dos átomos no processo (*quebra* das ligações nos reagentes para a *formação* de novas ligações nos produtos).
- Idem M3.
- Idéias do saldo energético final.
- O sistema busca maior estabilidade, ou seja, um estado de menor energia.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS



- Energia *absorvida/envolvida* no processo é usada no mesmo, sendo que o excedente é *liberado*.

- Para formar uma nova substância, os átomos precisam se reorganizar entre si, buscando um estado menos energético.

- Energia *armazenada* nos reagentes é suficiente para promover o rearranjo dos átomos e o excedente é *liberado*.

#### ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

A partir da análise do diagrama construído para o estudo de caso do grupo 3, é possível constatar que as evidências empíricas apresentadas ao longo do processo e as intervenções da professora, embora não muito frequentes nesse grupo, permitiram fomentar importantes discussões entre os alunos. Além disso, elas forneceram novos subsídios para que eles pensassem em todo o processo.

A partir das evidências experimentais 1 (EE1), os alunos do grupo iniciaram uma discussão sobre a idéia envolvendo o conceito do calor, recorrendo à definição trazida da física para expressar o que entendiam. Para eles, o calor estava associado a uma energia em trânsito de um corpo mais quente para um corpo mais frio, fazendo com que a temperatura de ambos se alterasse (idéia de equilíbrio térmico). Com as evidências experimentais 2 (EE2), os alunos tiveram a oportunidade de reformular uma possível idéia referente ao calor como substância, indicando que há a conservação das massas em uma transformação química, mesmo depois que o calor é *liberado* ao final do processo. E isso foi fundamental para que eles não prosseguissem com possíveis atributos substancialistas em seus modelos. Além disso, essas evidências experimentais permitiram que os alunos buscassem em seus conhecimentos prévios elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações.

Os questionamentos promovidos na interação da sala de aula, favorecida pela estratégia, forneceram aos alunos elementos bastante relevantes para o desenvolvimento do processo, permitindo, por exemplo, a busca de novas informações que subsidiassem a construção de seus modelos. Tal fato foi observado na discussão estabelecida entre os alunos do grupo, que se questionavam continuamente e debatiam as idéias que iam emergindo das discussões estabelecidas. Além disso, os diversos questionamentos apresentados também contribuíram para a reflexão a respeito da aplicabilidade dos modelos propostos, possibilitando a identificação de possíveis limitações e a conseqüente reformulação dos mesmos. Podemos exemplificar tal situação considerando os questionamentos oportunos apresentados por A3G3 ao longo do processo.

No momento das discussões no grupo visando à elaboração dos modelos, percebemos que o aluno A5G3 apresentava a idéia de que o estado físico das

substâncias participantes das reações poderia ser um fator fundamental para se determinar as questões energéticas envolvidas nas transformações químicas. Tal fato demonstra que é muito comum associar a energia de um sistema ao seu estado de agregação, conforme se apresenta no modelo cinético-molecular das partículas.

Na discussão, o aluno A3G3 levantou o seguinte questionamento referente à transformação química em que se observou o aquecimento do sistema: “*De onde vem a energia, se a temperatura da reação foi superior à temperatura ambiente?*”. Neste momento, constatamos uma confusão freqüente entre os alunos, discutida em algumas pesquisas já relatadas na revisão bibliográfica inicial, relacionada às idéias de calor e temperatura: os alunos tendem a pensar que o calor é sinônimo de temperatura. Além disso, o questionamento apresentado pode nos sinalizar algum indício de que o aluno possuía uma concepção relacionada à *criação* da energia ou ao *armazenamento* da mesma, que é liberada em determinado momento. Tal fato se mostra evidente na primeira parte da pergunta, tendo em vista que ele apresenta a idéia de a energia ter aparecido de algum lugar determinado, como se estivesse acondicionada lá.

Nesse momento, diante desses questionamentos inquietantes, os alunos começaram a rever suas idéias e articular outras, que consideravam o *rompimento* e a *formação* das ligações químicas, para explicar os fenômenos observados. Na seqüência, o aluno A3G3 apresentou outra questão: “*H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tem muita energia de ligação?*”. O aluno A4G3, por sua vez, disse que “*a energia dos produtos é maior que a dos reagentes.*” Esta afirmativa pode ser interpretada como uma evidência de que já se começava a pensar sobre o saldo energético final. Porém, a idéia não permaneceu nem se desenvolveu no decorrer da discussão.

Diferenças entre as idéias dos alunos deste grupo também foram observadas quando foi solicitado que eles aplicassem seu modelo a uma equação química diferente daquela que foi modelada. Neste caso, A1G3 deixou a questão em branco enquanto os demais alunos (A3G3, A4G3 e A5G3) destacaram a idéia indicando o rearranjo dos átomos no decorrer do processo e demonstrando a idéia de saldo energético final. Porém, o aluno A4G3 apresentou uma explicação não conclusiva, pois abordou alguns conceitos que não foram bem delimitados, como as idéias envolvendo a “*energia gasta para reorganizar os átomos*” e a “*energia do sistema*”. Por isso, não podemos inferir nada em relação às suas reais concepções, tendo em vista que a resposta apresentada,

embora aparentemente coerente com o rearranjo dos átomos nas transformações químicas, se mostrou um tanto quanto imprecisa em relação à expressão da idéia envolvendo as relações energéticas inerentes ao processo em questão (*absorção* de energia para a *quebra* das ligações dos reagentes e *liberação* na *formação* das ligações dos produtos).

Nenhum dos alunos deste grupo conseguiu responder a questão que solicitava a articulação entre os aspectos quantitativos do processo (através do cálculo da energia de ligação do produto da reação em questão). Tal fato pode ser interpretado como uma evidência de que eles não conseguiam transpor com facilidade as idéias trabalhadas qualitativamente para aspectos quantitativos.

Quando perguntados se consideravam que a palavra *libera* poderia ser substituída por alguma outra que melhor representasse o que ocorre no sistema, dois alunos responderam afirmativamente, destacando as palavras “*cedida*” (A2G3) e “*transforma*” (A5G3). Os demais responderam que era coerente utilizar a palavra *libera*. Cabe destacar que tais alunos apresentaram, no decorrer das atividades, idéias que poderiam ser caracterizadas como substancialistas em relação à energia, o que justifica em parte a aceitação da palavra *libera* para descrever o saldo energético final em algumas transformações químicas.

Em relação aos modelos expressos na avaliação final da estratégia, podemos destacar que:

- os alunos A2G3, A3G3 e A5G3 apresentaram idéias relacionadas ao modelo M2', indicando que a energia *absorvida/envolvida* no processo é usada, sendo que o excedente é *liberado* para o ambiente;
- o aluno A1G3 apresentou idéias relacionadas ao modelo M4, destacando que, para formar uma nova substância, os átomos precisam se reorganizar com outros átomos, buscando um estado menos energético;
- o aluno A4G3, por sua vez, destacou a idéia substancialista de que a energia “*armazenada*” nos reagentes é suficiente para promover o rearranjo dos átomos.

Pelos modelos finais apresentados anteriormente, podemos inferir que a maioria dos alunos deste grupo permaneceu com uma idéia substancialista. Como destacado anteriormente, tal idéia é muito simples e fácil de ser compreendida, convencendo facilmente aqueles que a utilizam. E embora não seja coerente cientificamente, se

Capítulo 6

Vinícius Catão de Assis Souza

apresenta bastante plausível para as explicações superficiais utilizadas no dia-a-dia (escolar ou não).

#### GRUPO 4

##### ESTUDO DE CASO

Este grupo apresentou, inicialmente, idéias gerais de energia relacionadas à força, fonte de poder e capacidade de realizar trabalho. No momento da socialização das idéias, os alunos apresentaram o termo energia como sendo sinônimo de combustível, tendo diferentes formas de aplicação (digestão, atividade física etc.).

Além disso, ao explicar o significado do termo energia, utilizado como estratégia de marketing para o achocolatado Nescau<sup>®</sup>, o aluno A3G4 destacou que:

*“Isto é uma maneira de expressar a idéia de que, ao se consumir tal produto, as pessoas adquirem energia para realizar as atividades físicas diárias.”*

Após as discussões sobre a aplicação desta terminologia no senso comum, foi proposto que os alunos tentassem centrar suas atenções na aplicação desta palavra dentro do âmbito científico, buscando construir uma conceituação para o termo. Neste contexto, todos os alunos do grupo lançaram mão do conceito trazido da física, relatando que energia seria a capacidade de realizar trabalho.

Quando foram questionados se conheciam a expressão *energia química*, os alunos A3G4 e A5G4 disseram que sim, relacionando-a à energia associada às reações químicas, sem maiores explicações.

Após a observação da ocorrência de um processo endotérmico e de um exotérmico (*Atividade 2 – Apêndice II*), esses alunos recorreram novamente à definição trazida da física para expressar o que entendiam por calor. Para todos eles, “*o calor é a energia em trânsito*”.

Ao elaborar modelos que tentassem explicar os fenômenos de aquecimento e resfriamento observados nos experimentos, esses alunos utilizaram a idéia presente no modelo cinético molecular das partículas, indicando, no modelo para o sistema aquecido, as partículas muito afastadas e, no modelo para o sistema resfriado, as

partículas mais juntas (idéia contida no modelo apresentado pelos alunos A3G4 e A4G4, conforme evidenciado na figura 12).

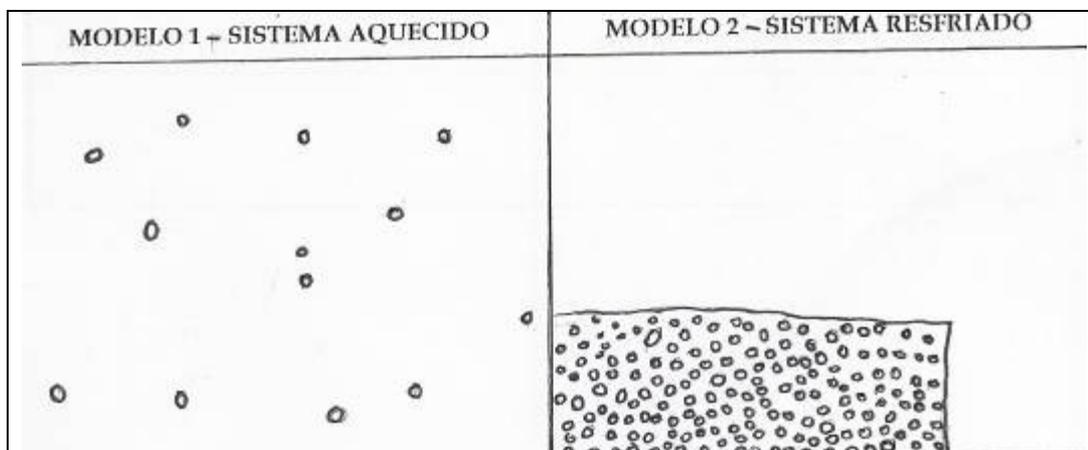


Figura 12. Representação do modelo inicial para o sistema aquecido e resfriado, proposta pelo aluno A3G4.

O aluno A2G4, por sua vez, representou as partículas em termos da vibração, indicando tal movimento com aspas ao redor delas e a liberação e absorção de calor por meio de setas (figura 13).

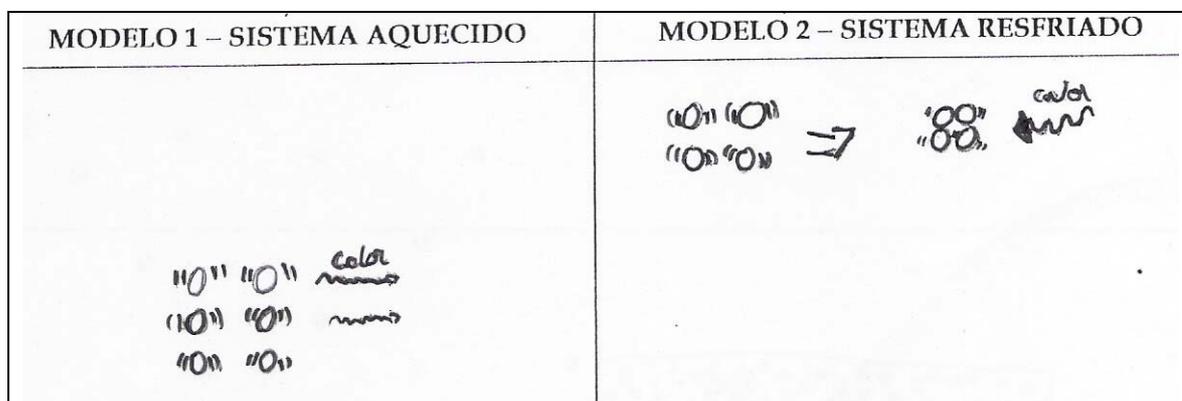


Figura 13. Representação do modelo inicial para o sistema aquecido e resfriado, proposta pelo aluno A2G4.

Na explicação dos desenhos, foram expressas as seguintes idéias para o sistema aquecido:

*“A energia utilizada durante a reação é menor que a energia armazenada pelo sistema, desta forma a energia não utilizada é liberada para o ambiente na forma de calor.”* (A2G4);

*“As partículas recebem calor do sistema e depois o liberam.”* (A3G4);

Vinícius Catão de Assis Souza

*“As partículas aumentam seu estado de agitação térmica tendo, portanto, alta energia cinética, aumentando assim o espaçamento entre si.” (A4G4).*

Em relação ao sistema resfriado, as seguintes idéias foram apresentadas pelos alunos:

*“A energia utilizada durante a reação é maior que a energia armazenada pelo sistema, fazendo com que este absorva energia para suprir essa deficiência.” (A2G4);*

*“As partículas perdem energia e por isso tendem a diminuir sua movimentação.” (A3G4);*

*“No sistema resfriado, as partículas têm pouca energia cinética devido a seu baixo estado de agitação térmica, havendo assim pouco espaçamento entre elas.” (A4G4).*

Na seqüência, foi solicitado aos alunos que propusessem uma explicação para os fenômenos observados. O aluno A3G4 destacou a idéia de *quebra e formação* das ligações, com suas respectivas *absorções e liberações* de energia, enquanto o aluno A2G4 buscou uma explicação remetendo-se à energia de ligação e à energia necessária para que ocorra a reação (energia de ativação). Nesta atividade estiveram presentes três alunos, sendo que A4G4 deixou a presente questão em branco.

Ao explicar a *origem* do calor envolvido nas transformações químicas observadas, a idéia principal desses alunos destacava aspectos relacionados às trocas térmicas do sistema com o ambiente:

*“O calor provêm do excesso ou carência de energia do sistema.” (A2G4)*

*“O calor provêm da diferença de energia entre o corpo e o sistema.” (A3G4)*

*“O calor é gerado ou absorvido a partir da diferença de energia das substâncias em relação com o ambiente.” (A4G4)*

Durante a discussão dos modelos elaborados na *Atividade 2* (Apêndice II), o grupo destacou que *“o sistema contendo ácido sulfúrico e açúcar ‘recebeu’ energia do ambiente para processar a reação”*. Em relação ao sistema que resfriou, o aluno A2G4 ressaltou que *“no decorrer desta reação não pode ter ocorrido liberação de energia, pois o sistema se resfriou”*. A professora, por sua vez, percebendo a dificuldade do

aluno e a idéia substancialista presente em suas explicações, apresentou um questionamento objetivando conduzi-lo à construção de uma nova idéia: “*Se o sistema resfria, precisa absorver energia?*”. Com tal questionamento, todos os alunos do grupo engajados na discussão se mostraram reticentes. Esta foi a questão que fomentou uma ampla discussão rumo à reformulação de suas idéias iniciais. A partir dela, os alunos começaram a associar calor com a idéia de *absorver* e *liberar* energia no processo. Porém, após algumas reflexões e debates no grupo, eles chegaram à conclusão de que ocorre *absorção* de energia na quebra das ligações e *liberação* de energia na formação das mesmas.

Na *Atividade 3* (Apêndice III), os alunos tiveram a oportunidade de reformular seu modelo inicial, aplicando-o a diferentes contextos. Para tal, como comentado anteriormente, foram apresentadas, inicialmente, questões que favorecessem pensar sobre aspectos relacionados à conservação de massa em uma transformação química. Nesse sentido, todos ressaltaram corretamente que a massa sempre se conserva nas transformações químicas. Alguns até evocaram o princípio da conservação das massas, proposto por Lavoisier. Além disso, todos foram unânimes em destacar, a priori, que energia não é matéria, portanto, não tem massa.

Na seqüência, foi solicitada a elaboração de modelos para a reação de combustão do gás hidrogênio [ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ]. O modelo da reação simulando o rearranjo dos átomos foi corretamente expresso por todos. As proporções estequiométricas entre os reagentes e os produtos também foram corretamente consideradas, destacando-se as quantidades expressas na questão e confirmando as idéias 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, os alunos representaram, nos dois sistemas (aquecido e resfriado), setas indicando a *absorção* de energia nos reagentes e *liberação* nos produtos (figura 14).

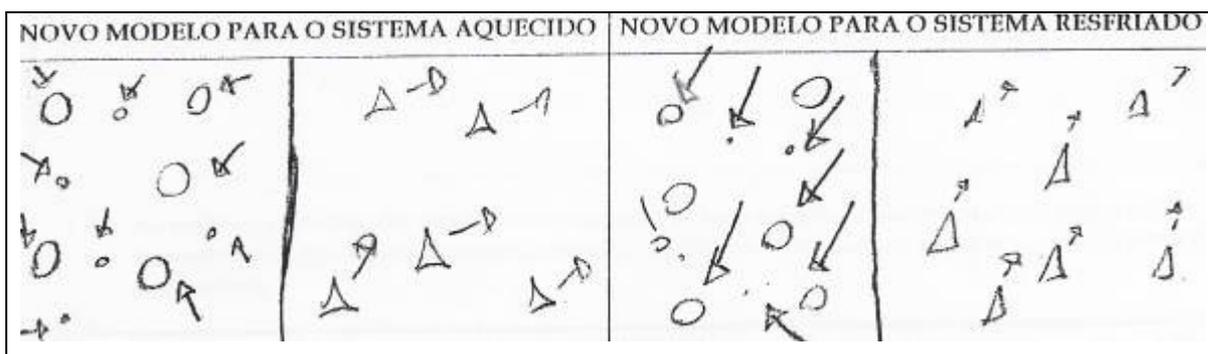


Figura 14. Modelo reformulado pelos alunos do G4 para os sistemas aquecido e resfriado.

Como se pode observar na figura 14, os reagentes (representados por bolinhas de dois tamanhos diferenciados) são separados dos produtos (representados por meio de um triângulo) com um traço (divisória), indicando que são situações distintas, ou seja, que se processam de maneira independente. Ao fazerem isto, os alunos parecem não expressar suas idéias 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 como endotérmico ou exotérmico. Porém, observamos que as setas indicando a *absorção* e *liberação* de energia possuem tamanhos diferenciados nos reagente e nos produtos. Tal fato pode ser constatado de forma evidente no novo modelo para o sistema resfriado, apresentado na figura 14.

Na explicação dos modelos, A5G4 ressaltou a idéia de *quebra* e *formação* das ligações no sistema aquecido, enquanto A3G4 destacou que o sistema *absorve* menos energia do que libera, sem dar maiores esclarecimentos. Para o sistema resfriado, as explicações estavam alicerçadas nas mesmas idéias apresentadas para o sistema aquecido.

Apesar de alguns componentes deste grupo não terem sido muito assíduos nas aulas, as discussões empreendidas entre eles sempre foram muito profícuas e inquietantes, com questionamentos bastante relevantes e que demonstravam um envolvimento nas atividades das quais participavam.

Na seqüência das discussões fomentadas pela estratégia, o aluno A4G4 apresenta 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 fomentado pelo questionamento anterior, envolvendo toda a turma, a professora retomou a questão da limitação dos modelos na explicação de alguns detalhes da reação. Além disso, leu a citação de Kant presente na *Atividade 4* (Apêndice IV), destacando as diferentes percepções inerentes ao fazer ciência (discussão de cunho filosófico) e as limitações dos modelos na explicação de diferentes 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 outros fatores, como entropia do sistema, afinidade química, energia interna, entre outros que fogem ao poder de previsão dos modelos elaborados para se descrever apenas os rearranjos dos átomos inerentes às transformações químicas. Ela também 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 A5G4, 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*”.

Em relação ao tempo de execução das atividades propostas, constatamos que o fato de a frequência às aulas dos alunos desse grupo ser bastante irregular resultou em uma necessidade de tempo muito maior para a realização das atividades. Na *Atividade 3* (Apêndice III), por exemplo, eles nem discutiram a última questão por falta de tempo.

Na primeira questão da atividade avaliativa final (Apêndice VI), que solicitou que os alunos propusessem uma explicação para o fato de a energia ter sido *gerada* no processo apresentado, eles responderam de duas maneiras distintas:

“*Absorção de energia na quebra das ligações e liberação em sua formação*” (A1G4);

“*Quebra de ligação libera energia*” (A4G4);

“*Átomos se ligam liberando energia*” (A3G4); e

“*Gerou energia, pois absorveu menos do que liberou*” (A4G4 e A5G4).

Embora todas as respostas contenham a idéia do balanço energético, apenas A1G4 conseguiu explicar tal idéia de forma completa.

A questão que solicitava a articulação de dados quantitativos para o cálculo da energia de ligação do produto formado não foi respondida corretamente por nenhum desses alunos.

Ao serem questionados sobre possíveis incoerências na representação das equações químicas destacadas para descrever os processos de fotossíntese e respiração, dois alunos apresentaram idéias 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.” (A1G4 e A4G4)*

Quando o mesmo questionamento foi feito em relação ao esquema apresentado, o aluno A1G4 destacou que a incoerência residia no fato de *“o esquema destacar a energia absorvida ou liberada no processo”*. Os alunos A2G4 e A4G4, por sua vez, apresentaram idéias não conclusivas para tal questão e os alunos A3G4 e A5G4 não a responderam.

Na questão seguinte, os alunos analisaram criticamente os modelos apresentados para a reação de combustão do hidrogênio, destacando: a proporção estequiométrica incorreta no primeiro modelo (A1G4 e A5G4); a não consideração da energia envolvida no processo (A3G4, A4G4 e A5G4); e a utilização incoerente de um símbolo de igualdade para representar a formação dos produtos no primeiro modelo (A2G5).

Quando foram questionados sobre a coerência da não representação, nos modelos em questão, da energia envolvida no processo, 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”* (A1G4, A3G4, A4G4 e A5G4), sem dar maiores explicações para tal fato. O aluno A2G4, 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 com o termo energia química, os alunos A1G4, A3G4 e A5G4 responderam que aquela ilustração era adequada para se exemplificar a idéia de energia química, uma vez que o combustível seria a energia que movimenta o automóvel. Os outros dois alunos responderam que não, destacando que *“o desenho seria muito superficial (pouco ilustrativo)”* (A2G4) e que *“permitiria associações*

*incorretas com o significado real de energia química*” (A4G4). O aluno A4G4, 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 seqüência, ao serem questionados sobre como explicariam a um colega da turma que o álcool queima *liberando* energia, as principais idéias expressas pelos alunos foram:

*“Busca de estabilidade do sistema com a liberação de energia.”*  
(A1G4);

*“Nem toda a energia envolvida no processo é usada, sendo que o excedente é liberado.”* (A2G4);

*“Cede energia térmica e O<sub>2</sub> para o álcool reagir e liberar calor.”*  
(A3G4);

*“O sistema absorve energia para quebrar as interações/ligações existentes entre os reagentes e libera energia ao formar os produtos.”*  
(A4G4);

*“Relação entre energia e calor”* (A5G4).

A idéia geral de balanço de energia está presente na maioria das respostas, variando apenas na maneira como é explicada.

Por fim, ao serem questionados sobre a possibilidade de substituir a palavra *libera* 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”* (A4G4), *“cedida”* (A2G4) e *“absorve”* (A3G4). Os demais alunos, no entanto, disseram ser coerente utilizar a terminologia *libera*.

Em relação a este grupo, é importante reafirmar que a idéia substancialista para a energia foi apresentada nas respostas durante todo o processo. O aluno A2G4, em determinado momento da socialização dos modelos, chegou a dizer: *“Eu vi o calor saindo da reação”*. O aluno A5G4, 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”*.

Capítulo 6

Vinícius Catão de Assis Souza

Ao final da socialização e discussão dos modelos, esses alunos chegaram a um que foi consensual (*absorve* energia para quebrar as ligações e *libera* para formá-las), o que lhes permitiu representar corretamente a idéia envolvendo o rearranjo dos átomos e as relações que permeiam a *quebra e formação* das ligações. Eles também destacaram ser muito mais fácil pensar nesta reação levando-se em conta a utilização dos modelos concretos.

DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

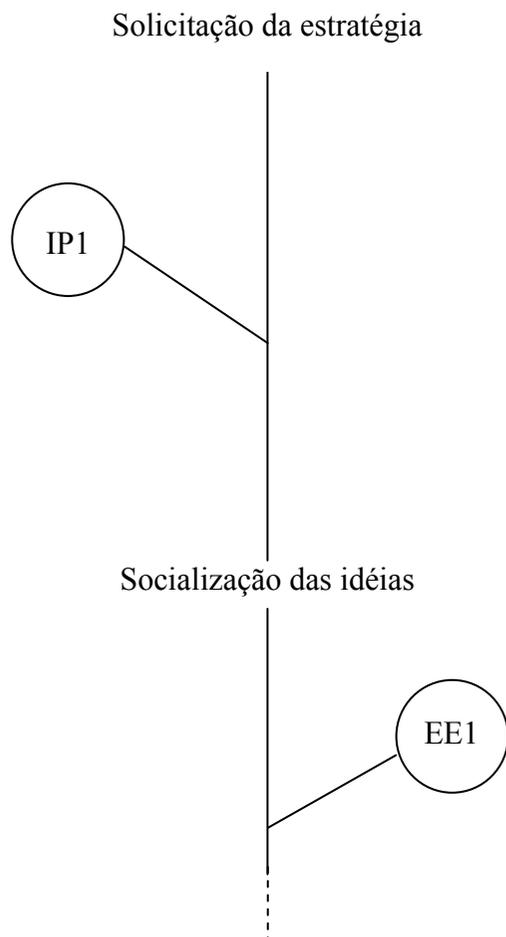
Idéias gerais sobre energia.

- Energia associada à força e fonte de poder.
- Energia como sinônimo de combustível, tendo diferentes formas de abrangência (digestão, atividade física etc.).
- Energia associada à capacidade de realizar trabalho.
- Energia química associada às reações químicas.

Atividade experimental demonstrativa.

- Sistema açúcar +  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.})$ : *aquecido*.
- Sistema  $\text{NH}_4\text{SCN}$  +  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ : *resfriado*.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

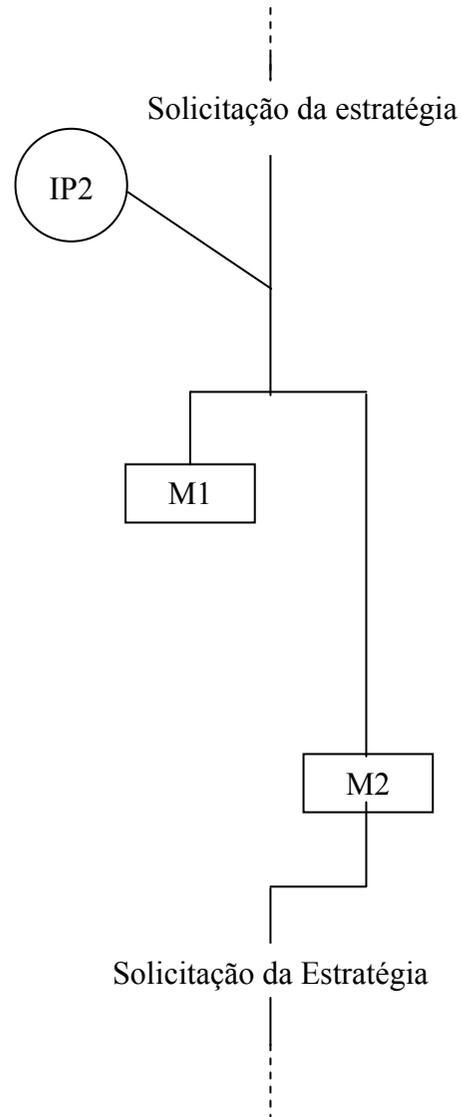
Idéias gerais sobre calor.

- Calor é a energia em trânsito.

- Elaboração do modelo inicial (desenho).

Idéias gerais sobre calor.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

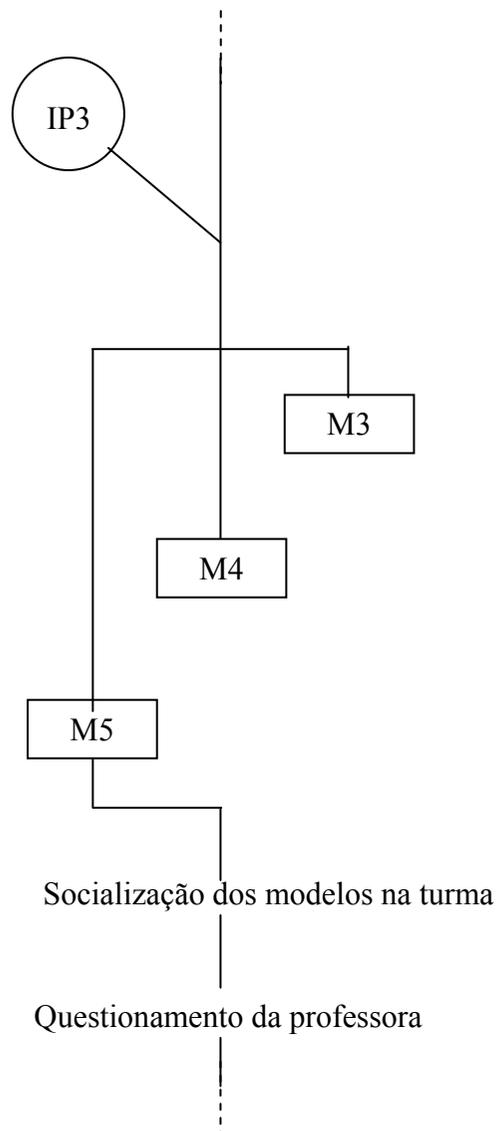
- Maior separação das partículas no sistema aquecido e uma maior união das mesmas no sistema resfriado.
- A energia utilizada durante a reação é menor do que a energia *armazenada* pelo sistema, sendo que a energia não utilizada é liberada para o ambiente na forma de calor.
- Vibração das partículas, indicando tal movimento com aspas ao redor delas e a *liberação* e *absorção* do calor por meio de setas.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- *Armazenamento* de energia.
- Fluxo de calor (calor entra e, em seguida, sai do sistema).
- Agitação térmica associada à energia cinética das partículas.
- Energia de ligação.
- Energia de ativação.

- Se o sistema resfria, precisa absorver energia?

## PROCESSO



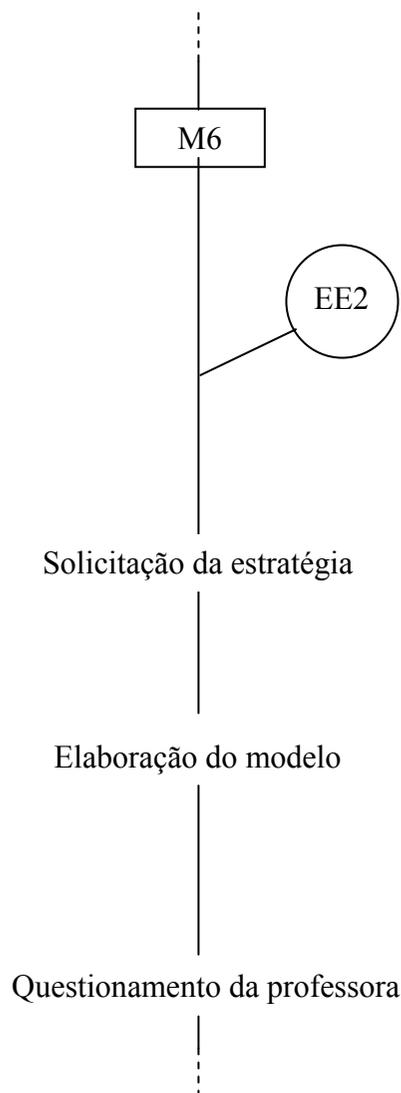
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Idéia de saldo energético final.
- Representação da *quebra e formação* das ligações químicas (rearranjo dos átomos).
- Fluxo de energia *entrando e saindo* do sistema, como se fosse algo material.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Dados empíricos para que os alunos concluíssem que as massas se conservam em uma transformação química (processo exotérmico).
- Elaborar um modelo (desenho) para simular a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio, representada pela equação:  
$$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}).$$
- Utilização de massa de modelar para descrever a transformação química envolvendo a combustão do gás hidrogênio.
- O que deveria ocorrer com as moléculas dos reagentes e dos produtos durante a reação?

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

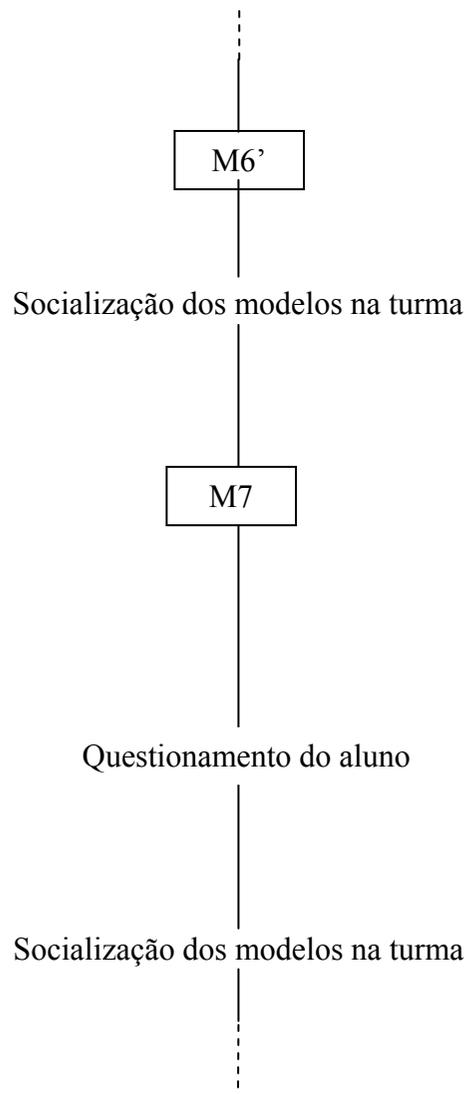
- *Absorção* de energia na *quebra* das ligações e *liberação* de energia na *formação* das mesmas.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Se todo sistema tende a um estado de menor energia, não seria incoerente a ocorrência de uma reação endotérmica, onde os produtos terão mais energia que os reagentes?



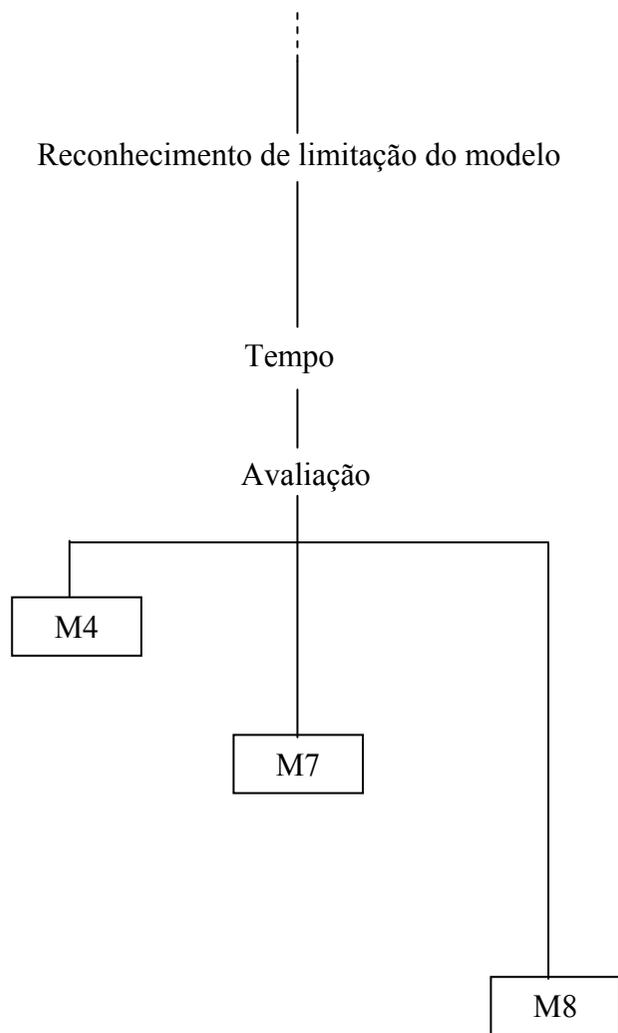
- *Absorção* de energia nos reagentes e *liberação* de energia nos produtos.
- Setas com tamanhos aparentemente diferentes nos reagentes e produto.

- *Quebra* e *formação* das ligações químicas (*absorção* e *liberação* de energia, respectivamente).
- Idéia de saldo energético final.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Os modelos são ferramentas que permitem explicar algo, mas são limitados em diversos aspectos.
- Limitação em termos energéticos (estabilidade das substâncias) para explicar os processos endotérmicos.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- *Quebra e formação* das ligações químicas (rearranjo dos átomos).
- *Quebra e formação* das ligações químicas (*absorção e liberação* de energia, respectivamente).
- Idéia de saldo energético final.
- *Quebra* da ligação *libera* energia.
- Idéia de saldo energético final.

## ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

Através da análise presente no diagrama construído para o estudo de caso do grupo 4, é possível destacarmos que as evidências empíricas, conforme ressaltado nos grupos anteriores, permitiram que os alunos buscassem em seus conhecimentos prévios elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações. Isso ocorreu, por exemplo, a partir das evidências experimentais 1 (EE1), que fomentaram o início de uma discussão sobre o conceito do calor. Os alunos, nesse contexto, recorreram à definição de calor trazida da física para expressar o que entendiam. Para todos eles, “*o calor é a energia em trânsito*”. Tal concepção destaca a relação que se estabelece entre dois corpos de temperaturas diferentes que tendem a um equilíbrio térmico.

As evidências experimentais 2 (EE2), por sua vez, tinham o objetivo de permitir aos alunos reformular uma possível idéia de calor como substância, indicando que há a conservação das massas em uma transformação química, mesmo depois que o calor é *liberado* ao final do processo. Com a execução dessa atividade, todos os alunos demonstraram em suas respostas uma idéia referente à conservação das massas. Além disso, destacaram também que energia não é matéria, ou seja, não tem massa. Porém, no decorrer da estratégia, constatamos que uma visão substancialista, que esperávamos ser reformulada pelos alunos nesse momento, ainda permanecia bastante latente em suas concepções a respeito do calor.

Em relação aos questionamentos promovidos pela professora, pelos próprios alunos do grupo e propostos nas atividades, podemos destacar que eles constituíram elementos bastante relevantes para o desenvolvimento do processo que levaram, por exemplo, à busca de novas informações que subsidiaram a construção de seus modelos. Tal fato foi observado, por exemplo, com o seguinte questionamento da professora: *O que deveria ocorrer com as moléculas dos reagentes e dos produtos durante a reação?*. Esse questionamento favoreceu a construção do modelo M6, por meio de novas idéias articuladas no grupo a partir do questionamento. Além disso, os questionamentos também contribuíram para a reflexão a respeito da aplicabilidade dos modelos propostos, para a identificação de possíveis limitações e conseqüente reformulação dos mesmos. Isso foi observado, por exemplo, na passagem do modelo M6 para o M6'. Alguns questionamentos e discussões levaram à recapitulação de idéias prévias que

pudessem ser aplicadas na construção e/ou explicação dos modelos (como aconteceu, por exemplo, nas transições de M6' para M7). Finalmente, a socialização dos modelos foi essencial para que os alunos percebessem as possíveis inconsistências nos mesmos. Isso porque eles passaram a analisar de maneira crítica os atributos apresentados nos modelos dos demais grupos, articulando e incorporando novas idéias que complementassem os seus modelos.

Em relação às idéias prévias dos estudantes, essas foram importantes para propor a explicação para a origem do calor envolvido nos processos químicos. Muitas das concepções apresentadas pelos alunos estavam alicerçadas em conteúdos estudados anteriormente na biologia, física e química, pois a energia é uma temática que perpassa vários conteúdos dessas disciplinas. Tais idéias favoreceram a percepção dos processos em estudo, conduzindo os alunos a uma melhor compreensão dos mesmos, favorecendo, assim, a construção dos modelos que explicariam a *energia envolvida nas transformações químicas*.

Em relação à forma de comunicação dos modelos, podemos destacar que a expressão concreta dos mesmos contribuiu para a explicitação das idéias dos alunos para a turma. A expressão de forma verbal permitiu que o grupo apresentasse elementos do modelo impossíveis de serem expressos concretamente (como os aspectos energéticos que permeiam a união dos átomos, as questões de estabilidade, entre outras), além de promover a reflexão sobre o próprio modelo ao expressá-lo.

Em relação ao modelo inicial para o calor envolvido nas transformações químicas em estudo (M1), é possível inferir que, durante sua elaboração, os alunos levaram em consideração o modelo cinético-molecular das partículas utilizado anteriormente para estudar diversos fenômenos como, por exemplo, as mudanças de estado físico.

Durante a discussão dos modelos elaborados, o grupo destacou que “*o sistema contendo ácido sulfúrico e açúcar ‘recebeu’ energia do ambiente para processar a reação*”. Em relação ao sistema que resfriou, o aluno A2G4 destacou que “*no decorrer desta reação não pode ter ocorrido liberação de energia, pois o sistema se resfriou*”. Considerando-se que ele, inicialmente, não expressou uma compreensão da idéia de saldo final de energia (*absorção* de energia pelos reagentes na *quebra* das ligações para posterior rearranjo dos átomos, formando novas ligações nos produtos, com *liberação*

de energia), consideramos que esse aluno demonstrou uma visão do calor como substância no processo.

Após algumas discussões, eles chegaram à conclusão de que ocorre *absorção* de energia na *quebra* das ligações e *liberação* de energia na formação das mesmas. Porém, essa idéia precisava ser aplicada a outro contexto para confirmar ou não sua apropriação por todos. Embora já tivessem começado a reformular suas concepções, eles ainda mantinham uma idéia aparentemente substancialista em relação à energia, tendo em vista suas respostas e os fundamentos que utilizavam para construí-las (idéia de *armazenamento* de energia, ou seja, a energia é *absorvida* e *liberada* do sistema, como se estivesse condicionada nele). Tal evidência pode ser observada no modelo M5.

Porém, conforme ressaltamos anteriormente, todos os alunos foram unânimes em destacar, a priori, que energia não é matéria e que, portanto, não tem massa. Este já seria um primeiro passo para que eles comessem a reformular as concepções substancialistas que ainda persistiam em suas idéias, pensando criticamente sobre elas. Entretanto, alguns alunos ainda apresentavam idéias aparentemente substancialista no momento em que se referiam verbalmente aos fenômenos envolvendo o calor. Tal fato pode se relacionar a uma dificuldade lingüística de se encontrar uma terminologia pertinente que se ajuste conceitualmente ao que se pretende explicar, conforme discutiremos posteriormente ao tratarmos da linguagem utilizada no contexto de ensino.

Na explicação dos modelos, A5G4 ressaltou a idéia de *quebra* e *formação* das ligações no sistema aquecido, enquanto A3G4 destacou que o sistema *absorve* menos energia do que *libera*, sem dar maiores esclarecimentos. Para o sistema resfriado, as explicações estavam alicerçadas nas mesmas idéias apresentadas para o sistema aquecido. Isso parece mostrar que os alunos compreendiam o processo, mas ainda mantinham uma dificuldade na compreensão do saldo energético final do sistema. Isso pode ser justificado pelo fato de os componentes deste grupo não terem apresentado uma considerável assiduidade nas aulas, o que certamente comprometeu o processo como um todo, tendo em vista que as atividades possuem um nível de encadeamento de idéias importante de ser seguido, visando favorecer a aprendizagem dos alunos.

Na discussão que se sucedeu, o aluno A5G4 disse que o sistema resfriado tinha que “*pegar menos energia e liberar mais*”. Tal idéia, conforme destacamos anteriormente, parece indicar que o aluno ainda estava pensando em uma relação

substancialista, isto é, que a energia *transita* para dentro e para fora do sistema como se fosse algo material, fazendo com que ele se resfrie (calor que *sai*) ou se aqueça (calor que *entra*). Em outras palavras, o aluno parecia considerar que a sensação de quente é proveniente do calor que estava *armazenado*, para manter um gradiente de temperatura, e que sai do sistema em algumas transformações químicas, resfriando-o. Sendo assim, o sistema teria menos energia, pois certa quantidade que estava *armazenada* foi *liberada*, levando o mesmo a se resfriar (na concepção substancialista, se o calor foi *liberado*, o sistema teria que se resfriar, pois o calor seria como um fluido material que sai do sistema). Além disso, tal idéia nos dá a impressão de que ele estava pensando na existência de dois sistemas distintos, não caracterizando a propagação do calor por meio da condução, o que resultaria nas percepções energéticas (quente ou frio) do sistema em questão. Mais uma vez cabe ressaltar que tais dúvidas do aluno talvez possam ser justificadas por sua ausência em algumas atividades do processo de ensino.

Em termos da avaliação, conforme observado também nos demais grupos, constatou-se uma dificuldade aparente na transposição dos aspectos qualitativos para os quantitativos por parte de todos os alunos. Isso pode ser explicado tendo em vista que a ênfase da estratégia estava na parte processual das transformações químicas.

Em relação à idéia de balanço de energia, é interessante observar que ela está presente na maioria das respostas, variando apenas na maneira como é explicada. Isso parece indicar que alguns alunos concebem em seus modelos finais a relação de *absorção* de energia para a *quebra* das ligações dos reagentes e *liberação* de energia na *formação* de novas ligações nos produtos. Porém, é importante salientar que eles demonstravam em suas falas e em alguns modelos que as idéias substancialistas ainda estavam muito presentes.

Em relação a este grupo, a idéia substancialista para a energia foi apresentada nas discussões empreendidas durante todo o processo. Como destacado anteriormente, o aluno A2G4, em determinado momento da socialização dos modelos, chegou a dizer “*eu vi o calor saindo da reação*”. Acreditamos que ele possa ter dito isso por já ter observado situações em que ocorre uma “*deformação*” no ar situado imediatamente acima de uma superfície muito quente. Isto é muito freqüentemente chamado de “*fumaça*”, e pode ter sido interpretada como sendo uma imagem concreta do calor *desprendido*, o que seria coerente com a visão substancialista do calor demonstrada com

freqüência pelo grupo. É importante destacar que os alunos desse grupo transitavam, de forma pragmática, entre o modelo de *quebra e formação* das ligações e o modelo substancialista, utilizando ora uma idéia, ora a outra.

Os alunos A1G4 e A3G4, apesar de apresentarem ao final um modelo para explicar as transformações químicas bastante próximo do modelo curricular, pareciam ainda ter alguma dificuldade no entendimento da idéia de saldo energético final que deveria ser expresso ao término do processo. Os alunos A2G4 e A5G4 representaram idéias abstratas em seus modelos, indicando a energia por meio de setas não identificadas no decorrer do processo, mas que representavam a energia sendo *absorvida* nos reagentes e *liberada* nos produtos. O aluno A4G4, por sua vez, associou a idéia da energia *liberada* nas transformações químicas à quebra da ligação. Isso pode ser relacionado a uma idéia estudada na biologia: de que ao se *quebrar* uma molécula de ATP, *libera-se* energia. Essa concepção demonstra que o aluno ainda persistia com a idéia do calor com substância, idéia essa que pode ser associada à quebra de algum recipiente, levando à liberação de algo que estava acondicionado nele. O mesmo pode-se inferir a respeito do modelo apresentado por A2G4 e A5G4, destacando idéias representadas por setas, que poderiam ou não indicar uma *liberação* material do calor.

Ao final da socialização dos modelos e discussão dos mesmos, os alunos deste grupo chegaram ao modelo M7, o que lhes permitiu representar corretamente a idéia envolvendo o rearranjo dos átomos e as relações que permeiam a *quebra e formação* das ligações, destacando ser muito mais fácil pensar nesta transformação levando-se em conta a utilização dos modelos concretos. Porém, embora o processo se apresentasse claro para eles (idéia referente ao rearranjo dos átomos – *quebra e formação* das ligações), a associação com o saldo final de energia ainda parecia ser uma barreira, tendo em vista que a concepção substancialista de energia, de acordo com algumas das respostas apresentadas na avaliação final do conteúdo, ainda se mantinha presente em suas respostas. Sendo assim, em relação aos modelos expressos na avaliação final da estratégia, podemos destacar que:

- os alunos A1G4 e A3G4 apresentaram idéias relacionadas ao modelo M4, indicando apenas *quebra e formação* das ligações químicas (rearranjo dos átomos);

- o aluno A4G4 apresentou idéias relacionadas ao modelo M7, destacando a *quebra* e a *formação* das ligações químicas (*absorção* e *liberação* de energia, respectivamente), além de expressar a idéia de saldo energético final
- os alunos A2G4 e A5G4, por sua vez, destacaram a idéia substancialista de que a quebra da ligação *libera* energia (idéia trazida da biologia e associada à molécula de ATP).

Tais modelos finais confirmam a prevalência de uma concepção substancialista. Conforme destacamos anteriormente, essa idéia é muito simples e fácil de ser compreendida, convencendo aqueles que a utilizam. Além disso, embora não seja coerente cientificamente, ela se apresenta bastante plausível para as explicações superficiais utilizadas no dia-a-dia (escolar ou não).

Por fim, cabe ressaltarmos que os componentes desse grupo não eram assíduos às aulas, sendo que em alguns dias estavam presentes apenas dois alunos dos cinco que constituíam o grupo. No Apêndice VII está disponível a tabela dos grupos com os respectivos códigos dos alunos e as atividades que eles realizaram ou não no decorrer da estratégia de ensino. Nessa tabela, constatamos as oscilações em relação à assiduidade do grupo 4.

## **CAPÍTULO 7. ANÁLISE GERAL DA APRENDIZAGEM**

### **DISCUTINDO A UTILIZAÇÃO DE ATIVIDADES DE MODELAGEM NO ENSINO DOS PRINCIPAIS ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS**

A estratégia de modelagem foi utilizada como uma abordagem para se ensinar um tema que tem se mostrado de difícil compreensão pelos alunos: a energia envolvida nas transformações químicas. Antes de iniciarmos efetivamente uma análise geral da aprendizagem, é importante ressaltarmos que o envolvimento dos alunos em atividades de modelagem ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos e informações e tende a favorecer o desenvolvimento de um conhecimento flexível e crítico que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (Clement, 2000). Sendo assim, a introdução de estudantes em atividades de modelagem pode, além de contribuir para a construção de conhecimentos específicos, ajudar o aluno a construir seus próprios modelos, avaliar os seus e outros modelos usados no ensino e na ciência, além de compreender o próprio processo de modelagem – sob um aspecto geral e na ciência, em específico. Desse modo, o aluno se torna sujeito ativo do seu próprio processo de construção do conhecimento, estando engajado em atividades que propiciam a reflexão crítica sobre o objeto em estudo e, conseqüentemente, uma aprendizagem significativa em relação a uma determinada temática.

Além disso, envolver estudantes em atividades de modelagem tende a favorecer que eles percebam os modelos como importantes ferramentas na prática científica e conheçam a estreita relação dos mesmos com o desenvolvimento de teorias (no sentido de que modelos podem ser usados como instrumentos de exploração tanto no domínio prático quanto no teórico, como mediadores entre teoria e fenômeno (Morrison & Morgan, 1999b). Além disso, para entender ciência, os estudantes devem saber como os modelos são construídos e validados, reconhecendo os diferentes caminhos trilhados para se desenvolver o conhecimento científico até que ele seja instituído e aceito por um determinado grupo.

Considerando-se os pressupostos destacados anteriormente, a estratégia baseada em modelagem elaborada foi aplicada aos alunos. A análise desta situação de ensino nos levou a conclusões que merecerem algumas especulações mais pormenorizadas.

De início, devemos ressaltar que tal estratégia de ensino apresentou o objetivo de favorecer aos alunos o desenvolvimento de uma percepção relacionada ao processo de rearranjo de átomos, inerente a toda transformação química, levando-os a relacionar os aspectos energéticos que permeiam tal processo. Para isso, foram criados contextos que permitiram aos alunos desenvolver suas idéias de forma gradual, pensando e repensando nos modelos que iam emergindo na interação favorecida pela estratégia.

Ao elaborarmos a estratégia, levamos em consideração algumas relações históricas que seriam utilizadas de modo particular em determinadas situações, dando-nos o subsídio para articular algumas idéias que proliferaram no contexto científico por longos anos e que, surpreendentemente, ainda estão bastante vívidas em nossos dias. Uma dessas idéias tem a ver com as relações substancialistas que se mostram presentes em nosso dia-a-dia, refletindo-se de modo notório no contexto escolar. Tal idéia, que se apresenta discreta à primeira vista, parece estar incorporada à estrutura cognitiva dos alunos, levando-os a utilizá-la de forma indiscriminada em diferentes contextos. Buscando articular e favorecer a modificação de tais idéias, foram propostas as questões 1 e 2 da Atividade 3 (Apêndice III). Tais questões permitem que os alunos repensem suas idéias de modo mais crítico e reflexivo, reformulando os modelos criados inicialmente.

Porém, mesmo após a realização dessa atividade, um considerável número de alunos ainda permanecia com as concepções substancialistas bastante evidentes em seus modelos, falas e respostas. Um fator que pode ter influenciado na manutenção dessas idéias foi a linguagem utilizada nos diferentes contextos de ensino (falas da professora, material escrito das atividades e livro didático – mesmo que este tenha sido raramente utilizado pelos alunos durante as aulas analisadas neste trabalho).

Nas aulas que analisamos, a professora preocupou-se com a questão da linguagem, tentando não dar ênfase a aspectos nitidamente substancialistas às vezes presentes em sua fala. Tal fato foi observado em um trecho do diálogo estabelecido com os alunos do grupo 1, em que ela apresenta o seguinte questionamento: *vamos dizer... será que ele [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] “contém”, **entre aspas**, esta energia potencial?.* Porém, por maior

que tenha sido a cautela em suas palavras, em algumas situações a idéia substancialista esteve presente nelas, como na seguinte frase: *o calor é consequência da liberação de energia....* Exemplos como esses apontam o quanto é difícil nos apartarmos dessas “armadilhas” da linguagem. Conforme discutimos no início deste trabalho, a palavra *libera* não é coerente neste contexto, pois nos trás uma idéia de algo que estava acondicionado fisicamente e não de uma entidade abstrata, como a energia. Mas, nesse contexto, que outra palavra poderia ser usada que não traria tal sentido? Acreditamos que nenhuma!

Percebemos, então, que nos encontramos um tanto quanto prisioneiros de nossa linguagem. Mas o conhecimento não se constrói com o silêncio e atitudes inertes. Ele se constrói em meio à ebulição de idéias, favorecendo uma reflexão crítica sobre o saber e uma articulação real do conhecimento por parte de quem aprende. Por isso, o erro e as vicissitudes inerentes ao ensino devem ser vistas de forma positiva pelos professores, tendo em vista que elas devem ser transformadas em aliadas para a construção do conhecimento e não em empecilhos. Isso porque tais situações nos favorecem a conduzir os alunos a um pensamento mais elaborado e reflexivo, a partir do qual o saber científico vai se alicerçando em patamares bastante sólidos em relação aos distintos construtos teóricos.

Por isso acreditamos que, antes de utilizarmos essas terminologias que permitem associações substancialistas, é fundamental deixar todo o processo relacionado às transformações químicas bastante explícito para os alunos, indicando as relações envolvendo o rearranjo dos átomos e os aspectos energéticos que permeiam o processo. A partir de uma garantia de que essas idéias estão bem compreendidas, tais palavras poderiam até ser usadas. Nesse sentido, a estratégia de modelagem foi de grande utilidade, tendo em vista que os alunos puderam conceber todo o processo que permeia o rearranjo dos átomos, tendo uma idéia real das relações energéticas envolvidas nas transformações químicas, caracterizando o processo como endotérmico ou exotérmico em termos do saldo energético final.

Outro aspecto relacionado à questão lingüística também merece ser ressaltado nesse contexto. Muitas vezes, cientistas raciocinam empregando analogias e palavras com sentido metafórico. Professores podem até mesmo utilizar termos semelhantes, mas um cuidado especial deve ser tomado ao enfoque dado a esses termos. Isso porque os

Vinícius Catão de Assis Souza

alunos podem empregar tais termos sem demonstrar um real entendimento dos mesmos no contexto em estudo. Os cientistas e os professores, por sua vez, devem buscar a utilização de uma linguagem que objetive facilitar a comunicação e o entendimento com o aluno. Assim, deve-se tomar cuidado com o uso superficial de termos do tipo *o calor saiu do sistema, o calor entrou no sistema, a energia está armazenada na molécula*. Isso porque se uma linguagem desconexa da concepção científica for aplicada em excesso, passa a ter um significado literal para os alunos, o que gera explicações incompatíveis com as idéias aceitas na ciência.

Considerando-se o processo de elaboração e reelaboração de modelos presente nas atividades da estratégia de ensino aqui analisada, é importante destacarmos que no grupo piloto havíamos descrito o seguinte comando no quadro fornecido aos alunos para a elaboração dos modelos:

<b>MODELO 1 – LIBERA ENERGIA</b>	<b>MODELO 2 – ABSORVE ENERGIA</b>
<b>EXPLICAÇÃO DOS MODELOS</b>	

Entretanto, após inúmeras reflexões, discussões com alguns professores e também mediante a constatação de que tais palavras poderiam reforçar as concepções substancialistas nas respostas dos alunos, decidimos mudar a terminologia utilizada inicialmente. Para tais reflexões, muito contribuíram os questionamentos feito por uma aluna na aplicação piloto das atividades: *“Como o sistema pode ter liberado calor para o ambiente se ele se aqueceu? E como pode ter absorvido calor se lá dentro ficou frio?”*. Tais questionamentos fizeram com que pensássemos que os termos empregados na solicitação poderiam ter levado a aluna a pensar assim. Desse modo, decidimos modificar as expressões para:

<b>MODELO 1 – SISTEMA AQUECIDO</b>	<b>MODELO 2 – SISTEMA RESFRIADO</b>
<b>EXPLICAÇÃO DOS MODELOS</b>	

Segundo Mortimer e Scott (2003), o significado de algum termo ou conceito é considerado como polissêmico e polifônico, criado na interação com o outro e, somente então, internalizado pelo indivíduo. Sendo assim, os professores devem estar bastante atentos à linguagem utilizada em sala de aula e às idéias que as palavras carregam com seus múltiplos significados.

As propostas mais recentes de ensino de química têm como um dos pressupostos a necessidade do envolvimento ativo dos alunos nas aulas, em um processo interativo professor/aluno, em que os horizontes conceituais dos alunos sejam contemplados. Isso significa criar oportunidades para que eles expressem como vêem o mundo, o que pensam, como entendem os conceitos, quais são as suas dificuldades etc. Além disso, considerando-se a linguagem como ferramenta do conhecimento, acreditamos que deve ser dado a ela um tratamento muito cuidadoso para que ela cumpra adequadamente a sua função no ensino de química, levando à construção de um conhecimento científico repleto de significado para o aluno. A figura 15 apresenta um diagrama, baseado em Guidoni (1985), que procura sintetizar esquematicamente tais concepções e suas inter-relações:

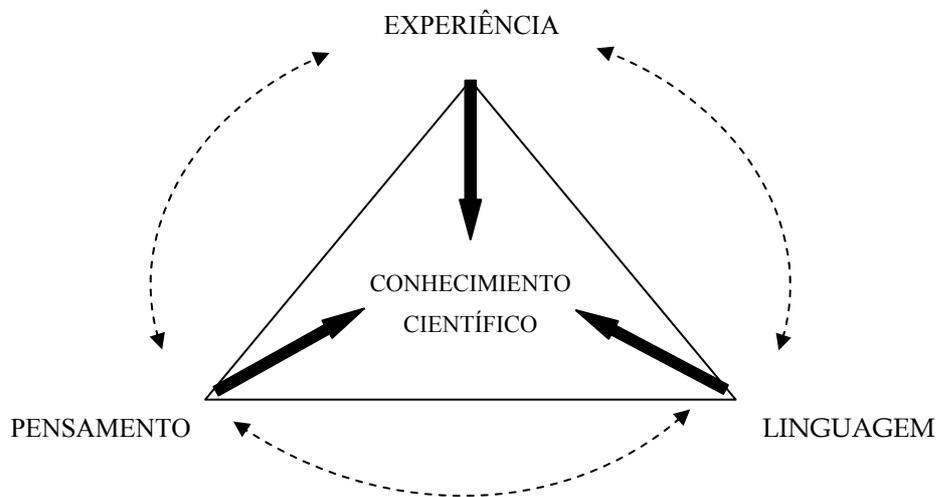


Figura 15. Esquema cognitivo de construção do saber científico em um indivíduo.

De acordo com Souza (2007), em um ensino de química que tende a fomentar a construção do conhecimento junto aos alunos, torna-se necessário desenvolver neles a habilidade de transitar pelas vertentes do fazer científico, demonstrando-lhes as inúmeras limitações para a construção do saber, como a da linguagem usada para expressá-lo. Ou seja, demonstrar que até mesmo na atividade científica somos

prisioneiros de uma rede de linguagem e vivências, com caráter altamente subjetivo, no qual eu vejo o outro e, conseqüentemente, os diferentes contextos e situações problema pela minha ótica do certo e do errado, a partir do meu julgamento. Por isso, torna-se importante para os alunos que eles próprios estejam aptos a fazer ciência, construindo seus próprios saberes de forma subjetiva e autônoma, sem receber nada pronto, conforme favorecido pela dinâmica proposta nas atividades de modelagem.

No contexto de modelagem, além das questões inerentes à linguagem, devemos discutir aspectos referentes às diferentes formas de representação de energia/calor utilizadas pelos alunos em seus modelos, como as setas, as aspas ao redor de algumas partículas, entre outras.

As setas podem ou não apresentar uma concepção substancialista, dependendo do contexto ao qual se relacionam. Isso foi observado, por exemplo, nas representações feitas pelos alunos dos grupos 2 e 4, que utilizaram freqüentemente setas em suas representações, dando-nos a idéia do calor como algo físico que emana de um sistema.

Ainda em relação às formas de representação, algumas dificuldades na aprendizagem dos alunos podem ter tido como causa a limitação apresentada por eles ao modelar uma idéia abstrata como a de energia utilizando materiais concretos (desenho, massa de modelar etc.). Por isso, buscamos focar nessa estratégia a criação de modelos para descrever as transformações químicas – processo passível de representação concreta – e a energia envolvida nesse processo, cujo saldo final caracteriza o processo como exotérmico ou endotérmico.

Em termos do processo de ensino como um todo, é importante ressaltarmos mais uma vez o papel de uma estratégia alicerçada em modelagem no aprendizado dos alunos, sobremaneira no de um conteúdo em que ensino tem-se mostrado problemático. Como o professor não apresenta um modelo *pronto* ao aluno, mas *alvos* que o façam conectar seus conhecimentos anteriores com as idéias atuais ou, ainda, que os façam repensar e modificar suas idéias anteriores, é possível que o aluno perceba limitações ou incoerências em seu modelo, buscando modificá-lo ou mesmo substituí-lo por outro mais adequado. Nesse processo, o aluno pode propor um novo modelo que seja compatível com os novos *alvos* ou capaz de explicar uma determinada situação problema. Ao se ensinar esse tema, via modelagem, as informações apresentadas pelo

professor aos alunos podem fazer mais sentido para eles, visto que eles deverão realmente compreendê-las a fim de serem capazes de elaborar um modelo.

Finalmente, ao analisarmos a utilização desta estratégia de ensino fundamentada em modelagem, constatamos também que os alunos se envolveram bastante em todas as etapas do processo, principalmente naquelas resultantes da introdução de questões bastante desafiadoras e 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 idéias anteriores, com as evidências e informações às quais eles tiveram acesso, e com as idéias discutidas no grupo ou entre os grupos. Como resultado, a maior parte dos alunos foi capaz de elaborar e reformular seus modelos.

**DISCUTINDO COMO A UTILIZAÇÃO DE ASPECTOS HISTÓRICOS, REFERENTES AO DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO SOBRE ENERGIA, PODEM FAVORECER A COMPREENSÃO DOS MODELOS ELABORADOS DURANTE A ESTRATÉGIA DE ENSINO**

Desde a Idade Média, com a noção de calórico, alguns autores sugerem que a energia é uma espécie de substância quase material presente em grande parte dos fenômenos térmicos que nos rodeiam. Essa definição que caracteriza a energia como se fosse um fluido, coincide basicamente com o significado que usamos em nosso dia-a-dia. Embora seja de mais fácil apreensão, esta definição cria obstáculos para a aprendizagem do modelo científico referente à energia, pois ela não é uma espécie de ingrediente que os corpos possuem.

Por isso, como destacado anteriormente, antes de utilizar as palavras *libera* e *absorve* no contexto termoquímico, é necessário deixar claro todo o processo de rearranjo de átomos para os alunos, objetivando a não criação de possíveis concepções substancialistas, presentes de modo considerável em nossas falas cotidianas.

Como foi mencionado no texto histórico apresentado no Capítulo 2, na combustão havia 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 sai* 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 e, por conseguinte, das transformações químicas envolvendo calor.

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 idéia de que o calor está contido no sistema, o que é errado, pois um processo não pode estar contido em nada. Tal idéia foi observada pelos modelos iniciais criados pelos alunos de todos os grupos, que se remetiam ao modelo cinético molecular das partículas.

Na Atividade 1, percebemos que os alunos de todos os grupos associaram algumas idéias sobre energia à força, vigor físico e disposição. Isso pode ser relacionado ao fato de, na história da filosofia, 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”. Não é de se estranhar, então, que energia seja comumente utilizada como sinônimo de *força* ou de *potência*. Também não é de se estranhar que lhe seja associada a idéia de que é uma virtude ou propriedade do objeto ou ser.

Até aquela época, só se conhecia a transferência de energia em forma de trabalho, isto é, através de forças que levariam a deslocamentos, como levantar um peso ou deformar um corpo. Em 1807, o físico inglês Thomas Young (1773-1829) propôs que a energia fosse definida como a capacidade para realizar trabalho, conceito que é até hoje amplamente utilizado na física. Contudo, pode-se perceber que essa definição nada diz sobre a natureza mais específica da energia, sobretudo da energia envolvida nas transformações químicas. Com a demonstração da equivalência entre calor e trabalho, o conceito foi expandido. Mais corretamente, trabalho passou a ser considerado como uma das formas de transferência de energia, idéia que é refutada com base nas leis da termodinâmica (Santos, 1999). Apesar disso, ainda é da maneira antiga que muitos livros definem energia e continuam a confundir calor com energia, denominando-o “energia térmica”. Tal confusão foi nitidamente observada nas respostas dos alunos na Atividade 1, quando eles associaram o termo energia às palavras força ou trabalho.

Além disso, é muito comum observarmos que a idéia do princípio de conservação é facilmente confundida com a idéia de “armazenamento” de energia no interior de um sistema material. Tal fato pode ser explicado levando-se em consideração a idéia concebida no século XVII de que o trabalho realizado por um sistema podia ser

“armazenado” de alguma maneira no interior do mesmo e que o “trabalho armazenado” era sempre igual ao “trabalho realizado”.

Conforme destacamos no texto histórico inicial, coexistiu por mais de um século uma disputa entre a teoria substancialista e a teoria mecanicista do calor. De acordo com J. Silva (1998), tais idéias sobre a natureza do calor coexistiram até a aceitação da lei da conservação da energia, embora tivesse prevalecido a teoria mecanicista. Porém, o modelo material para o calor – a teoria do calórico – deixou alguns resquícios em termos da linguagem empregada em diferentes situações envolvendo o calor.

De acordo com Brown (1950), o conceito de 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 explicar porque os alunos tendem a pensar que o calórico sai, fazendo com que o corpo fique menos denso do que o ar e com que ocorra uma expansão dos gases em temperaturas maiores. Esta idéia foi observada nos modelos iniciais criados pelos alunos dos grupos 3 e 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). Além disso, J. 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 um fluido que penetrava os corpos e, portanto, podia ser *transferido*, *conduzido*, *absorvido*, *liberado*. Além disso, as idéias de capacidade calorífica e calor específico se associavam às capacidades de contenção do calórico pelos sistemas.

Por isso acreditamos que a idéia 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 a idéia 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 idéia do movimento ou atrito das partículas ao calor inerente a um corpo. Isso pode ser constatado, por exemplo, pelo 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 idéia, os alunos estabeleceram associações incorretas, apresentando idéias do calor como o *produto* de algum movimento, sem relacionar tal fato à idéia de conservação/ transformação da energia (energia cinética se transforma em energia térmica).

Outra associação que merece destaque refere-se à agitação molecular, conforme nos é apresentada no modelo cinético molecular das partículas. Isso fez com que alguns alunos utilizassem a idéia do calor como sendo sinônimo de temperatura (grau de agitação das partículas), o que não apresenta pertinência do ponto de vista científico. Em alguns modelos (como o apresentado na figura 14), os alunos representaram a energia como setas e, em suas explicações, enfatizaram que o aumento da agitação das partículas era responsável pelo aumento da temperatura do sistema. Tais idéias estão em consonância com a idéia do calórico, ou seja, fluido material que se deslocava de um corpo a outro, de modo que um corpo perde e o outro ganha, se aquecendo ou se resfriando.

## CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

### ALGUMAS CONSIDERAÇÕES GERAIS

O principal objetivo desta proposta de ensino foi permitir a compreensão de *como* o processo referente ao rearranjo dos átomos ocorre nas transformações químicas, facilitando o entendimento de aspectos energéticos relativos ao processo, impossíveis de serem compreendidos pela simples observação deste ou pela manipulação de fórmulas. Além disso, buscou-se fazer com que aspectos relacionados à *quebra e formação* de ligações, inerentes a toda transformação química, fossem utilizados no processo de modelagem, favorecendo a construção de modelos que subsidiassem a explicação do saldo energético final do processo – o que permitiria aos alunos caracterizar os processos químicos como endotérmicos ou exotérmicos. Antes de discutirmos nossas conclusões desta investigação, julgamos importante destacar dois pontos que marcaram a redação deste trabalho.

No decorrer da dissertação, procuramos utilizar a terminologia *reação química* para descrever uma representação estática do processo ou para se referir aos reagentes e produtos em um sistema. Acreditamos que a melhor expressão para se referir ao processo químico descrito pelas equações, dando uma idéia de dinamismo, seria *transformações químicas*. 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 idéia envolvendo o rearranjo dos átomos, os alunos devem ter a idéia 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 idéias substancialistas corroboradas por uma linguagem superficial utilizada em livros e situações de ensino.

Além disso, sempre que alguma palavra utilizada no decorrer deste texto pudesse permitir uma compreensão substancialista do processo, como as palavras *libera*, *absorve*, *armazenada* etc., elas foram destacadas em itálico para que pudessem ser melhor identificadas pelo leitor e para destacar que as percebíamos como problemáticas.

### CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA

A presente pesquisa investigou o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre aspectos qualitativos relacionados à energia envolvida nas transformações químicas.

No decorrer do processo, observamos o engajamento dos alunos na realização de todas as atividades de modelagem, com discussões relevantes estabelecidas entre os grupos e, em alguns momentos, com toda a turma. Tal dinâmica favoreceu a articulação do conhecimento que estavam produzindo, apresentando e debatendo suas idéias com toda a turma e com a professora. Acreditamos que esse engajamento dos alunos contribuiu decisivamente para o desenvolvimento do processo de aprendizagem.

Nesse contexto, é importante ressaltarmos que o processo de construção do conhecimento ocorre a partir do estabelecimento de relações conceituais, em que esquemas mentais são elaborados pelos alunos para compreender os novos conceitos introduzidos em sala de aula. O papel do professor é o de articular os conceitos, estabelecendo desafios cognitivos que estimulem os alunos a construir novos esquemas explicativos para os diferentes fenômenos.

Conforme foi possível perceber através da análise dos estudos de caso (Capítulo 6), o desenvolvimento gradual das idéias no processo, a interação entre os grupos, a socialização de idéias e a necessidade de integrar conhecimentos prévios a um novo contexto de estudo foram pontos fundamentais no desenvolvimento das idéias dos alunos.

Em termos do aprendizado relacionado à questão energética envolvida nas transformações químicas, podemos afirmar que o processo de ensino fundamentado em modelagem contribuiu decisivamente para a compreensão de vários aspectos qualitativos sobre o tema, essencialmente relacionados a *como* o rearranjo de átomos ocorre durante o processo. Além disso, os estudantes 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.

Na avaliação final, merece destaque o bom desempenho dos integrantes do grupo 1. Tais alunos se mostraram inicialmente bastante inibidos, mas as dinâmicas estabelecidas na estratégia favoreceram uma maior desenvoltura na medida em que eles

tiveram que articular as idéias desenvolvidas com o grupo, a professora e a turma. Em relação aos demais grupos, constatamos que, na avaliação final, os alunos do grupo 1 demonstraram uma melhor compreensão dos aspectos energéticos estudados, articulando e extrapolando idéias relativas ao tema em estudo. Tal constatação pode ser justificativa pela intensa participação dos alunos nas sucessivas construções e reconstruções de seus modelos, aplicando-os a outros contextos, integrando e relacionando vários aspectos trabalhados ao longo do processo.

É importante destacar que os alunos dos grupos 2 e 3 tiveram uma discreta participação na discussão final, que visou a construção do modelo consensual da turma. Os alunos dos grupos 1 e 4, por sua vez, participaram ativamente. Entretanto, embora já tivessem participado de atividades anteriores em que as aulas foram filmadas, os alunos se mostraram inibidos pela presença da câmera. Tal fato foi observado em alguns momentos das filmagens, quando muitos deles interrompiam a discussão, se calando, quando notavam a aproximação da câmera. Além disso, alguns deles relataram, na avaliação final do processo, que a câmera foi um fator negativo para o desenvolvimento das aulas.

Considerando-se a influência do diagrama Modelo de Modelagem (Figura 3) na elaboração da proposta de ensino em questão, é possível verificar o entrosamento das etapas do processo e suas inter-relações. Isso permite o encadeamento das atividades, dando uma seqüência lógica na execução das mesmas no decorrer do processo de ensino.

Em relação ao desenvolvimento da proposta de ensino discutida neste trabalho e às suas diferentes etapas, é importante destacar que:

- o processo se iniciou com a seleção daquilo que deveria ser estudado (“definir os objetivos” no diagrama) sendo definido pelos pesquisadores (orientadora e orientando) e apresentado claramente aos alunos pela professora;
- os alunos tiveram experiências relevantes envolvendo aspectos do que deveria ser modelado a partir dos experimentos que foram demonstrados e da retomada de algumas de suas idéias prévias (favorecida por questões apresentadas nas atividades e pela professora, nas discussões);
- os alunos elaboraram seus modelos mentais e os socializaram dentro dos grupos;

- a expressão dos modelos nesse processo se deu em várias etapas e de várias maneiras (concreta, por desenhos e verbal), havendo a expressão do modelo mental do aluno para o seu grupo, expressão do modelo do grupo para a professora e, posteriormente, para a turma.

Para que a etapa inicial tivesse êxito, procuramos selecionar experimentos e propor atividades que desafiassem os estudantes, provocando neles situações inquietantes, de forma que buscassem novos parâmetros para solucioná-las.

O conhecimento anterior do pesquisador e da professora a respeito das concepções prévias dos alunos ou das possíveis concepções alternativas sobre o tema em questão foi um elemento importante para subsidiar a elaboração e a condução de todo o processo de ensino, fundamentando a proposição de questões que colaboraram para o desenvolvimento das idéias dos estudantes.

Em relação ao processo de elaboração dos modelos mentais, é oportuno ressaltar que ele é um processo individual e inacessível ao professor e aos outros alunos dos grupos. Porém, tal processo é passível de ocorrer com a interferência de outras pessoas, articulando novas idéias. Isto foi observado quando a professora e os colegas formularam questões e colaboraram com sugestões que nortearam a idéia 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.

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 idéias. Além disso, favoreceu a percepção de algumas limitações no trabalho com modelos como, por exemplo, a abrangência na explicação de alguma teoria. Isso chegou a gerar novos elementos que faziam com que o modelo entrasse novamente no ciclo de construção, sendo muitas vezes repensados pelos alunos em diferentes situações. Tal fato foi observado, por exemplo, quando os alunos propuseram idéias relacionadas ao modelo cinético molecular para explicar o sistema aquecido e o sistema resfriado. Essas

idéias foram apresentadas por todos os alunos dos grupos 1 e 3 e por dois alunos do grupo 4. Durante a discussão, eles perceberam que esta idéia não explicava o rearranjo dos átomos, característico do processo químico em questão. Assim, eles abandonaram o modelo cinético molecular para assumir uma nova idéia: *absorção* de energia para se *quebrar* as ligações dos reagentes que, posteriormente, se rearranjariam, *liberando* energia na *formação* de novas ligações.

Outra 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 a questão energética envolvendo o processo (energia dos produtos maior do que a energia dos reagentes).

No processo aqui analisado, constatamos que, muitas vezes, modelos distintos foram elaborados em função do conhecimento prévio dos estudantes, 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 de modelos.

Em relação ao desenvolvimento do processo, evidenciamos, nos diagramas representativos dos estudos de caso de todos os grupos, 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, à proposição de novas explicações pelos grupos, contribuindo para a elaboração, reformulação ou aprimoramento dos modelos propostos. Isso foi observado, por exemplo, no diálogo estabelecido entre a professora e os alunos do grupo 1 (apresentado nas páginas 83-85), quando diversos questionamentos foram apresentados buscando conduzir os alunos a um momento de reflexão frente suas idéias. Tais reflexões permitiram que eles reformulassem seus modelos, desenvolvendo novas idéias que contemplassem de forma mais coerente os aspectos em estudo.

Finalmente, a análise do processo de ensino demonstrou a importância da utilização de idéias contidas no diagrama Modelo de Modelagem (Figura 3) para a elaboração das atividades de ensino, tendo em vista que ele favorece uma maior

articulação entre as idéias durante o processo de ensino, permitindo novas formulações e reformulações das mesmas. Em relação ao tema em estudo, constatamos o quanto relevante foi considerarmos todo o processo de ensino tendo em vista os elementos presentes no diagrama e suas funções no ensino. Isso permitiu uma reestruturação nas idéias dos alunos, favorecendo a articulação de um saber efetivo e incorporando novos conhecimentos à estrutura cognitiva de modo não-arbitrário. Os alunos desenvolveram, assim, habilidades que lhes permitiram construir novos saberes de forma autônoma, transitando por diferentes conhecimentos apresentados em seu dia-a-dia. Isso pode ser exemplificado considerando-se as atividades propostas e o engajamento dos alunos na realização das mesmas, conforme observamos nos incessantes questionamentos apresentados pelos alunos do grupo 1, pelas inquietantes idéias apresentadas pelos alunos do grupo 2, pelos enfáticos embates entre os alunos do grupo 3 e, por fim, pelo modo introspectivo que os alunos do grupo 4 buscavam as respostas para os inúmeros questionamentos apresentados. Por isso, a estratégia favorece o desenvolvimento de uma visão crítica e reflexiva frente à ciência e, acima de tudo, relacionada ao por que e para que aprendê-la. Isto se tornou evidente quando, na discussão final, os alunos destacaram que a utilização dos modelos permitiu que eles compreendessem o tema em estudo de forma mais abrangente e elucidativa, criando um ambiente onde as idéias se entrelaçavam na medida em que o conhecimento científico ia sendo construído. De acordo com os alunos, isso permitiu que o estudo da temática em questão se tornasse mais envolvente e com sentido para eles.

#### **CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA**

A utilização dos aspectos históricos referentes ao desenvolvimento do conhecimento sobre energia ocorreu em dois momentos distintos deste trabalho.

Inicialmente, eles foram fundamentais na elaboração da estratégia de ensino. Nela, consideramos aspectos relacionados à história da ciência como, por exemplo, as concepções substancialistas do calor presente nas idéias do flogisto e do calórico.

Considerando-se que muitas dessas idéias ainda estão presentes no senso comum, elas precisam passar por uma reformulação por parte dos alunos, para que eles possam assumir uma nova estrutura de se pensar a ciência, construindo significados por

meio da construção e reformulação de modelos para os fenômenos empíricos observados.

É importante destacarmos que nenhum aspecto histórico foi apresentado diretamente aos alunos. O que fizemos foi utilizar tais aspectos como o alicerce para algumas das atividades que objetivavam subsidiar a construção do conhecimento, pois pudemos antecipar algumas idéias que os alunos poderiam apresentar. Isto nos favoreceu pensar em atividades de ensino que contemplassem tal dimensão e/ou que apresentassem aos alunos desafios semelhantes àqueles superados ao longo da história. Como exemplo, podemos mencionar as idéias envolvendo a *transferência* de calor entre dois sistemas ou o calor oriundo de uma transformação química como a combustão, por exemplo. Estas idéias foram (e ainda são) explicadas por meio de relações substancialistas. Tendo tal aspecto em mente, propusemos a atividade 3, que tinha como um de seus principais objetivos ajudar os alunos a perceber que a energia não tem massa, não podendo, portanto, ser matéria.

O segundo momento em que utilizamos os aspectos históricos foi na análise das idéias expressas pelos alunos ao longo de todo o processo. Ao analisarmos tais idéias nessa perspectiva, percebemos a existência de relações entre muitas concepções expressas pelos alunos e os modelos científicos que predominaram em determinado período histórico, nos mais diversos campos do conhecimento. Para Gil Pérez e Carrascosa Alis (1985), essa relação não parece ser uma coincidência meramente acidental. Essa similaridade está relacionada com a tentativa dos alunos de explicar os diferentes fenômenos baseando-se no senso comum, em uma concepção não científica, sem duvidar se ela é a que melhor se enquadra à interpretação do fenômeno, aceitando-a como verdade, regra geral obtida de forma rápida e superficial.

A identificação de modelos expressos pelos alunos em diferentes momentos com modelos históricos (nitidamente o substancialista e o mecanicista) favoreceu, sobremaneira, nosso entendimento do processo de modificação das idéias dos alunos ao longo desse processo de ensino. Assim, pudemos identificar etapas específicas da estratégia de ensino que favoreceram a expressão e modificação de elementos desses modelos, além de discutir possíveis motivos para a permanência dos mesmos em alguns casos. Isso corroborou nossa crença na importância de que professores de química tenham um amplo conhecimento de história da ciência. Tal conhecimento pode,

também, ampliar os conhecimentos do professor sobre a própria natureza da ciência, contribuindo para que ele a conceba como um produto histórico, isto é, como uma criação do ser humano que foi/é aberta e sujeita a mudanças constantes. Dessa forma, o professor pode ensinar ciências destacando quais foram as origens e os problemas que perpassaram sua construção, sua evolução (Gil Pérez, 1993). Isto pode resultar, segundo Solbes e Traver (2001), em os alunos:

- conhecerem melhor os aspectos da história da ciência, antes geralmente ignorados e, conseqüentemente, mostrar uma imagem da ciência mais completa e contextualizada;
- valorizarem adequadamente processos internos do trabalho científico como: os problemas abordados, o papel da descoberta, a importância dos experimentos, o formalismo matemático e a evolução dos conhecimentos (crises, controvérsias e mudanças internas);
- valorizarem adequadamente aspectos externos, como o caráter coletivo da ciência.

Todos esses aspectos são essenciais para um ensino de ciências mais autêntico, isto é, que objetiva não apenas o aprendizado do conteúdo da ciência, mas também *sobre a natureza ciência* e o *fazer ciência* (Hodson, 1992).

#### **IMPLICAÇÕES DO TRABALHO PARA O ENSINO DE QUÍMICA E A PESQUISA EDUCACIONAL**

Em relação ao ensino de química, não podemos mais continuar ingênuos sobre como se ensina, pensando que basta conhecer um pouco o conteúdo e ter *jogo de cintura* para mantermos os alunos nos olhando e supor que, enquanto prestam atenção, eles estão aprendendo. Temos que 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, com destaque, as discussões de como trabalhos em história e filosofia das ciências podem contribuir para uma melhor compreensão dos próprios conteúdos das ciências, funcionando como auxiliar em seu ensino e sua aprendizagem (Adúriz-Bravo, Izquierdo, & Estany, 2002; Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996). Entretanto, essa incorporação não pode ser aleatória, sem uma reflexão que abarque todos os diferentes ângulos dos processos de ensino e aprendizagem.

Desde as últimas décadas do século XX, estão sendo propostas modificações nos objetivos da educação científica que afetam o entendimento do conceito de conteúdo escolar. Essas novas propostas, que no Brasil foram direcionadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM), refletiram toda uma discussão internacional sobre o entendimento desse conceito.

Na dimensão processual, não se aceita mais transmitir para as próximas gerações uma ciência *reclusa*, de conteúdos prontos e acabados, pois o entendimento da natureza da ciência passou a ser um dos objetivos primários da educação (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, 1992). Os trabalhos em história, filosofia e epistemologia das ciências influenciaram muitos organizadores de currículos nesta vertente de definição do conteúdo que se pretende ensinar. Devemos pensar na ampliação do conceito de conteúdo levando-se em conta a nova postura na qual *ensinar ciência* incorpora a idéia de *ensinar sobre ciência* (Hodson, 1992). Além disso, é importante destacarmos que o desenvolvimento da metodologia de ensino sofreu bastante influência das reflexões sobre filosofia das ciências e os trabalhos que estudaram o seu desenvolvimento histórico.

Neste contexto, o ensino fundamentado em modelagem assume uma importância singular, pois ao mesmo tempo em que favorece a aprendizagem dos conteúdos científicos e o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao pensar cientificamente, contribui para o desenvolvimento da visão dos estudantes sobre o processo de construção do conhecimento científico.

A compreensão do processo de construção do conhecimento científico a partir de atividades de modelagem se dá pela compreensão do uso dos modelos e, principalmente, pela vivência do processo de construção dos mesmos. O processo de modelagem permite ao aluno perceber a integração entre diferentes conhecimentos, a interpretação de evidências, a necessidade da elaboração e teste de hipóteses, e, principalmente, a dinâmica do processo de construção do conhecimento, que é mutável e sujeito a falhas. A vivência desse processo colabora, ainda, para a desmistificação da imagem do cientista, uma vez que os alunos passam a compreender a origem de suas descobertas ou criações como um processo de construção, inerente à condição humana.

O trabalho aqui apresentado, 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 outras questões importantes como, por exemplo:

- 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 idéias ou formas de raciocínio análogas àquelas utilizadas por cientistas e promover discussões das mesmas que levassem os alunos a desenvolver um modo de pensar científico e a elaborar questões, ao invés de aceitar um conhecimento pronto imposto pelo professor (Matthews, 1994);
- a importância de o professor 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 energia, os professores devem evitar todas as palavras e expressões que possam favorecer uma visão substancialista da mesma;
- a importância de o professor conhecer e buscar trabalhar com atividades de modelagem que, como destacado anteriormente e evidenciado neste trabalho, pode favorecer um amplo e significativo aprendizado de ciências.

Em relação à pesquisa educacional, este trabalho aponta para a necessidade de investigar outras questões. No momento, percebemos duas muito relevantes:

- Como os alunos articulam os novos conhecimentos construídos com o auxílio da estratégia de modelagem em outros contextos de ensino?
- Como superar os *dilemas* relacionados à utilização de elementos lingüísticos e representações incoerentes relativas à energia por inúmeros professores e materiais didáticos?

Acreditamos que a investigação de questões como estas poderão contribuir não só para ampliar o conhecimento na área de ensino de ciências como para fundamentar ações de professores interessados em efetivamente contribuir para que os alunos aprendam ciências de maneira significativa e para que esse ensino contribua efetivamente para uma melhor formação dos mesmos para lidarem com os inúmeros desafios a serem enfrentados na sociedade contemporânea.

Vinícius Catão de Assis Souza

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. (2000). Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: A Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M., & Estany, A. (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.
- Agabra, J. (1986). Exchanges Thermiques. *ASTER*(2), 1-40.
- Albert, E. (1978). Development of concept of heat in children. *Science Education*, 62(3), 389-399.
- Andersson, B. (1990). Pupil's Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Angotti, J. A. P. (1991). *Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- Astolfi, J. P., & Develay, M. (1990). *A didática das ciências* (M. S. S. Fonseca, Trans.). Campinas: Papirus.
- Auth, M. A., & Angotti, J. A. P. (2001). O processo de ensino-aprendizagem com aporte do desenvolvimento histórico universal: a temática das combustões. In M. Pietrocola (Ed.), *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (pp. 197-232). Florianópolis: UFSC.
- Bachelard, G. (1973). *Étude sur L'Évolution d'un Problème de Physique. L Propagation Thermique dans les Solides*. Paris: VRIN.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual Solar System Project: Building Understanding through Model Building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 719-756.
- Barbosa, J. P. V. (2003). *Evolução dos modelos mentais de energia*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte.
- Bassalo, J. M. F. (1991). A Crônica do Calor: Termometria. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 13, 135-161.
- Bassalo, J. M. F. (1992). A Crônica do Calor: Calorimetria. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 14, 29-38.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualisation of chemical reaction. *Educational in Chemistry*, 24(4), 117-120.
- Benyon, J. (1990). Some myths surrounding energy. *Physics Education*, 11, 314-315.
- Bliss, J., & Ogborn, J. (1985). Children's choices of uses of energy. *European Journal of Science Education*, 7(2), 195-203.
- Bogdan, R. C., & Biklen, A. K. (1992). *Qualitative research for education: an introduction to theory and methods* (2a ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 569-581.
- Borges, A. T. (1998). Modelos mentais de eletromagnetismo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(1), 7-31.
- Borges, A. T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 85-125.
- Brasil. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

- Brook, A., Briggs, H., Bell, B., & Driver, R. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Summary Report*. Leeds: University of Leeds.
- Brown, S. C. (1950). The Caloric Theory of Heat. *American Journal of Physics*, 18, 367-373.
- Bruno, G. (1584/1984). *Acerca do Infinito, do Universo e dos Mundos* (A. Montenegro, Trans. 3a ed.). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Cervantes, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revision bibliografica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 66-70.
- Chagas, A. P. (2006). *A História e a Química do Fogo*. Campinas, SP: Editora Átomo.
- Clausius, R. (1960). On the motive power of heat, and the laws which can be deduced from it for the theory of heat. In E. Mendonza (Ed.), *Reflections on the motive power of fire* (pp. 108-152). New York: Dover.
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. A. Glover, R. R. Ronning & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Cohen, I., & Ben-Zvi, R. (1992). Students' achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, 14, 147-156.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27, 183-198.
- Collins, A., & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Hollan & N. Quinn (Eds.), *Cultural models in language and thought* (pp. 243-265). Cambridge: Cambridge University Press.
- de Vos, W., & Verdonk, A. H. (1986). A new road to reaction - Part III. *Journal of Chemical Education*, 63(11), 972-974.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's image of science*. Bristol: Open University Press.
- Dugas, R. (1955). *A History of Mechanics*. Neuchâtel: Ed. du Griffon.
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school - empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, 59-66.
- Erickson, G. (1985). Heat and temperature - part a: an overview of pupils' ideas. In R. Drive, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science*. Open University Press: Milton Keynes.
- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1989). Calor y Temperatura. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Ideas Científicas en la Infancia y en la Adolescencia* (pp. 89-136). Madrid: Eds. Mec e Morata.
- Fernandez, C., & Marcondes, M. E. R. (2006). Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. *Química Nova na Escola*, 24, 20-24.
- Ferreira, P. F. M. (2006). *Modelagem e suas Contribuições para o Ensino de Ciências: Uma análise no estudo de equilíbrio químico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Ferreira, P. F. M., & Justi, R. (2005a). *Atividades de construção de modelos e ações envolvidas*. Trabalho apresentado no V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, SP, 28 de novembro a 03 de dezembro.

- Ferreira, P. F. M., & Justi, R. (2005b). *From chemical reaction to chemical equilibrium: learning through modelling*. Paper presented at the V Conference of the European Science Education Research Association, Barcelona, Spain, 28 August - 01 September.
- Feynman, R., Leighton, R. B., & Sands, M. (1977). *The Feynman - Lectures on Physics* (Vol. 1). Califórnia - Addison: Wesley Publishing Company.
- Filho, O. M. S. (1987). *Evolução da idéia de conservação de energia: um exemplo de história da ciência no ensino de física*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- Fuchs, H. U. (1987). Thermodynamics: A "Misconceived" Theory. In J. D. Novak (Ed.), *Proceeding of the Second Intentional Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (Vol. III, pp. 160-167). Ithaca: Cornell University.
- Galileu, G. (1623/1987). *O Ensaíador* (H. Barraco, Trans.). São Paulo: Abril, Coleção Os Pensadores.
- Gardner, H. (2005). *Mentes que mudam: a arte e a ciência de mudar as nossas idéias e a dos outros* (M. A. V. Veronese, Trans.). Porto Alegre: Artmed / Bookman.
- 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., & Carrascosa Alis, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-258.
- Gilbert, A. (1982). *Origens Históricas da Física Moderna*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Gilbert, J., & Pope, M. (1986). Small group discussions about conceptions in science: a case study. *Research in Science and Technological Education*, 4, 61-76.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Giordan, A., & Vecchi, G. (1996). *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos* (B. C. Magne, Trans. 2a ed.). Porto Alegre: Artes Médicas.
- Gobert, J., & Buckley, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 891-894.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 611-628.
- Guaydier, P. (1984). *História da Física* (A.M.Gonçalves, Trans.). Lisboa: Edições 70.
- Guidoni, P. (1985). On Natural Thinking. *European Journal of Science Education*, 7, 133-140.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Hapkiewicz, A. (1991). Clarifying chemical bonding: overcoming our misconceptions. *The Science Teacher*, 58(3), 24-27.
- Henrique, K. F. (1996). *O pensamento físico e o pensamento do senso comum: a energia no 2o grau*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Faculdade de Educação, USP, São Paulo.

- Higa, T. T. (1988). *Conservação de Energia: estudo histórico e levantamento conceitual dos alunos*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hoppe, E. (1928). *Histoire de la Physique* (H. Besson, Trans.). Paris: Payot.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 173-184.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- Justi, R., & Mendonça, P. C. C. (2007). *Modelling in order to know an important sub-micro representation: the nature of the ionic bond*. Paper presented at the VI Conference of the European Science Education Research Association, Malmö, Sweden, 21-25 August.
- Kotz, J. C., & Treichel, P. (1998). *Química & Reações Químicas* (H. Macedo, Trans. Vol. 1). Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Kuhn, T. (1978). *A estrutura das revoluções científicas* (2a ed.). São Paulo: Perspectiva.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Education*, 2(4), 331-359.
- Lima, M. C. B., & Barros, H. L. (1997). *Uma proposta de ensino de calor e temperatura à luz de Bachelard*. Trabalho apresentado no Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências.
- Lucke, M., & André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisas em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.
- Magie, W. F. (1935). *A Source Book in Physics*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science*. New York and London: Routledge.
- McClelland, G. (1989). Energy in School Science. *Physics Education*, 24, 162-164.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2005). *Construção de Modelos no Ensino de Ligação Iônica*. Trabalho apresentado no V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, SP, 28 de novembro a 03 de dezembro.
- Merriam, S. B. (1988). *Case study research in education - a qualitative approach*. San Francisco and London: Jossey-Bass.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and Reality - What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science: Which way now?* (pp. 16-31). London and New York: Routledge.
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College, London School of Education.
- Morin, E. (2005). *A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento* (E. Jacobina, Trans. 11ª ed.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999a). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999b). Models as mediating instruments. In Mortimer, E. F., & Amaral, L. O. F. (1998). Quanto mais quente melhor. *Química Nova na Escola*, 7, 30-34.
- Mortimer, E. F., & Machado, A. H. (2002). *Química para o ensino médio - volume único (Série Parâmetros)*. São Paulo: Scipione.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press/McGraw Hill.
- Moulton, F. R., & Schiffers, J. J. (1986). *Autobiografía de la Ciencia* (F. A. Delpiane, Trans. 2a ed.). Cidade do México: Fondo de Cultura Económica.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79, 739-744.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5-22). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Newton, I. (1704/1987). *Óptica* (C. L. M. H. Barraco, P. R. Mariconda e L. J. Baraúna, Trans.). São Paulo: Ed. Abril, Coleção Os Pensadores.
- Nogueira, N. R. (2001). *Pedagogia dos Projetos: uma jornada interdisciplinar rumo ao desenvolvimento das Múltiplas Inteligências* (4a ed.). São Paulo: Editora Érica.
- Ogborn, J. (1990). Energy, change, difference and danger. *School Science Review*, 72, 81-85.
- Pereira, M. V., & Cardozo, T. F. L. (2005). *O conceito de calor nos livros didáticos de física*. Trabalho apresentado no V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Bauru - SP.
- Pérez-Landazábal, M. C., Favieres, A., Manrique, M. J., & Varela, P. (1995). La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 55-65.
- Rosa, M. I. F. P. S. (1996). *A evolução de idéias de alunos de 1o ano do ensino médio sobre transformação química em um processo de ensino construtivista*. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, Unicamp, Campinas.
- Rosen, G. (1994). *Uma história da saúde pública* (2a ed.). São Paulo: Hucitec.
- Rosmorduc, J. (1988). *Uma história da física e da química: de Tales a Einstein*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.
- Rossi, P. (1989). *Os Filósofos e as Máquinas* (F. Carrotti, Trans.). São Paulo: Cia das Letras.
- Santos, R. P. (1999). A Energia do Senso Comum. Retrieved 17/11/05, 2005, from <http://www.reniza.com/renato/artigo/energia.htm>.
- Schurmann, P. F. (1946). *Luz y Calor*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina Ed.
- Sears, F. W., & Salinger, G. L. (1979). *Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística* (S. M. Abrahão, Trans. 3a ed.). Rio de Janeiro: Guanabara Dois.
- Sevilla, S. C. (1986). Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), 247-252.

- Silva, D. (1995). *Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura*. Tese de doutorado. Faculdade de Educação, USP, São Paulo.
- Silva, D., Neto, V. F., & Carvalho, A. M. P. C. (1998). Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. In R. Nardi (Ed.), *Questões atuais no ensino de ciências* (pp. 61-75). São Paulo: Escrituras Editora.
- Silva, J. L. P. B. (1998). *Notas sobre Termodinâmica básica*. Manuscrito interno, Instituto de Química, UFBA, Salvador.
- Solbes, J., & Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 387-397.
- Solbes, J., & Traver, M. (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.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- Souza, V. C. A. (2007). *O ensino e suas possíveis vertentes inclusivas: um discreto olhar de um professor de química sobre o papel do educador em meio a (in)diferença escolar*. Monografia de Especialização. Escola de Governo da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte.
- Teichert, M. A., & Stacy, A. M. (2002). Promotion understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 464-496.
- Trumper, R. (1991). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part two. *International Journal of Science Education*, 13(1), 1-10.
- Vidal, B. (1986). *História da Química*. Lisboa: Edições 70.
- Vosniadou, S. (1999). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Warren, J. W. (1986). At what stage should energy be taught? *Physics Education*, 21(154-155).
- Yin, R. K. (2002). *Case study research: design and methods (applied social research methods)*. London: Sage Publications.

## APÊNDICES

### APÊNDICE I. ATIVIDADE 1

#### QUESTÕES – ENERGIA X QUÍMICA

A palavra **ENERGIA** pode ser usada em diversos contextos, assumindo diferentes conotações, tanto no âmbito científico como no popular.

1. Quando você utiliza a palavra energia no seu dia-a-dia, qual significado você atribui a ela?
2. As embalagens de achocolatado em pó, em geral, apresentam o produto como um alimento “energético”. O achocolatado em pó Nescau<sup>®</sup>, por exemplo, possui o seguinte slogan comercial: “*Super Nescau, ENERGIA que dá gosto*”. **OBSERVE** o rótulo do produto a seguir.



Tente **EXPLICAR**, de acordo com os seus conhecimentos gerais e/ou científicos, o significado do termo **ENERGIA** usado como estratégia de marketing para este produto.

3. Pensando no contexto da ciência, qual seria o significado para energia?
4. Você já ouviu a expressão “energia química”? O que você acha que ela significa? Por que você pensa assim?

## APÊNDICE II. ATIVIDADE 2

### ATIVIDADE PRÁTICA

1. Observamos, na atividade de hoje, algumas situações envolvendo **CALOR**. De acordo com os seus conhecimentos, tente **DEFINIR** o que é **CALOR**.
2. Elabore modelos (através de desenhos) que tentem demonstrar o que acontece, no nível das partículas constituintes das substâncias, para que, durante o processo químico, o sistema se resfrie ou se aqueça. **EXPLIQUE** seus desenhos.

MODELO 1 – SISTEMA AQUECIDO	MODELO 2 – SISTEMA RESFRIADO
<b>EXPLICAÇÃO DOS MODELOS</b>	

3. Como você observou na parte experimental, algumas reações liberam calor, enquanto outras absorvem calor do ambiente. Proponha uma **EXPLICAÇÃO** para isso.
4. Tente **EXPLICAR** a origem (de onde vem) o **CALOR** gerado ou absorvido a partir dos experimentos realizados.

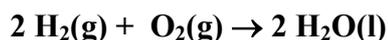
## APÊNDICE III. ATIVIDADE 3

## QUESTÕES

1. Os seguintes dados foram obtidos na combustão da sacarose ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ):

Experimento	Sacarose + oxigênio → gás carbônico + água				Energia envolvida (sistema aquecido)
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

- A. Analisando os dados dos dois experimentos, o que você pode dizer sobre **as massas** dos reagentes em relação às massas dos produtos?
- B. Esta relação entre **as massas** era esperada? Por quê?
- C. 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.
2. Não podemos manipular átomos em nossa sala de aula ou laboratório, mas podemos compará-los a pequenas esferas, como propõe o modelo atômico de Dalton. Sabemos que algumas reações são extremamente explosivas, liberando bastante energia. Um exemplo de tais reações é a combustão do gás hidrogênio ( $H_2$ ), representada a seguir:



- A. Usando massa de modelar, construa modelos que representem quatro moléculas de gás hidrogênio e duas de gás oxigênio.
- B. Agora, imagine que essas moléculas reagiram e, **USANDO OS MODELOS CONSTRUÍDOS NO ITEM ANTERIOR**, represente as moléculas de água formadas.

Vinícius Catão de Assis Souza

- C. Complete o quadro a seguir, desenhando os modelos que você construiu nos itens anteriores:

<b>SIMULAÇÃO DA REAÇÃO DE FORMAÇÃO DA ÁGUA</b>			
	<b>REAGENTES</b>		<b>PRODUTO</b>
	<b>Hidrogênio</b>	<b>Oxigênio</b>	<b>Água</b>
<b>Desenho dos modelos do item A</b>			
<b>Desenho dos modelos do item B</b>			

- D. Quantos átomos de hidrogênio foram representados no item **A**? E de oxigênio?  
 E. Quantos átomos de hidrogênio foram representados no item **B**? E de oxigênio?  
 F. Por que esses números foram iguais?  
 G. Pensando nisso, o que deve acontecer com as moléculas dos reagentes e dos produtos durante a ocorrência da reação?
3. Represente novamente os modelos que você construiu após a atividade prática para explicar como o calor foi gerado em algumas reações e como ele foi absorvido em outras.

<b>MODELO 1 – SISTEMA AQUECIDO</b>	<b>MODELO 2 – SISTEMA RESFRIADO</b>

4. Considerando suas respostas das questões 1 e 2, você pode ter concluído que esses modelos (ou alguns elementos presentes neles) não são adequados para explicar a liberação e absorção de calor nas reações químicas. Então, proponha um novo modelo que explique tais aspectos de forma mais adequada.

Vinícius Catão de Assis Souza

NOVO MODELO PARA O SISTEMA AQUECIDO	NOVO MODELO PARA SISTEMA RESFRIADO
<b>EXPLICAÇÃO DOS MODELOS</b>	

Caso você considere seu modelo **adequado**, utilize-o para explicar a origem do calor liberado na reação apresentada na Questão 2:  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ .

#### APÊNDICE IV. ATIVIDADE 4

### A ENERGIA E A HISTÓRIA

*“O que os objetos são, em si mesmos, fora da maneira como a nossa sensibilidade os recebe, permanece totalmente desconhecido para nós. Não conhecemos coisa alguma a não ser o nosso modo de perceber tais objetos – um modo que nos é peculiar e não necessariamente compartilhado por todos os seres...”*

Kant

Considere duas situações. Na primeira, uma pessoa observa uma queda d'água em uma represa e, simultaneamente, olha para o lado e percebe que uma pequena cidade teve todas as suas luzes acesas. Na segunda, uma outra pessoa observa um veículo sendo empurrado por seus ocupantes até a bomba de gasolina mais próxima. Lá chegando, um frentista abre a tampa do tanque e injeta um líquido. O consumidor, então, paga pelo combustível e sai dirigindo seu automóvel sem que ninguém o empurre.

A queda d'água que gera a luz na cidade e o movimento do carro abastecido, aos olhos de um homem do passado, poderiam parecer magia. No entanto, o que existe e que promove os movimentos produzindo a dinâmica do universo com todas as suas transformações é a **energia**.

A palavra **energia** sugere força em ação, atividade, funcionamento, tanto que nos referimos às pessoas ativas e com ânimo para desenvolver trabalhos como pessoas com muita energia.

Uma forma de energia que manifesta simultaneamente luz e calor e que o ser humano conhece há milhares de anos é o fogo. Desde muito tempo, o homem é capaz de perceber suas ações transformadoras: a cocção dos alimentos, a fabricação das cerâmicas a partir da argila que ia ao forno e o derretimento dos metais e sua posterior modelação nas formas desejadas. O próprio ser humano aquecia-se pela ação do fogo, e seus palácios e suas moradas podiam ser iluminados pela luz proveniente dele. Em outras palavras, a energia do fogo vem sendo utilizada desde os primórdios da humanidade. O fato de não se saber explicar as razões de sua existência nunca foi um impedimento para o progresso – muitas técnicas desenvolvidas no passado antecederam ao conhecimento científico envolvido, como no caso da indústria náutica. Embora muitos povos dominassem a técnica de fazer embarcações de madeira e navegassem por grandes extensões, eles desconheciam os conceitos de densidade e empuxo dos corpos (que explicam porque embarcações flutuam).

Talvez o maior desafio da ciência seja procurar meios de fazer com que algo desconhecido passe a conhecido apoiado em teorias, modelos e explicações. Em relação à idéia de energia, isso aconteceu no final do século XVIII.

Partindo da observação, o anglo-americano *Sir Rumford* – Benjamin Thompson (1753-1814) – notou que durante a perfuração do tubo de um canhão, a temperatura do metal aumentava. Para explicar a elevação dessa temperatura, propôs que o atrito entre as peças causava movimento nas partículas dos metais, produzindo calor.

Embora para os dias de hoje essa idéia possa parecer óbvia, vale lembrar que, no final do século XVIII, havia uma outra teoria em uso, propondo que o calor era um fluido capaz de ser transferido de um corpo para outro. Supunha-se também que o calor poderia ser matéria e até mesmo ser pesado.

Apesar dos estudos de *Sir Rumford*, a concepção de calor como fluido (considerada errônea atualmente) persistia, visto que, no século XVIII, pequenos engenhos ou máquinas simples eram movidos pela ação da água, dos ventos, dos animais e dos escravos, e que o carvão, matéria-prima para a combustão, só servia para aquecer pessoas que trabalhavam em tais máquinas.

Só em 1784, na Inglaterra, é que o escocês James Watt (1736-1819) desenvolveu uma máquina a vapor cujos princípios físicos só seriam mais esclarecidos em 1820 pelo francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832).

A rápida difusão das máquinas inglesas foi acompanhada de uma grande questão científica sobre as transformações que o calor provocava nos diversos materiais.

A máquina a vapor foi a semente da Revolução Industrial, cujo processo envolvia lucro máximo aos fabricantes e a aceleração do mercado mundial como jamais acontecera na história da humanidade. Naturalmente, os industriais desejavam o maior rendimento possível das máquinas, e para tanto seria necessário calcular quanto de energia estava sendo consumida no processo de produção.

Não demorou muito e o ser humano descobriu como efetuar esses cálculos, bem como formas alternativas de obtenção de calor. Hoje, sabe-se que o calor comporta-se como energia em trânsito que se manifesta entre dois corpos com temperaturas diferentes.

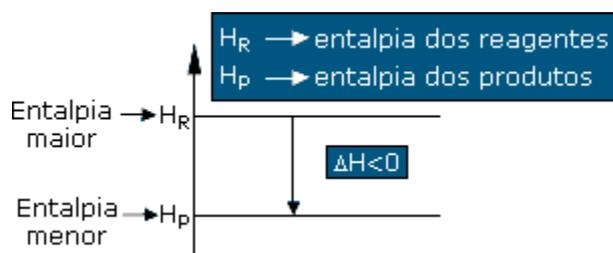
## DE ONDE VEM A ENERGIA ASSOCIADA ÀS REAÇÕES QUÍMICAS?

Já discutimos, em atividades anteriores, que os materiais são constituídos por partículas e espaços vazios. O modelo de partículas foi útil para explicar fenômenos como mudanças de fase, dissolução, compressão e dilatação de gases etc. Inicialmente, fez-se referência, de forma genérica, aos **átomos**, sem especificar como eles poderiam se reunir para constituir os materiais que conhecemos. Na maioria desses materiais, os átomos se agrupam formando agregados maiores que, por sua vez, se reúnem formando porções macroscópicas dos materiais.

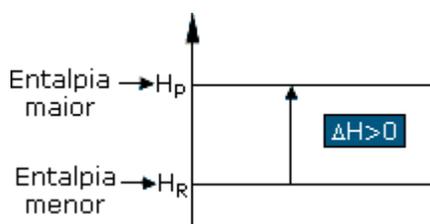
Um dos agregados formados a partir dos átomos é chamado de **molécula**. Entre elas, a mais simples que conhecemos é formada por dois átomos de hidrogênio. Por que esses átomos tendem a se combinar, formando a molécula? Por que eles não ficam isolados?

Os átomos combinam-se para alcançar um estado em que ficam mais **estáveis**. A estabilidade, nesse caso, é sinônimo de **estado de menor energia**. Portanto, quando os átomos de hidrogênio combinam-se para formar uma molécula, o sistema final (átomos combinados) tem menos energia do que o sistema inicial (átomos isolados). Isso não significa que o sistema final (molécula de hidrogênio) não tem nenhuma energia, mas apenas que tem menos energia que os átomos separados. Dizemos que os átomos se combinaram para formar uma molécula de hidrogênio por meio de uma **ligação química**. Essa ligação química não deve ser pensada como uma união material dos átomos. Ela é consequência de forças atrativas e não de uma ligação material.

Essa maneira de explicar a formação da molécula de hidrogênio pode ser generalizada para outras ligações químicas. Assim, quando se forma uma ligação química entre átomos, há liberação de energia (resultante da estabilidade do sistema). Por outro lado, para que uma ligação (sistema estável) seja quebrada, é necessário ocorrer absorção de energia. As reações químicas envolvem a quebra das ligações entre os átomos que formam as espécies reagentes e a formação de outras ligações entre esses átomos para originar os produtos. Esse raciocínio pode ser representado nos **GRÁFICOS 1 e 2**. Nesses gráficos a palavra “energia” foi substituída por “entalpia”, que é o termo usado em ciência para designar esse tipo especial de energia (associado às ligações químicas).



**GRÁFICO 1:** No início da reação temos uma certa quantidade de energia ( $H_R$ , entalpia dos reagentes) e no final temos menos energia ( $H_P$ , entalpia dos produtos). A diferença ( $H_P - H_R$ ) é a energia **liberada** para o meio no decorrer da reação. Como  $H_R$  é maior do que  $H_P$ , a variação de entalpia ( $\Delta H$ ) do processo é negativa.



**GRÁFICO 2:** Neste caso, a quantidade de energia dos reagentes ( $H_R$ ) é menor do que a quantidade de energia dos produtos ( $H_P$ ). A diferença ( $H_P - H_R$ ) é a energia **absorvida** pelo sistema no decorrer do processo que é positiva.

Reações que ocorrem com liberação de energia ( $\Delta H < 0$ ) são chamadas de reações **EXOTÉRMICAS**, enquanto reações que ocorrem com absorção de energia ( $\Delta H > 0$ ) são chamadas reações **ENDOTÉRMICAS**.

Como nas reações exotérmicas há liberação de energia, podemos imaginar que as ligações formadas nos produtos liberaram uma quantidade de energia maior do que aquela que foi necessária para quebrar as ligações dos reagentes. Nas reações endotérmicas, ocorre o contrário. A energia necessária para quebrar as ligações dos reagentes é maior do que aquela liberada na formação dos produtos, de modo que o sistema reagente absorve energia sob a forma de calor. Isso é percebido através do resfriamento do sistema.

Vinícius Catão de Assis Souza

Quando uma reação, como aquela entre o ácido clorídrico e o hidróxido de sódio, libera energia sob a forma de calor, podemos tentar interpretar esse fenômeno usando um raciocínio semelhante. As espécies HCl e NaOH, em solução, têm uma certa quantidade de energia. Quando a reação ocorre, os átomos que formam o HCl (hidrogênio e cloro) e NaOH (sódio, hidrogênio e oxigênio) rearranjam-se formando novos agregados (NaCl e H<sub>2</sub>O). Se esse processo ocorre com liberação de energia, podemos afirmar que a formação dos produtos liberou uma quantidade de energia maior do que a consumida na quebra dos reagentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Química para o ensino médio*, volume único. Eduardo Fleury Mortimer e Andréia Horta Machado. São Paulo: Scipione, 2002, p.174-175.

*Os Grandes Experimentos Científicos*. Michel Rival: tradução, Lucy Magalhães. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997, p. 72-74.

## APÊNDICE V. APRECIÇÃO FINAL DA ESTRATÉGIA DE ENSINO

Para aprender sobre a energia envolvida nos processos químicos, você participou de um processo no qual elaborou modelos, modificou seus modelos a partir de evidências apresentadas pelo professor ou levantadas nas discussões, discutiu seus modelos no grupo e com toda a turma.

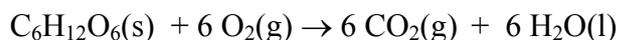
1. Você acredita ter aprendido o significado químico para energia através dessas atividades? **JUSTIFIQUE** sua resposta.
2. Você acha que o processo do qual você participou contribuiu para a sua compreensão sobre como os modelos são construídos? Por quê?
3. Você acha que esse processo contribuiu para a sua compreensão do papel dos modelos na ciência? Por quê?
4. Você gostou de participar desse processo? Por quê?
5. O que você achou mais difícil nesse processo? Por quê?
6. Como você compara o processo vivido em nossas aulas com o processo de construção de modelos pelos cientistas? O que é diferente? O que é semelhante? Por quê?

**APÊNDICE VI. QUESTÕES PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM**

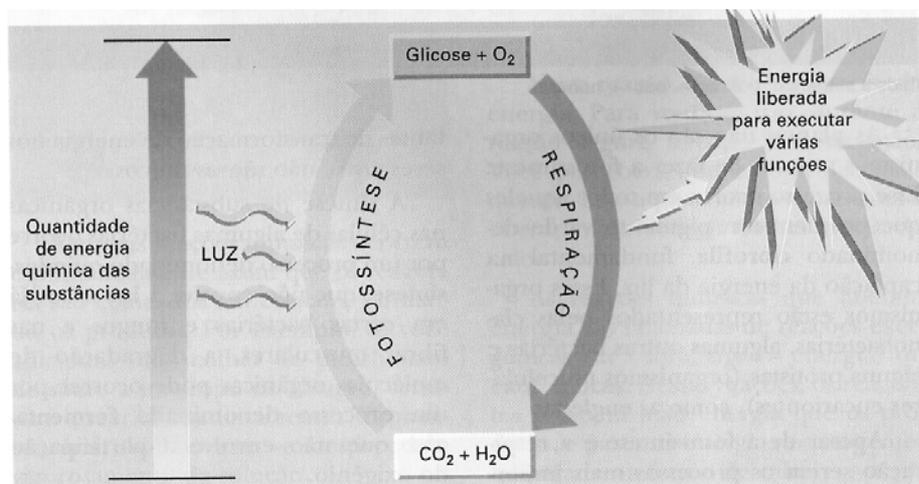
1. O flúor (F<sub>2</sub>) e o hidrogênio (H<sub>2</sub>) são gases à temperatura ambiente e reagem explosivamente, produzindo o gás fluoreto de hidrogênio (HF), gerando 537 kJ.mol<sup>-1</sup> de energia. A partir destas informações:
- A. **REPRESENTE** esta reação, caracterizando o elemento H pelo símbolo ○ e o elemento F pelo símbolo ● .
- B. Proponha uma **EXPLICAÇÃO** (em nível micro) para o fato de energia ter sido gerada nesse processo.
- C. Sabendo-se que a energia da ligação F-F é igual a 158 kJ.mol<sup>-1</sup> e a da ligação H-H é 432 kJ.mol<sup>-1</sup>, **DETERMINE** a energia da ligação H-F.

**Deixe seu raciocínio indicado**

2. A reação de fotossíntese e a reação de combustão da glicose estão representadas pelas equações químicas abaixo:

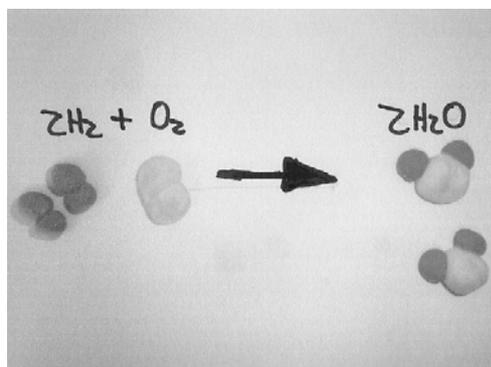
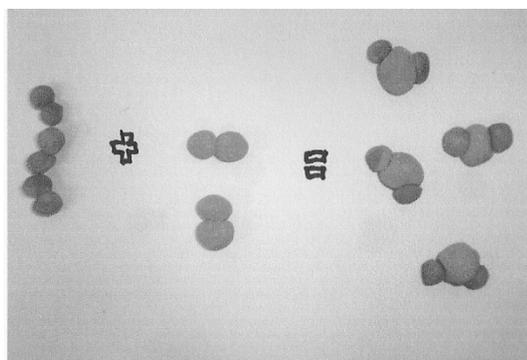
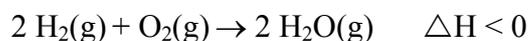


Em um livro de Biologia, foi encontrado o seguinte esquema representando os processos energéticos envolvidos na fotossíntese e na respiração (combustão da glicose).



A energia envolvida na combustão de um mol de glicose é de  $2,8 \times 10^6$  J. Sendo assim, responda:

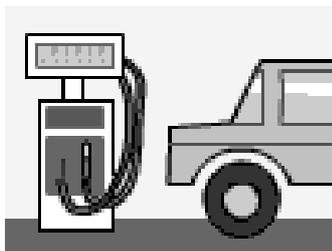
- A. Ao analisar o esquema acima, o que você entende por “energia química”?
  - B. Você acha que existe alguma incoerência na representação das equações químicas destacadas anteriormente para descrever os processos de fotossíntese e respiração? Qual?
  - C. Você acha que existe alguma incoerência na representação do esquema destacada anteriormente para descrever os processos de fotossíntese e respiração? Qual?
3. A seguir, são apresentados dois modelos para a reação de combustão do gás hidrogênio, conforme equação representada, elaborados, com a utilização de massa de modelar, por alunos de uma escola de Belo Horizonte.



Vinícius Catão de Assis Souza

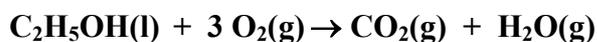
Analisando esses modelos e considerando as discussões empreendidas em nossas aulas sobre a temática da energia envolvida nas reações químicas, responda as questões a seguir.

- A. Faça uma crítica aos modelos representados acima, destacando os pontos positivos e negativos das representações.
  - B. Você acredita que os alunos foram coerentes em não representar em seus modelos a energia envolvida no processo? **JUSTIFIQUE** sua resposta.
4. No site da BBC, existe uma parte dedicada ao ensino em que os diversos conteúdos estudados na escola são abordados. Um dos textos tem como tema as diversas formas de energia como, por exemplo, a “energia nuclear”, as “energias potenciais” (elástica e gravitacional), a “energia elétrica”. Na discussão sobre “energia química”, foi apresentado o seguinte desenho como exemplo da mesma:



Considerando as discussões feitas durante as atividades de modelagem, responda as questões a seguir.

- A. Você acha que essa ilustração é adequada? Por quê?
  - B. Proponha uma **EXPLICAÇÃO** para a associação desse desenho com aquilo que se convencionou chamar de “energia química”.
5. As equações químicas descrevem fenômenos que observamos em nosso dia-a-dia como, por exemplo, os fenômenos de queima (combustão) das diversas substâncias. A equação de combustão do álcool etílico, por exemplo, é:



Vinícius Catão de Assis Souza

- A. Como você explicaria, a um colega de sua turma, que a queima do álcool libera energia?
- B. Você acha que a palavra “libera” poderia ser substituída por alguma outra que melhor representasse o que ocorre no sistema? Qual? Por quê?

**APÊNDICE VII. TABELA DE FREQUÊNCIA DOS ALUNOS ÀS AULAS**

GRUPOS	ALUNO	A1	A2	A3	A4	A5	A6
<b>GRUPO 1</b>	A1G1						
	A2G1						
	A3G1			X			
	A4G1						
	A5G1						
<b>GRUPO 2</b>	A1G2						
	A2G2	X					
	A3G2						
	A4G2	X					
	A5G2						
<b>GRUPO 3</b>	A1G3	X	X				
	A2G3			X			
	A3G3						
	A4G3	X					
	A5G3						
<b>GRUPO 4</b>	A1G4	X	X				
	A2G4	X		X			X
	A3G4						X
	A4G4						
	A5G4	X	X				X
<b>Total de alunos participantes (n=20)</b>		13	17	17	20	20	17

**LEGENDA**

**A1** → Idéias gerais dos alunos sobre a temática energia.

**A2** → Atividade prática associada a criação de modelos para explicar os fenômenos observados.

**A3** → Atividade de reformulação dos modelos.

**A4** → Socialização dos modelos reformulados e conclusão das aulas.

**A5** → Avaliação final.

**A6** → Apreciação final da estratégia.

**X** → Atividade não realizada pelo(a) aluno(a).

 → Atividade realizada pelo(a) aluno(a).