

Vinícius Catão de Assis Souza

**CONSTRUÇÃO DE MODELOS E MEDIAÇÃO DO
CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA FORMAÇÃO INICIAL
DOS PROFESSORES DE QUÍMICA: UMA ANÁLISE DO
PROCESSO DE ENSINO DA TERMOQUÍMICA**

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2014

Vinícius Catão de Assis Souza

**CONSTRUÇÃO DE MODELOS E MEDIAÇÃO DO
CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA FORMAÇÃO INICIAL DOS
PROFESSORES DE QUÍMICA: UMA ANÁLISE DO PROCESSO
DE ENSINO DA TERMOQUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Orientador: Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2014

*Este trabalho representa não o fim de uma jornada,
mas o começo de novos e importantes desafios.
Por isso, dedico essa Tese a Deus,
ao meu orientador e a minha mãe, grande amiga
e incentivadora em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Expresso toda minha gratidão a Deus... Reconheço que sem Ele os desafios que se fizeram presentes ao longo dessa jornada jamais seriam superados com a tranquilidade necessária para transformar as dificuldades em aprendizagens.

Na sequência, destaco um agradecimento pouco usual: às muitas vozes que compõem este trabalho, considerando que grande parte das ideias aqui discutidas não é minha. Elas fazem parte de leituras, conversas e vivências, acadêmicas ou não, que me permitiram estabelecer importantes diálogos com diferentes saberes, além de enriquecer significativamente o meu repertório pessoal e profissional.

Reconheço também, com imensa gratidão, as importantes contribuições da profa. Dra. Rosária Justi à minha trajetória acadêmica, parte delas impressas neste trabalho. Os ensinamentos trazidos durante as aulas na Graduação, a Iniciação Científica e o Mestrado me permitiram angariar conhecimentos que foram fundamentais para eu chegar até aqui e, certamente, continuarão sendo para eu prosseguir.

De modo especial, agradeço ao prof. Dr. Orlando Aguiar, que sempre acreditou no trabalho, sendo um exímio colaborador e incentivador. Muito obrigado pela orientação e, acima de tudo, por toda dedicação e amizade demonstrada ao longo dessa trajetória. Devo destacar que foi um privilégio reencontrá-lo para essa parceria no Doutorado, considerando que no ano de 1996, quando eu cursava a 1ª Série do Ensino Médio no Colégio Santo Antônio, tive a alegria de tê-lo como professor de Física. Naquela ocasião as suas instigantes aulas contribuíram para que eu pudesse lançar um olhar diferenciado para as Ciências, prosseguindo por esse caminho.

À profa. Dra. Paula Mendonça e ao prof. Dr. Eduardo Mortimer agradeço pelos importantes e sinceros apontamentos trazidos na Qualificação, buscando sempre a excelência de um trabalho que pudesse apresentar contribuições à Educação em Ciências.

Agradeço aos colegas e professores participantes do Grupo de Pesquisa *Linguagem e Cognição*, que ao longo dessa trajetória contribuíram para a construção do trabalho.

À Camila Semidi e Rayane Silva, agradeço pela colaboração na coleta dos dados, e a Natália Almeida Ribeiro, pelo apoio nas transcrições e discussões de algumas aulas.

Agradeço também a banca avaliadora, pela disponibilidade em fazer a leitura do trabalho e trazer contribuições para o aprimoramento do mesmo.

Por último, mas sempre em primeiro lugar, agradeço a minha mãe, irmãos, familiares e amigos que estiveram próximos durante todo esse tempo. Sem o apoio de cada um e cada uma de vocês, certamente eu não seria capaz de concluir essa jornada. Dizer muito obrigado ainda seria pouco para expressar a minha gratidão. Mas aqui essa é a única possibilidade que tenho para demonstrar a importância de vocês na minha vida e, sobretudo, nesse momento que representa um marco na minha trajetória pessoal e profissional.

RESUMO

As atividades relacionadas à construção social de modelos, conhecidas como Modelagem, têm o potencial para criar um ambiente dinâmico que valoriza as interações dialógicas e as ações multimodais em sala de aula, favorecendo a circulação de ideias e a mediação do conhecimento científico nesse espaço. Com o objetivo de verificar a repercussão dessas atividades na formação inicial dos professores de Química, realizou-se uma pesquisa com 27 estudantes que cursavam a disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química II*, ofertada no sexto período do curso de licenciatura em Química-Diurno, da Universidade Federal de Viçosa (MG). Em termos metodológicos, a pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa, com viés descritivo e interpretativo. Sobre o pesquisador, ele investigou as ações dos licenciandos na turma em que atuava como professor. Todo o processo formativo foi analisado com base na perspectiva Sócio-Histórico-Cultural de Vygotsky, na Teoria da Ação Mediada de Wertsch e em algumas contribuições da Semiótica Social. Após discutirem as atividades baseadas na construção social de modelos para explicar a energia envolvida nas Transformações Químicas, os licenciandos foram confrontados, na avaliação final, com situações que exigiam deles pensar em possibilidades para mediar o conhecimento junto aos estudantes do Ensino Médio. Os dados foram coletados por meio de materiais escritos, notas de campo oriundas da observação participante e filmagens das aulas. As conclusões do trabalho apontam para a importância de se abordar questões relativas à mediação social e semiótica na formação inicial dos professores de Química, proporcionando uma melhor compreensão das múltiplas possibilidades de articulação do conhecimento científico em sala de aula. Isso pode ser inferido com base nos resultados das atividades propostas, que permitiram aos licenciandos desenvolver habilidades relacionadas ao uso dos diferentes recursos mediacionais e de ações multimodais, o que favoreceu a construção de significados em sala de aula. Tal proposta dialoga com as discussões atuais no campo da educação em Ciências, possibilitando aos professores em formação inicial uma compreensão crítica e mais apurada sobre os fundamentos e usos dos modelos no ensino.

ABSTRACT

Modelling-Based Teaching activities can foster a dynamic environment involving dialogic interactions among peers. Moreover, modelling practices have the potential to promote multimodal actions, thereby favouring the circulation of ideas and mediation of scientific knowledge in the classroom. In the present research, the activities developed with 27 pre-service Chemistry teachers (PSTs) that attended the course of *Instrumentation for Chemistry Teaching II*, at the Federal University of Viçosa (Brazil), were supervised. After conducting a series of activities based on building models to explain the energy related to chemical changes, the PSTs were confronted with a particular situation that required them to think about how knowledge could be mediated in classroom. With regard to methodological aspects, the researcher investigated the PSTs actions in his own class, constituting a qualitative research which emphasis on descriptive and interpretive biases. These activities were analysed in the light of Social-Historical-Cultural approach, Theory of Mediated Action and contributions of the Social Semiotic. After discussing the activities from an instructional approach based on modelling, the PSTs were confronted in the final assessment with situations that required the examination of knowledge mediation in secondary classrooms. The data were collected by means of written activities, field notes derived from participants' supervision and video recording of discussions in classrooms. Their analyses allowed to establish conclusions on the importance of multimodal interactions in PSTs' University courses, seeking to improve the articulation of scientific knowledge and development of mediational skills. The results point out to the importance of addressing PSTs aspects concerning pedagogical mediation (both social and semiotic), favouring the better articulation of scientific knowledge in classroom. Furthermore, these modelling activities enabled the PSTs to better understand the process of model articulation in classroom and pedagogical mediation. This teaching perspective dialogues with current discussions in recent Science Education researches, highlighting that modelling and multimodal interactions can help PSTs to disseminate more meaningful procedures in secondary classroom and develop a more accurate understanding of Science and its bases, including the critical analysis of models used in scientific education.

"O importante é semear, produzir milhões de sorrisos de solidariedade e amizade. Procuro semear otimismo e plantar sementes de paz e justiça. Digo o que penso, com esperança. Penso no que faço, com fé. Faço o que devo fazer, com amor. Eu me esforço para ser cada dia melhor, pois bondade também se aprende. Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir."

Cora Coralina

"Ninguém educa ninguém, ninguém se educa sozinho, as pessoas se educam reciprocamente, mediatizadas pelo mundo."

Paulo Freire

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – PANORAMA GERAL DO TRABALHO	12
1. SITUANDO O OBJETO DE ESTUDO NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS.....	12
2. ESTRUTURA DO TRABALHO	15
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (PARTE I)	17
1. BREVE PANORAMA SOBRE A OBRA DE VYGOTSKY E OS ESTUDOS RELACIONADOS À PERSPECTIVA SÓCIO-HISTÓRICO-CULTURAL DO DESENVOLVIMENTO HUMANO	17
2. MEDIAÇÃO POR SIGNOS ENQUANTO VÍNCULO ENTRE REALIDADE SOCIAL E PSÍQUICA ...	19
3. MEDIAÇÃO SEMIÓTICA E O PROCESSO DE INTERCONVERSÃO DO CONHECIMENTO	22
4. USOS E ABRANGÊNCIAS DOS MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS / QUÍMICA.....	25
5. CONSTRUÇÃO SOCIAL DE MODELOS (MODELAGEM): FUNDAMENTOS TEÓRICOS	33
6. FORMAÇÃO DE CONCEITOS EM VYGOTSKY E AS ABORDAGENS COMUNICATIVAS EM SALA DE AULA	37
7. TEORIA DA AÇÃO MEDIADA E A DUPLA MEDIAÇÃO NO TRABALHO COM MODELAGEM..	40
8. ATIVIDADES DE MODELAGEM, MULTIMODALIDADE E SEMIÓTICA SOCIAL.....	42
CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (PARTE II)	46
1. AS DEMANDAS ATUAIS DA EDUCAÇÃO E O PROFESSOR EM FORMAÇÃO INICIAL: PERSPECTIVAS PARA OS FUTUROS DOCENTES	46
2. OS SABERES DOCENTES E A MOTIVAÇÃO INTRÍNSECA PARA O DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL DOS PROFESSORES DE QUÍMICA.....	51
3. A FORMAÇÃO INICIAL DOS PROFESSORES E OS DESAFIOS DO “APRENDER A ENSINAR” ..	55
4. APRENDIZAGEM DA TERMOQUÍMICA E DOS CONCEITOS RELACIONADOS A ESSE TEMA .	59
5. APRESENTAÇÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA	63
CAPÍTULO 4 – DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA	64
1. CONTEXTO INVESTIGATIVO-METODOLÓGICO DA PESQUISA E PROPOSTA DE TRABALHO	64
2. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E APRESENTAÇÃO DO PROFESSOR-PESQUISADOR	66
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA E AS METODOLOGIAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	67
4. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES RELACIONADAS À SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA.....	78
4.1. PRIMEIRA AULA – UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO (APÊNDICES I E II).....	80

4.2. SEGUNDA AULA – ATIVIDADE TEÓRICA E PRÁTICA RELACIONADA À UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA (APÊNDICE III)	81
4.3. TERCEIRA E QUARTA AULAS – ATIVIDADE DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO ÂMBITO GERAL (APÊNDICE IV).....	82
4.4. QUINTA E SEXTA AULAS – ATIVIDADE PRÁTICA ASSOCIADA À ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA EXPLICAR OS PROCESSOS ENDOTÉRMICO E EXOTÉRMICO (APÊNDICE V) ..	83
4.5. SÉTIMA AULA – AVALIAÇÃO FINAL DO PROCESSO DE ENSINO (APÊNDICE VI)	84
CAPÍTULO 5 – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE MEDIAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO APRESENTADAS NAS AULAS	87
1. AULAS 3 E 4: INTRODUÇÃO PRÁTICA AO TRABALHO DE CONSTRUÇÃO SOCIAL DE MODELOS – MODELAGEM PARA EXPLICAR O ARMAZENAMENTO DE INFORMAÇÕES EM UM CHIP (APÊNDICE IV).....	88
2. FINAL DA AULA 4: MODELAGEM PARA EXPLICAR A ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS EXOTÉRMICA E ENDOTÉRMICA (APÊNDICE V)	91
3. AULA 5: MODELAGEM NO CAMPO DA QUÍMICA (CONTINUAÇÃO DA AULA 4).....	98
4. AULA 6: INVESTIGANDO AS POSSIBILIDADES DE MEDIAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO EM SALA DE AULA DURANTE A SOCIALIZAÇÃO DOS MODELOS.....	134
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE GERAL DO PROCESSO FORMATIVO E DISCUSSÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA.....	165
1. APRECIÇÃO GERAL DA MODELAGEM E DAS PROPOSTAS DE MEDIAÇÃO APRESENTADAS	165
2. DISCUSSÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA PROPOSTAS	170
2.1. PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA	171
2.2. SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA.....	193
2.3. TERCEIRA QUESTÃO DE PESQUISA.....	209
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES DO TRABALHO PARA O ENSINO DE QUÍMICA E PARA A PESQUISA EDUCACIONAL.....	222
1. APRECIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES DO TRABALHO.....	223
2. CONTRIBUIÇÕES PARA A PESQUISA EDUCACIONAL E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA	236
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	240
APÊNDICES	262

LISTA DE ILUSTRAÇÕES: FIGURAS E GRÁFICO

Figura 01. Diagrama representativo do ciclo da atividade produtiva humana.....	22
Figura 02. Ciclo epistemológico equivalente.....	23
Figura 03. Processo de formação docente na perspectiva sócio-histórico-cultural e a centralidade da mediação pedagógica nas ações do professor.....	25
Figura 04. Relacionamento entre as etapas envolvidas no processo de Modelagem.....	33
Figura 05. Esquema representativo da sequência de aulas que envolveram as atividades de Modelagem.....	74
Figura 06. Disposição dos grupos de trabalho na sala durante a coleta dos dados.....	77
Figura 07. Foto do desenho feito pelo professor no quadro e de um modelo para representar a disposição dos íons K^+ (X) e I^- (Y) na rede cristalina.....	151
Gráfico 01. Respostas dos licenciandos ao item C da questão 4.....	199

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 01. Modelos elaborados pelos licenciandos durante o processo de Modelagem para explicar o saldo energético relacionado às transformações químicas exotérmicas e endotérmicas.....	132
Tabela 02. Modelos apresentados pelos licenciandos durante a socialização das ideias na turma.....	167
Tabela 03. Categorias referentes aos aspectos positivos e negativos relacionados ao Modelo 01 (M1), de acordo com a avaliação dos licenciandos.....	185
Tabela 04. Categorias referentes aos aspectos positivos e negativos relacionados ao Modelo 02 (M2), de acordo com a avaliação dos licenciandos.....	186
Tabela 05. Categorias referentes às explicações propostas pelos licenciandos no item A da questão 6.....	202
Quadro 01. Descrição das atividades de ensino 1 a 4 (Apêndices I a IV).....	79
Quadro 02. Descrição da atividade relacionada à construção social de modelos e mediação do conhecimento científico (Apêndice V).....	80
Quadro 03. Descrição das questões apresentadas na Avaliação Final (Apêndice VI).....	86

CAPÍTULO 1 – PANORAMA GERAL DO TRABALHO

“Eu não gostaria que as coisas que escrevo poupassem as outras pessoas de pensar. Ao contrário, se possível, gostaria de estimulá-las a pensar pensamentos que fossem delas mesmas.”

Ludwig Wittgenstein

1. SITUANDO O OBJETO DE ESTUDO NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

O presente trabalho examinará as propostas de mediação do conhecimento relacionadas à construção social de modelos (Modelagem) no processo de formação inicial dos professores¹ de Química, considerando o potencial dessas atividades para fomentar dinâmicas interativas e ações multimodais em sala de aula. O conteúdo abordado na sequência didática proposta se relaciona à explicação dos processos energéticos envolvidos nas transformações químicas.

A escolha do tema e a relevância desse estudo para o campo da educação em Ciências têm relação com pesquisas que sinalizam as dificuldades enfrentadas na aprendizagem da Termoquímica e de conceitos correlatos, aspectos esses que serão abordados no Capítulo 3. Considerando as discussões apresentadas por algumas dessas pesquisas, acredita-se que o processo de Modelagem, associado às possibilidades multimodais que as atividades de construção social do conhecimento favorecem, teria o potencial de ajudar na representação e, conseqüentemente, na compreensão dos aspectos conceituais relacionados aos processos termoquímicos.

Em relação ao meu interesse por essa temática, ele aumentou quando, durante a realização do Mestrado, tive a oportunidade de participar de um projeto de pesquisa² relativo à formação continuada de professores de Química. Nesse projeto, foi elaborada e aplicada em turmas do Ensino Médio uma sequência de atividades

¹ Ao longo do texto, serão utilizadas referências aos sujeitos da pesquisa sempre no masculino (o professor, o estudante, o licenciando), reconhecendo aqui a dificuldade em se evitar uma linguagem sexista na escrita que exige rigor acadêmico.

² Projeto desenvolvido em 2006 no *Núcleo de Pesquisa em Educação em Ciências*, do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais, coordenado pela professora Dra. Rosária Justi. Nesse projeto, nove professores de Química com tempo de formação e prática docentes variados participaram de um grupo colaborativo. O objetivo principal era contribuir para melhorar a formação dos professores a partir do desenvolvimento de seus conhecimentos sobre o processo de Modelagem e sua articulação no ensino.

relacionadas ao processo de construção e teste de modelos para explicar a *energia envolvida nas transformações químicas*, estando essas atividades alicerçadas na História das Ciências³. Além disso, a experiência docente que tive no Ensino Médio (2000 a 2010) me permitiu estabelecer significativas interações com os estudantes durante as aulas teóricas e práticas que ministrei em diferentes contextos⁴. Tais vivências contribuíram para que fosse possível eu constatar o quanto essa temática se apresenta desafiante aos estudantes e, acima de tudo, aos professores de Química.

Pensando-se nessas questões que demandam dos professores propor estratégias de ensino para favorecer a articulação do conhecimento científico em sala de aula, é possível considerar que a perspectiva sócio-histórico-cultural, um dos referenciais que irá fundamentar as discussões no presente trabalho, reforça o papel da interação entre os sujeitos, mediada pela linguagem, como determinante para a construção das funções psicológicas superiores.

Assumindo esse pressuposto, o processo de Modelagem pode apresentar importantes implicações para a formação inicial dos professores, pois fomenta ações que favorecem a interação social e o uso de diferentes linguagens durante a construção, debate e teste dos modelos. Isso permite a mediação pedagógica e o desenvolvimento de habilidades relacionadas à capacidade de planejar, imaginar, intervir na sala de aula etc. Sobretudo ao considerar que em tais atividades os sentidos que delas emergem são negociados discursivamente, por meio das interações multimodais estabelecidas na dinâmica da sala de aula, o que deslocaria a centralidade do discurso verbal no processo de ensino (Silva Oliveira, 2013). Cappelle (2014) destaca que, com base na Semiótica Social, se torna possível investigar os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados entre sujeitos

³ Dentre as discussões que fundamentaram a referida proposta de Modelagem, destaca-se a disputa histórica relacionada às ideias material e mecanicista para explicar a origem do calor em diferentes processos físicos e químicos. Cabe ressaltar que frente a essa disputa, a posição mecanicista saiu fortalecida junto à comunidade científica. Entretanto, a ideia material do calor deixou significativos rastros na linguagem utilizada até hoje, tal como: *calor armazenado, calor absorvido e liberado* etc. Essa discussão se encontra detalhadamente descrita em Souza (2007).

⁴ Nessa trajetória profissional voltada à Educação Básica, destacam-se experiências com a Educação de Jovens e Adultos no Ensino Regular e na Educação Especial (professor-intérprete de surdos), Cursos Pré-Vestibulares e regência nas três séries do Ensino Médio (Escolas Públicas e Privadas de Belo Horizonte).

que interagem utilizando diferentes recursos mediacionais e formas de comunicação (verbal, visual, gestual e acional).

Assim, as ideias de Vygotsky se mostram fundamentais para as pesquisas educacionais, pois remetem às principais teses sobre o desenvolvimento humano, com destaque para: (i) as relações entre o pensamento e a linguagem; (ii) o papel mediador da cultura na constituição do modo de funcionamento psicológico dos sujeitos; e (iii) o processo de internalização⁵ dos conhecimentos, habilidades e significados elaborados socialmente.

Admite-se, ainda, como pressuposto para o processo formativo dos futuros professores de Química, a necessidade de se conhecer diferentes metodologias de ensino, proporcionando aos licenciandos repertório para posteriormente articularem algumas dessas estratégias em suas aulas. É importante, então, que se tenha a oportunidade de vivenciar e avaliar atividades envolvendo a Modelagem, de modo a ser possível refletir sobre os processos de ensino e aprendizagem da Química, ressignificando as ações pautadas no modelo de *transmissão-recepção*, que se baseia na seguinte relação: aprende-se algo para que, em seguida, seja transmitido de forma unidirecional.

O ensino, quando pensado no contexto da Modelagem, acontece ao longo do processo de comunicação e interação com os sujeitos, tendo aí a possibilidade para a produção de sentidos e significados por meio de ações multimodais. Além disso, todo esse processo formativo permite aos licenciandos desenvolver um julgamento crítico sobre o uso dos modelos no ensino, sendo possível pensar na relevância dessas propostas metodológicas que envolvem a construção social do conhecimento.

Dessa forma, promover o pensamento crítico, a indagação, a argumentação, a autonomia, a criatividade e a capacidade investigativa dos estudantes pressupõe que o professor passe por experiências dessa natureza. Isso permite a ele examinar os fundamentos dessas metodologias e as suas implicações frente ao processo de ensino e aprendizagem de Química.

⁵ A *internalização* não representa a transferência direta dos processos externos (social) para o interno (mental), sendo esse um processo dinâmico e dialógico, como discutido por Mortimer e El-Hani (2013).

Considerando-se que as práticas envolvendo a Modelagem contemplam os aspectos destacados anteriormente, é possível inferir que *aprender Ciências* se relaciona ao processo de construção de novos significados e de apropriação dos modos de pensar e falar sobre o mundo, próprios da cultura científica (Lemke, 1990). *Ensinar Ciências*, por sua vez, é oportunizar essa construção por meio de atividades, recursos e ações multimodais que alicerces a dinâmica de produção, comunicação e legitimação do conhecimento científico em sala de aula.

Por fim, o foco desta pesquisa está no modo como os licenciandos do curso de Química propõem articular a mediação do conhecimento científico relacionado aos processos de ensino da Termoquímica, a partir das atividades de Modelagem desenvolvidas em sala de aula. A análise dessas propostas de mediação será realizada à luz da abordagem sócio-histórico-cultural, da Teoria da Ação Mediada e da Semiótica Social, das quais serão discutidos alguns aspectos teóricos no próximo capítulo.

2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto da Tese foi estruturado em sete capítulos. O primeiro deles se dedica a apresentação do trabalho, com uma breve descrição dos caminhos percorridos pelo autor para construir o objeto de pesquisa investigado.

Nos dois capítulos seguintes serão discutidos os referenciais teóricos utilizados para fundamentar a análise dos dados, ficando reservada para o Capítulo 2 uma breve revisão bibliográfica referente: (i) à perspectiva sócio-histórico-cultural de Vygotsky; (ii) à mediação do conhecimento científico; e (iii) aos modelos e Modelagem no ensino de Ciências. Além desses tópicos, também serão discutidas a formação de conceitos em Vygotsky, as abordagens comunicativas possíveis de serem articuladas em sala de aula, a Teoria da Ação Mediada e a Multimodalidade no ensino de Ciências. Na sequência, o Capítulo 3 contemplará uma revisão bibliográfica referente à formação inicial dos professores de Química e à discussão dos trabalhos que abordam conceitos relacionados à Termoquímica. Encerrando o capítulo serão abordadas as questões de pesquisa que nortearam a presente investigação.

No capítulo 4 será apresentado e discutido o desenho metodológico da pesquisa, com destaque para: (i) a descrição da amostra; (ii) a apresentação do professor-pesquisador; e (iii) as considerações sobre a pesquisa e as metodologias de coleta e análise de dados. Os capítulos 5 e 6 se relacionam à apresentação e análise dos dados, bem como à discussão das três questões de pesquisa.

O capítulo 7 encerrará o trabalho com: (i) a apreciação geral dos resultados e as conclusões retiradas a partir deles; e (ii) as contribuições e implicações para a pesquisa educacional e o ensino de Química, com destaque para as possibilidades de trabalhos futuros.

Por fim, como panorama geral desse estudo, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa:

- De que forma o processo de Modelagem favoreceu o desenvolvimento de habilidades inerentes à docência em Química e que se relacionam às possibilidades de mediação do conhecimento científico em sala de aula?

O problema de pesquisa aqui proposto será desdobrado em três questões que nortearão as discussões deste trabalho.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (PARTE I)

“Não é no silêncio que os homens se fazem, mas na palavra, no trabalho, na ação-reflexão.”

Paulo Freire

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica da pesquisa, que se ampara na abordagem sócio-histórico-cultural inaugurada com os trabalhos de Vygotsky e expandida por vários autores contemporâneos no campo da educação e da educação em Ciências. O foco estará na discussão do conceito de mediação do conhecimento, que tem se mostrado central na perspectiva vygotskiana, e de seus desdobramentos e implicações para a presente pesquisa. Sobretudo por esse conceito ter inspirado a proposição do ambiente de aprendizagem e formação de professores aqui investigado, além de servir como referencial para se construir os problemas de pesquisa e analisar os dados. Serão discutidas também questões relacionadas à construção social de modelos e sua importância no ensino de Ciências e na formação inicial dos professores de Química, temática essa abordada a partir de uma revisão de trabalhos na área que dialogam com a abordagem sócio-histórico-cultural.

1. BREVE PANORAMA SOBRE A OBRA DE VYGOTSKY E OS ESTUDOS RELACIONADOS À PERSPECTIVA SÓCIO-HISTÓRICO-CULTURAL DO DESENVOLVIMENTO HUMANO

Vygotsky investigou em alguns de seus trabalhos as funções psicológicas superiores, que se relacionam à capacidade de planejamento, memória voluntária, imaginação etc. Esses processos mentais são considerados superiores porque se referem a mecanismos intencionais, ações conscientemente controladas e processos voluntários que dão ao sujeito a possibilidade de independência no seu modo de pensar e agir sobre o mundo. Tais funções consideradas superiores não são inatas, tendo sua gênese nas relações estabelecidas entre os sujeitos. Além disso, elas se desenvolvem ao longo do processo de internalização das formas culturais de comportamento, tendo a mediação social e semiótica como fatores essenciais para que isso se efetive.

De acordo com Rego (2009), as principais ideias de Vygotsky podem ser caracterizadas pela: (i) *relação sujeito/sociedade* – as características tipicamente humanas resultam da interação do homem com o meio social; (ii) *origem cultural das funções psíquicas superiores* – as funções psicológicas humanas se originam nas relações do sujeito com o seu contexto cultural e social; (iii) *base biológica do funcionamento psicológico* – o cérebro constitui o produto de uma longa evolução; (iv) *mediação presente nas atividades humanas* – se relaciona ao uso da linguagem e de recursos que estabelecem a ponte entre o homem e o mundo que o cerca; e (v) *importância do processo de internalização durante a aprendizagem* – os sujeitos não reproduzem simplesmente o conteúdo disposto culturalmente, mas buscam uma resignificação do conhecimento.

Fundamentando-se nos princípios do materialismo dialético de Marx e Engels⁶, Vygotsky considerou o desenvolvimento humano como um processo de internalização da experiência cultural e, ao mesmo tempo, histórica. Nesse sentido, o biológico e o cultural não estão dissociados, de modo que o homem se constitui como tal por meio de suas interações sociais, sendo visto como um sujeito que transforma e é transformado nas relações produzidas em uma determinada cultura. Assim, a obra de Vygotsky tem destacada relevância no campo educacional, considerando que ele foi pioneiro nas discussões sobre os mecanismos pelos quais a cultura torna-se parte da natureza humana (Cole & Scribner, 1984). Sobretudo ao pensar que a cultura não é considerada algo pronto e estático, ao qual o sujeito se submete passivamente. Ela é fomentada por meio de um ambiente dinâmico de negociações, onde os seus membros estão em constante movimento de criação de significados e interpretação de informações.

Com base nessa discussão é possível compreender que o homem age sobre o mundo, transformando-o. O que diferencia a espécie humana dos outros animais é

⁶ O materialismo dialético se caracteriza por compreender os processos a partir de uma tensão entre polos em oposição mútua, que se constituem e se modificam na relação estabelecida entre si. Assim o são, na obra de Vygotsky, as dimensões social e individual da aprendizagem; as bases cultural e biológica do desenvolvimento; as funções comunicativa e intelectual da linguagem; o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico, entre tantos outros polos em tensão permanente. Outra influência tipicamente marxista no pensamento vygotkiano é a compreensão dos processos em sua gênese, na história de sua constituição, em nível da sociedade e dos sujeitos.

que somente o homem é capaz de estabelecer uma ação transformadora consciente. Dessa forma, o processo de evolução cultural cumulativa pressupõe não só a invenção criativa, mas também, e de modo igualmente importante, a transmissão social, que funcionaria como uma “catraca”⁷, impedindo o resvalo para trás. O artefato ou a nova prática preservaria sua forma melhorada, pelo menos até que surja outra modificação ou aprimoramento. Isso dialoga com as ações práticas relacionadas ao processo de construção e reformulação dos modelos nas Ciências, tal como será discutido nas seções seguintes desse capítulo.

Assim, a evolução cultural está na base da compreensão dos processos de desenvolvimento de cada sujeito em uma dada cultura (*Ontogênese*), por meio da atividade compartilhada com o uso de recursos mediacionais que, em qualquer tempo, representam a sabedoria coletiva do grupo social ao longo da sua história. Tal evolução possibilita aos sujeitos se beneficiarem dos conhecimentos e das habilidades acumuladas historicamente por seus grupos sociais, além de produzirem algo novo a partir do que já existe.

2. MEDIAÇÃO POR SIGNOS ENQUANTO VÍNCULO ENTRE REALIDADE SOCIAL E PSÍQUICA

Para compreender os vínculos entre o desenvolvimento psíquico de cada sujeito e os processos sociais e culturais que estão em sua origem, Vygotsky ressalta a função semiótica como elo fundamental. Para o autor, a atividade humana se distingue de outros animais por ser mediada por signos e é por meio destes que os sujeitos vão compartilhando significados sobre si mesmos e sobre o mundo em que vivem e agem. Os signos, inicialmente utilizados para regular a ação do outro, vão sendo internalizados e utilizados para regular a própria ação. Essa internalização é, para o autor, uma reconstrução individual dos modos de ação realizados externamente, contribuindo para a organização dos processos mentais. O sujeito deixa, portanto, de

⁷ De acordo com Tomasello (2003), a *evolução cultural cumulativa*, denominada metaforicamente de *efeito catraca*, acontece quando uma pessoa ou um grupo cria algo novo. À medida que as gerações vão progredindo, os sujeitos naturalmente aperfeiçoam e modificam os seus artefatos ou práticas. O *efeito catraca* só ocorre devido à capacidade humana de reconhecer as outras pessoas como iguais e intencionais, possibilitando assim três tipos de aprendizagens distintas: (i) *por imitação*; (ii) *por instrução*; e (iii) *por colaboração*.

se basear em signos externos e começa a se apoiar em recursos internalizados, como as representações, as imagens, os conceitos, os modelos, os gestos etc. Assim, compreender a mediação do homem com o mundo e com seus pares é fundamental, pois é por meio desse processo que as funções psicológicas superiores podem se desenvolver.

De acordo com Rego (2009), o signo substitui e expressa processos e ideias, servindo como auxílio da memória e da atenção humana. Como exemplo no campo da Química, a seta dupla da equação $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$ representa semioticamente que o sistema se encontra em equilíbrio, coexistindo reagente e produto ao mesmo tempo. Quando se pensa na linguagem, é necessário compreender que ela, além de servir ao propósito de comunicação entre os sujeitos, também simplifica e generaliza a experiência, ordenando as instâncias do mundo real em categorias conceituais cujo significado é compartilhado pelos seus usuários.

Por meio da linguagem é possível designar os objetos do mundo exterior (por exemplo, a palavra “béquer”, que se refere a uma vidraria utilizada em laboratórios de Química), as ações (correr, escrever...), as qualidades dos objetos (duro, áspero...) e as que se referem às relações espaciais (acima, distante...). Desse modo, a linguagem permite: (i) lidar com os objetos do mundo exterior quando eles são inacessíveis; (ii) analisar, abstrair e generalizar as características dos objetos, eventos e situações cotidianas (a palavra generaliza o objeto e o inclui numa determinada categoria, não designando apenas os elementos presentes na realidade, mas também os conceitos e modos de ordenar o real em categorias conceituais); e (iii) a comunicação entre os homens, garantindo a preservação, transmissão e assimilação de informações e experiências acumuladas ao longo da história. Rego (2009, p. 54) destaca que “*a linguagem é um sistema de signos que possibilita o intercâmbio social entre indivíduos que compartilhem desse sistema de representações da realidade*”.

A mediação por signos implica na mediação social. Isso considerando que os signos possuem uma natureza social/comunicativa e não individual, de modo que os sentidos atribuídos a eles são socialmente negociados. Dessa forma, o desenvolvimento está intimamente relacionado ao contexto sócio-histórico-cultural

em que o sujeito se insere, ocorrendo de forma dinâmica e dialógica, por meio de possíveis rupturas e desequilíbrios que desencadeiam contínuas reorganizações mentais. De acordo com Rego (2009):

[...] o desenvolvimento do psiquismo humano é sempre mediado pelo outro (outras pessoas do grupo cultural), que indica, delimita e atribui significados à realidade. Por intermédio dessas mediações, os membros imaturos da espécie humana vão pouco a pouco se apropriando dos modos de funcionamento psicológico, do comportamento e da cultura [...] Quando internalizados, estes processos começam a ocorrer sem a intermediação de outras pessoas. (Rego, 2009, p. 61)

Vygotsky (2000) afirma que entre a *coisa* em si e a *coisa* para si interpõe-se a *coisa* para os outros. O mundo apresenta significado para alguém porque, primeiramente, teve significado para os outros. Com isso, na perspectiva sócio-histórico-cultural, o ato de conhecer é um processo social e histórico, não um fenômeno individual e natural. Dizer que o real só pode ser conhecido como representação equivale dizer que conhecer é um processo de natureza semiótica, de modo que a função do signo é favorecer a abstração e a generalização. No contexto das Ciências, os diversos modelos elaborados para prever ou explicar algum fenômeno exercem essa função.

Na educação escolar, o conceito de aprendizagem mediada confere uma posição privilegiada ao professor no processo educativo, considerando que para se efetivar o desenvolvimento, é desejável que a instrução seja favorecida por um ambiente dinâmico, possibilitando aos estudantes construir suas formas de pensar baseadas nas questões articuladas em sala de aula. Vygotsky (1991, p. 101) destaca que *“o aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental e põe em movimento vários processos de desenvolvimento que, de outra forma, seriam impossíveis de acontecer”*.

Cabe ressaltar também que os conhecimentos não são adquiridos somente com os professores. Considerando a perspectiva sócio-histórico-cultural, o processo de aprendizagem é uma atividade conjunta, em que as relações colaborativas podem e devem ter espaço, de modo que o professor participa como mediador de todo o processo. Além de ser o sujeito mais experiente, sua interação tem planejamento e intencionalidade.

3. MEDIAÇÃO SEMIÓTICA E O PROCESSO DE INTERCONVERSÃO DO CONHECIMENTO

De acordo com Pino (2001), o caráter social da atividade humana se relaciona ao planejamento em função de objetivos determinados e a socialização dos instrumentos e produtos da atividade, caracterizada pela acumulação da experiência de produção e a possibilidade de acesso aos bens culturais produzidos.

Segundo Luria (1994), os meios criados pelo homem são os técnicos (para agir sobre a natureza) e os semióticos (para agir sobre os outros e si mesmo). Nesse sentido, a ideia de instrumentalidade técnica é central na obra de Marx e Engels, enquanto a ideia relacionada à instrumentalidade semiótica constitui uma importante contribuição de Vygotsky. Considerando essa discussão, Pino (2001) destaca que:

De natureza diferente, esses dois tipos de meios têm vários aspectos comuns, principalmente a sua função mediadora, como já o salientou Vygotsky. Cabe ressaltar que o instrumento técnico, como qualquer outro tipo de produção humana, constitui um objeto *semiótico*, pois é portador da *ideia* que orientou sua produção e que define sua natureza: o que é e para que foi produzido. Isso converte o instrumento técnico num signo, pois permite evocar na mente de quem usa a ação e a finalidade para as quais fora fabricado. Essa dimensão semiótica permite a socialização do seu uso, *fazer técnico*, e faz dele um objeto de conhecimento, *saber técnico*. (Pino, 2001, p. 39)

A natureza instrumental, social, técnica e semiótica da atividade confere à ação humana a capacidade de transformar o objeto e o sujeito da atividade ao mesmo tempo, como representado por Pino (2001, p. 39) no diagrama da Figura 01:

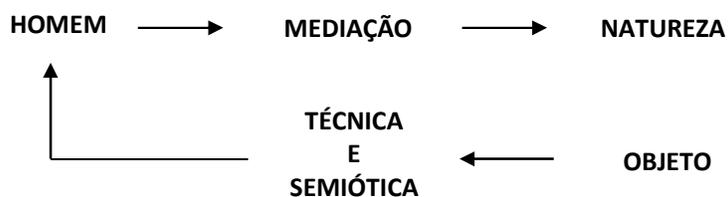


Figura 01. Diagrama representativo do ciclo da atividade produtiva humana.

Agindo sobre a natureza, o homem a transforma ao mesmo tempo em que se transforma por meio da aquisição de novos saberes e habilidades. Nesse sentido, o objeto de conhecimento – fonte do saber do sujeito – é, ao mesmo tempo, produto desse mesmo saber, conforme esquematizado na Figura 02.



Figura 02. Ciclo epistemológico equivalente. (Pino, 2001, p. 39)

De acordo com as Figuras 01 e 02, a relação existente entre a atividade produtiva (agir sobre o mundo) e a atividade cognitiva (pensar o mundo, as ações realizadas e seus resultados) representa um importante movimento dialético. Da mesma forma que o homem transforma a natureza, ele a constrói em objeto de conhecimento, como forma de produção cultural, e também a si mesmo em sujeito de conhecimento. Nessa perspectiva, o conhecimento não se explica como um simples ato do sujeito, do objeto e nem da relação resultante da interação entre sujeito/objeto. O conhecimento se estabelece como resultado da relação dialógica, mediada semioticamente, entre o sujeito e o objeto. Trata-se da mediação social, uma vez que tanto os meios técnicos quanto os semióticos são artefatos de origem social, cujos significados são construídos na interação e negociação com outros sujeitos.

Assim, o processo de construção do conhecimento pressupõe o envolvimento em atividades organizadas, nas quais os signos (fala, gestos, imagens, modelos etc.) desempenham papéis fundamentais. Isso acontece no processo de participação, à medida que os sujeitos se modificam por meio do seu envolvimento. Nesse sentido, Pino (2005) destaca que a ideia relativa à existência de dois planos (um externo e outro interno ao sujeito) pode dar a impressão de que existem dois espaços físicos diferentes no momento em que a atividade acontece e, conseqüentemente, se transpõe de um plano o outro, como destacado na passagem a seguir:

Não se exclui a possibilidade de que tal formulação dê origem a possíveis interpretações equivocadas do pensamento de Vigotski; entretanto, esse risco é mais aparente que real, pois embora a operação de “transposição” de um plano para o outro esteja sujeita às leis físicas do *tempo* – o que permite falar de “um antes” e “um depois” – o objeto dessa operação escapa às leis físicas do *espaço*. [...] o que é objeto da operação de “transposição” de um plano para o outro, a *significação*, não é de natureza física, mas semiótica, a qual não está sujeita às leis físicas do espaço. Isso nos permite pensar numa espécie de “geografia semiótica”, contraposta à geografia física, onde os espaços podem sobrepor-se sem se confundirem, de maneira que o que é privado possa ser público e o que é público possa ser privado. (Pino, 2005, p. 32-33)

De acordo com Pino (2005), o termo *conversão* é mais adequado para se referir ao processo de *internalização*. Tendo em vista que os dois termos, mesmo sendo distintos, se relacionam a um mesmo processo que perpassa a subjetividade da pessoa, é importante reconhecer que *conversão* parece traduzir melhor a natureza do fenômeno discutido por Vygotsky. Pino (2005) ainda destaca outro sentido para o termo *conversão*, que tem sido utilizado mais recentemente: é o de *transformação* de uma coisa em outra, como ocorre nas mudanças de estado físico da matéria, em que a composição química da substância não se modifica, apesar das diferenças no seu estado. Considerando essa transformação de estado, a *conversão* pressupõe a aquisição do novo e, ao mesmo tempo, a conservação do que já existe, tendo em vista que “*isso implica duas coisas: uma transposição de planos, como indicado pelo termo internalização, e a ocorrência, nessa transposição, de uma mudança de sentido nas relações sociais*” (Pino, 2005, p. 112). Esse autor afirma ainda que:

Na conversão das relações sociais em relações intrapessoais, o elemento que permanece é a *significação* dessas relações, tanto no plano social quanto no pessoal. Mas essa *significação* muda de estado e de direção: de social torna-se pessoal – e de agente externo – imposição social – torna-se agente interno – orientador da própria conduta. (Pino, 2005, p. 112)

Os aspectos teóricos apresentados na discussão anterior permitem sistematizar parte do processo de formação docente na perspectiva sócio-histórico-cultural, foco principal deste trabalho. Com o esquema apresentado na Figura 03, buscou-se destacar os pressupostos teóricos que alicerçaram a proposta para a formação inicial dos professores de Química desenvolvida neste trabalho, de modo a estabelecer relações entre eles. Tal proposta envolve a construção do conhecimento científico a partir do uso de múltiplas linguagens (oral, gestual, pictórica e concreta). Todas essas formas utilizadas para a expressão do conhecimento científico foram articuladas pelos licenciandos durante o desenvolvimento das propostas de mediação social e semiótica em sala de aula, o que se deu por meio de atividades dinâmicas estruturadas em torno da construção social de modelos.

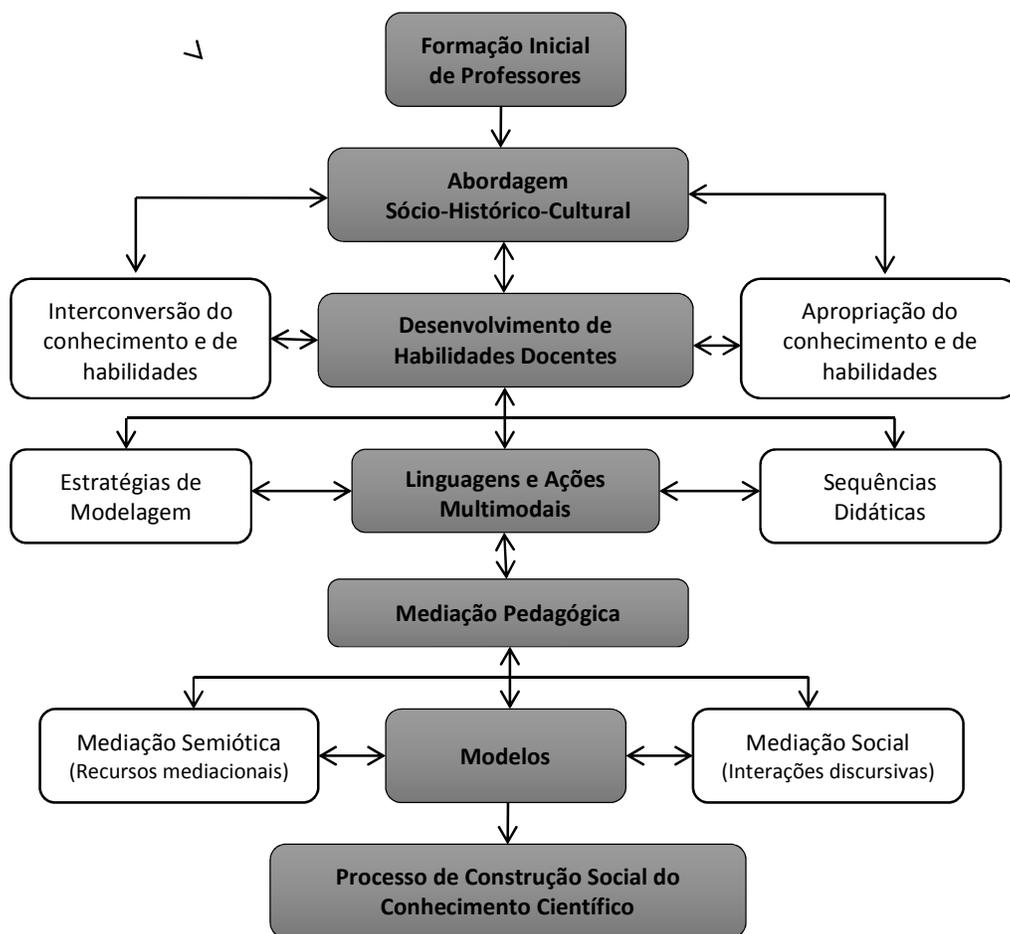


Figura 03. Processo de formação docente na perspectiva sócio-histórico-cultural e a centralidade da mediação pedagógica nas ações do professor.

Na parte central do esquema proposto na Figura 03, encontra-se em destaque a estrutura principal da proposta formativa que será discutida em detalhes neste trabalho.

4. USOS E ABRANGÊNCIAS DOS MODELOS NO ENSINO DE CIÊNCIAS / QUÍMICA

O homem constrói modelos que representam aspectos tanto do mundo físico quanto do social e manipula esses modelos ao pensar, planejar e tentar explicar eventos do mundo natural (Maia & Justi, 2009). Dessa forma, os modelos sempre estão presentes no processo de construção do conhecimento científico. Justi (2010) aponta que os modelos apresentam funções de grande relevância para o processo de ensino e aprendizagem da Química, algumas delas destacadas a seguir: auxiliar na

visualização de entidades abstratas (em nível submicroscópico); facilitar a comunicação; prever e descrever processos; atuar como agentes que simplificam uma teoria ou um conjunto de dados (empíricos ou não); fundamentar a proposição e a interpretação de experimentos.

Considerando que a palavra modelo permite vários entendimentos sobre a sua acepção e uso em diferentes contextos, Harré (2004) aponta que:

Um objeto, real ou imaginário, não é um modelo por si só. Mas funciona como um modelo quando ele apresenta relações com outras coisas. Nesse sentido, a classificação de um modelo se relacionaria com a forma como as coisas e os processos podem funcionar como modelos. (Harré, 2004, p. 6)

A definição de modelo feita por Harré se apoia no realismo crítico ao examinar as relações entre modelos científicos e a realidade por eles representadas. Esta mesma perspectiva, assumida neste trabalho, é apresentada por Schwartz et al. (2009):

O modelo e o fenômeno representado existem em uma relação dialógica; as análises dos fenômenos em estudo fornecem *insights* sobre elementos potenciais, relações, operações e regras intrínsecas ao modelo, além de indicar evidências que contrariam o possível modelo. Assim, o modelo gera novas explicações e predição sobre o comportamento dos fenômenos em estudo. É importante esclarecer que nem todas as representações são modelos. Modelos são representações específicas que incorporam aspectos do mecanismo, causalidade ou a função de ilustrar, explicar e prever o fenômeno. (Schwartz et al., 2009, p. 634)

Dessa forma, é importante que o modelo tenha um objetivo específico, que seja claro para seus usuários, sobretudo no contexto de ensino. Isso porque não são os objetos que definem o modelo em si, mas os usos e as relações que se estabelecem a partir deles.

De acordo com Matthews (2007), é difícil conceber as Ciências sem a utilização dos modelos para explicar ou prever alguns dos seus fenômenos. Como exemplo, pode-se citar os *modelos analógicos* utilizados para representar as ideias atômicas, tais como a *bola de bilhar*, o *pudding de passas* e o *sistema solar*. Além desses, existem outros modelos que buscam explicar algumas estruturas químicas, como a dupla hélice do DNA ou os cristais iônicos. Juntam-se a esses modelos as fórmulas matemáticas, os gráficos e outras representações que se fazem necessários a qualquer explicação. É importante esclarecer que as fórmulas não permitem observar a estrutura e o comportamento das transformações químicas. O que elas permitem, de forma

limitada, é fazer previsões e buscar construir modelos explicativos para descrever os fenômenos estudados.

Nesse sentido, Justi e van Driel (2005) apontam para a importância de se utilizar coerentemente as atividades de Modelagem no ensino de Química, apoiando-as em formas de abordagem que fomentem entre os estudantes a oportunidade de criar, expressar e testar seus próprios modelos. Greca e Santos (2005), por sua vez, ressaltam a importância de se fomentar a explicação detalhada dos fenômenos estudados e dos processos e ideias com alto grau de abstração. Mortimer e Buty (2008) apontam para o fato de que, no ensino de Ciências, a distinção entre um sistema abstrato (modelo) e sua relação com o sistema real raramente são discutidas em sala de aula. Assim, é importante que durante o processo de ensino, os estudantes possam se conscientizar de que os modelos representam apenas parte de uma teoria, sistema, processo ou objeto. Não é possível representar todos os atributos do fenômeno em estudo no modelo utilizado para a mediação do conhecimento.

De acordo com Gilbert, Boulter e Elmer (2000), um *modelo de ensino*, apesar de apresentar simplificações em relação ao *modelo científico* ou de representar apenas alguns aspectos do mesmo, deve preservar a estrutura conceitual do modelo científico correspondente, buscando aproximações que não o torne incorreto.

Em relação aos modelos utilizados nas Ciências, alguns deles podem ser classificados como: (i) *mental, expesso, consensual e de ensino* (Gilbert & Boulter, 1995); (iii) *histórico e híbrido* (Justi, 2000); (iv) *concreto, verbal, visual, matemático e computacional* (Boulter & Buckley, 2000); *científico e curricular* (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000); e (v) *icônico* (Harré, 2004). Além dessas classificações, o presente trabalho propõe tipificar os modelos cujas representações necessitam estar associadas a ações multimodais (movimentos, simulações, fala, gestos, gráficos, analogias), considerando que eles teriam o objetivo de descrever fenômenos ou processos dinâmicos das Ciências.

Essas representações seriam classificadas como *modelos multimodais*, tendo em vista que para cumprirem a função explicativa e o objetivo ao qual se destinam, há necessidade de terem suas representações associadas a ações que buscam descrever,

com a maior correspondência possível, os fenômenos ou processos em estudo. Essa ideia se alicerça em Gilbert (2005), que propôs cinco modos distintos para representar os modelos (concreto, tridimensional, bidimensional, verbal e gestual), associados aos respectivos submodos⁸. Como exemplo dos submodos, tem-se as representações materiais, gráficos, tabelas, imagens, fórmulas químicas, equações matemáticas, analogias, movimentos do corpo etc. Neste trabalho, consideramos que a junção desses distintos submodos representacionais daria origem a um modelo caracterizado como *multimodal*, que emerge de um ambiente dinâmico e interativo que favorece a mediação do conhecimento científico. A articulação desses modos e submodos é fundamental para o entendimento dos processos químicos.

Tais ações multimodais, orquestradas pelo professor em sala de aula, dialogam com a Semiótica Social. De acordo com Cappelle (2014), a partir dessa perspectiva teórica é possível investigar os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados entre sujeitos que interagem entre si em um dado contexto sócio-histórico-cultural, utilizando para isso as diferentes formas de comunicação (verbal, visual, gestual e acional).

Considerando o exposto anteriormente, cabe enfatizar a relevância do trabalho com modelos no ensino de Ciências, temática essa que tem povoado algumas pesquisas da área e se mostrado central no processo de construção do conhecimento científico (Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003; Clement, 2008; Viau, Moro, Zamorano, & Gibbs, 2008; Chamizo & García, 2010; Justi, Chamizo, García, & Figueiredo, 2011; Chamizo, 2013; dentre outros trabalhos). Além disso, esses debates parecem já ecoar nas salas de aulas do Ensino Médio, sobretudo por meio das discussões realizadas nos cursos de formação inicial e continuada dos professores de Ciências, favorecendo assim o desenvolvimento de um olhar crítico para o trabalho com modelos.

Com base na discussão apresentada anteriormente, cabe ressaltar que o trabalho com modelos no ensino de Ciências pode ocorrer a partir de duas

⁸ No contexto deste trabalho, os *submodos* apresentados por Gilbert (2005) serão considerados como *recursos* com potencial para favorecer a mediação do conhecimento científico, permitindo a construção de significados em sala de aula. Essa opção terminológica se baseia nas discussões da Semiótica Social e no fato de a abordagem sócio-histórico-cultural ter sido utilizada para fundamentar a análise das propostas de mediação apresentadas pelos licenciandos nas atividades de Modelagem.

perspectivas: na construção e na manipulação de um modelo pronto. Quando se constrói coletivamente um modelo, além de aprender sobre o objeto ou processo descrito por ele, cria-se um tipo de estrutura representativa capaz de contribuir para se pensar as Ciências de forma dialógica. Por outro lado, quando se usa um modelo, a tendência é que se aprenda apenas sobre o objeto que ele representa ou o processo que descreve. Assim, ao receber um modelo pronto, o estudante (ou, na presente proposta, os licenciandos em Química) muitas vezes o concebe como uma reprodução exata do real e não como um recurso mediacional criado para representar aspectos dos fenômenos ou processos em estudo. Nesse sentido, é importante que os principais atributos de um modelo sejam discutidos pelo professor em sala de aula, permitindo aos estudantes compreender seus usos e limitações. Emerge, assim, o papel do professor como mediador do conhecimento e não apenas o transmissor de algo pronto.

As propostas de ensino baseadas em Modelagem dialogam com as diretrizes colocadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Esse documento destaca que uma das competências gerais a ser desenvolvida pelos estudantes diz respeito ao uso de ideias, conceitos, leis, modelos e procedimentos científicos. Mais especificamente, espera-se que o ensino de Química forneça condições para o estudante *“reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações-problema, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos”* (Brasil, 2000, p. 32).

Além disso, o National Research Council (2012) aponta que os estudantes devem ser capazes de desenvolver e avaliar o conhecimento por meio de processos análogos aos vivenciados pelos cientistas. Para isso, é importante que sejam articuladas em sala de aula atividades de ensino, tal como as fundamentadas em Modelagem, que favoreçam o desenvolvimento de uma visão crítica sobre o processo de construção do conhecimento científico (Clement & Núñez-Oviedo, 2008). Nessa dinâmica, o professor assume a mediação do processo formativo, apresentando questões que permitam aos estudantes avaliar, revisar, generalizar e aplicar os conhecimentos elaborados em torno dos modelos produzidos. Essas questões,

segundo Clement e Rea-Ramirez (2008), podem ser usadas para dar suporte às ideias discutidas ou verificar algum tipo de discrepância nos modelos elaborados. Isso favorece o processo de construção social do conhecimento, em que os estudantes estão engajados em discussões que permitam a avaliação dos seus modelos e um melhor entendimento sobre as práticas científicas (Justi & Paganini, 2013).

De acordo com Kelly e Duschl (2002), o processo de produção, comunicação e avaliação do conhecimento são etapas distintas que se interpolam entre si durante a construção das Ciências. Tais etapas demonstram a natureza dinâmica das atividades humanas, considerando que a construção do conhecimento científico perpassa pela proposição de problemas e a busca por formas de resolução dos mesmos.

Pode-se dizer ainda que o trabalho envolvendo a Modelagem está de acordo com a perspectiva sócio-histórico-cultural de Vygotsky e os anseios para a educação científica contemporânea, considerando a necessidade de os estudantes se engajarem ativamente na construção de novos conhecimentos. Isso porque os modelos elaborados nos grupos de trabalho representam importantes recursos para a mediação do conhecimento científico, permitindo aos estudantes reconhecerem os desafios inerentes ao processo de construção das Ciências por meio das interações sociais estabelecidas em sala de aula (Morrison & Morgan, 1999).

É importante destacar também que os estudos relativos às interações discursivas em sala de aula trazem contribuições no sentido de se entender o papel do professor como sendo de fundamental importância para a mediação do conhecimento, sem negligenciar a atuação do estudante (Martins, Ogborn, & Kress, 1999). Esses estudos valorizam as diferentes possibilidades de interações possíveis no contexto da sala de aula e a riqueza destas experiências para melhorar as dinâmicas de ensino, tal como será discutido na próxima seção. Busca-se, assim, ressignificar o processo de ensino e aprendizagem por meio da “[...] *negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo*” (Mortimer & Scott, 2002, p. 2).

Na pesquisa realizada por Schwartz et al. (2009), a prática de Modelagem é apresentada como essencial ao processo de construção do conhecimento científico.

Além disso, aponta para a possibilidade desse processo favorecer o desenvolvimento de um *metaconhecimento* (reflexão crítica sobre o conhecimento produzido) junto aos estudantes, a partir das práticas construtivas e da interação articulada em sala de aula. Isso permite o desenvolvimento de uma visão mais apurada sobre a natureza dos modelos e o propósito de usá-los no contexto das Ciências (Schwarz & White, 2005), favorecendo assim o entendimento de que eles mudam quando a compreensão sobre os mesmos se aprimora.

Tendo em vista que na perspectiva vygotskiana a linguagem é considerada um importante instrumento cultural, para a construção do pensamento em sala de aula ela pode ser o principal meio estruturante das atividades de ensino e dos processos de significação. Nesse sentido, o discurso do professor e dos estudantes em torno dos modelos criados pode se configurar em um importante objeto de estudo e análise das relações de ensino e aprendizagem no contexto dos cursos de formação inicial de professores. Isso porque tais atividades favorecem o desenvolvimento do conhecimento sobre o conteúdo estudado, ao mesmo tempo em que permitem aprimorar a compreensão epistemológica e o entendimento sobre as práticas relacionadas à construção e à avaliação do conhecimento científico (Grandy, 2003; Lehrer & Schauble, 2006; Stewart, Cartier, & Passmore, 2005; Windschitl et al., 2008).

O trabalho com modelos no ensino de Ciências também permite aos estudantes articular o entendimento de como os fenômenos científicos se processam (Acher, Arcà, & Sanmartí, 2007; Windschitl et al., 2008). Isso acontece durante todo o processo de construção e socialização das ideias em sala de aula, quando se tem a oportunidade de tentar convencer os demais colegas sobre a viabilidade dos modelos elaborados, o que também permite avaliar os conhecimentos elaborados a partir deles (Halloun, 2004). Assim, nesse contexto, os modelos podem ser considerados recursos produtores de sentidos, permitindo prever e explicar diferentes fenômenos. Schwarz et al. (2009) destacam a importância do trabalho com modelos ao considerar que os estudantes frequentemente apresentam dificuldades para entender tanto a natureza desses recursos utilizados no ensino, quanto o seu processo de construção e reformulação.

Em relação à construção do conhecimento científico no trabalho com Modelagem, Halloun (2007) aponta que tal processo coloca o estudante como figura central e o professor como mediador. Esse autor ressalta ainda que a mediação do professor durante o processo de Modelagem deve buscar o envolvimento dos estudantes nas atividades propostas e a participação ativa na tomada de decisões. Em diferentes momentos, as intervenções do professor podem assumir a forma de moderação, arbitragem, negociação ou iniciação a uma nova temática, sempre demandando o *feedback* durante as interações discursivas estabelecidas (Mortimer & Scott, 2003).

Dessa forma, o professor ao assumir a posição de árbitro, inicia o processo de mediação confrontando os estudantes com dados, teorias ou situações empíricas que os permitam fazer algumas previsões que vão além do observável. Como mediador, o professor permite que os estudantes discutam seus próprios modelos, buscando construir consensos entre si. Toda essa dinâmica é permeada pelo discurso, cuja característica principal, segundo Pereira e Ostermann (2012) reside na:

[...] diferença existente entre a voz do professor e as vozes dos alunos, especialmente no que se refere às relações de poder e autoridade em sala de aula. Um resultado disso é o fato de que grande parte dos enunciados produzidos pelos professores consiste em instruções que são dirigidas aos alunos. Essas instruções nem sempre tomam a forma sintática do imperativo, podendo ser formuladas em termos de “perguntas instrucionais”. (Pereira & Ostermann, 2012, p. 34)

As referidas perguntas instrucionais ajudam a desencadear uma sequência de enunciados norteadores durante o processo de construção social do conhecimento. Dessa forma, os estudantes não são submetidos a uma situação de ensino em que recebem informações prontas por meio de aulas expositivas, sendo doutrinados por uma Ciência que pouco dialoga com as suas incertezas. Assim, é desejável fomentar um debate de ideias que proporcione a ampliação dos horizontes conceituais, favorecendo uma compreensão mais legítima do processo de construção desses conhecimentos, de modo a ser possível ter uma maior clareza sobre a importância do porquê e para que ensinar Ciências.

5. CONSTRUÇÃO SOCIAL DE MODELOS (MODELAGEM): FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A Modelagem é compreendida como um processo que envolve a construção, teste, avaliação e reformulação dos modelos (Justi & Gilbert, 2002). Em relação à descrição desse processo, os referidos autores propuseram um diagrama, conhecido como *Modelo de Modelagem*, para sistematizar as principais etapas que permeiam a produção do conhecimento científico. No corpo deste trabalho, optou-se por não apresentar o *Diagrama Modelo de Modelagem* completo, conforme consta no artigo de Justi e Gilbert (2002, p. 371). Será discutida apenas a versão simplificada, proposta por Justi (2010, p. 223), no formato de um tetraedro. Nos vértices do tetraedro foram representadas as principais etapas do processo de Modelagem, conforme reproduzido na Figura 04. Cada uma dessas etapas exerce influências recíprocas nas outras, o que é representado pelas setas duplas, de modo a caracterizar as etapas como dinâmicas e não lineares.

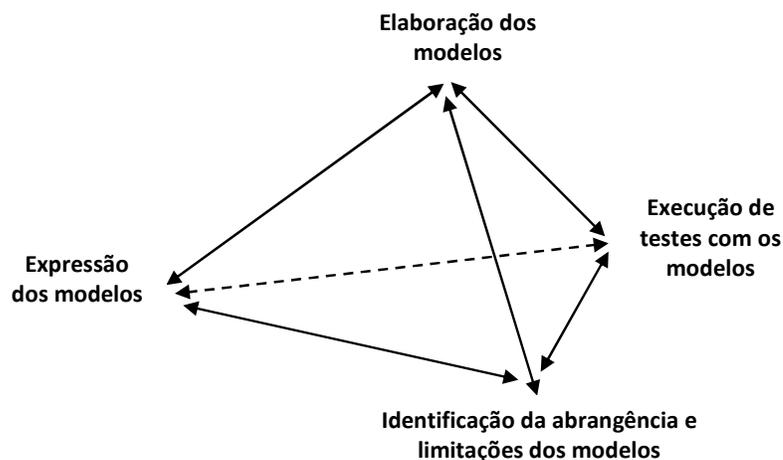


Figura 04. Relacionamento entre as etapas envolvidas no processo de Modelagem.

A escolha por essa representação para o processo de Modelagem se justifica pela simplificação da proposta, sobretudo quando comparada com o diagrama completo. Além disso, a ideia imbuída no tetraedro, com destaque para as quatro principais etapas da Modelagem, contempla o trabalho relacionado à formação inicial dos professores de Química que será aqui investigado.

Baseando-se em Justi (2006; 2010), as etapas relativas à Modelagem serão apresentadas, de modo a discutir como tal proposta pode ser articulada, tendo em

vista a elaboração e expressão dos modelos, além da execução de testes e identificação da abrangência e limitação dos mesmos. Isso permitirá uma melhor compreensão do processo aqui discutido e das ações priorizadas pelo professor durante a condução das aulas.

O início do processo se dá pela delimitação do fenômeno/problema a ser estudado. A partir daí, uma possível ideia para o objeto de estudo é elaborada pelo estudante e discutida com os colegas e com professor, levando em conta as observações sobre o fenômeno a ser investigado e os dados teóricos ou empíricos disponíveis para auxiliar na elaboração do modelo inicial.

Após a elaboração e discussão do modelo inicial é importante decidir como ele será representado (*modelo expresso*). Em seguida, o *modelo expresso* deve passar para a etapa de testes. Se o modelo falhar nos testes aos quais foi submetido é possível propor modificações ou rejeitá-lo, caso não se consiga explicar ou representar de forma plausível a situação proposta. Isso conduzirá a uma reavaliação dos elementos utilizados na sua elaboração. Porém, se julgarem que o modelo obteve êxito nos testes propostos, isso indica que ele alcançou os objetivos para os quais foi construído. Com a obtenção do modelo adequado à situação-problema, ele deverá ser socializado na turma, de modo que os demais possam avaliar criticamente as ideias propostas.

Um efetivo engajamento dos estudantes é fundamental para que seja possível a evolução dos conhecimentos. Esse envolvimento ocorre durante a elaboração dos modelos nos grupos e na socialização, processo que tende a provocar a participação de todos, considerando que os estudantes deverão apresentar e defender suas ideias para a turma, além de avaliar o conhecimento construído por meio das interações estabelecidas em sala de aula (Wells, 1999). Essa dinâmica de trabalho favorece três tipos de interações fundamentais ao processo de construção e legitimação do conhecimento científico: (i) estudante/estudante; (ii) estudantes/professor; e (iii) estudantes/modelos.

No contexto das Ciências, a etapa de socialização é de fundamental importância, pois corresponde à divulgação do modelo junto à comunidade científica que, além de contribuir com novos atributos, poderá aceitá-lo ou não (Justi, 2006).

Todo esse processo contempla diferentes *operações epistemológicas*. De acordo com Jiménez (2006), essas operações são aquelas em que os estudantes participam na elaboração e avaliação do conhecimento, assim como na construção de fundamentos, definições, analogias, modelos, explicações, coleta de dados, construção de hipóteses, dentre outras práticas relacionadas aos processos de articulação do conhecimento científico em diferentes ambientes de aprendizagem.

Pensando-se no relacionamento desse processo com as atividades a serem desenvolvidas pelo professor durante a aula, é necessário destacar que compete a ele, primeiramente, definir os objetivos da estratégia a ser trabalhada. Para isso, deve-se ter claro um modelo referência – o *modelo curricular* –, ou seja, aquele que se espera ser o objeto de aprendizagem (Justi & Gilbert, 2002).

De acordo com Justi (2006), após identificar os diversos modelos produzidos pelos estudantes, o professor deve evitar taxá-los apenas como corretos ou não. É desejável que tais modelos sejam discutidos com os estudantes, fomentando a prática argumentativa em sala de aula, o que favorece a reflexão sobre essas ideias por meio da proposição de experimentos ou situações-problema correlacionados à teoria em estudo. Quando os estudantes chegarem a um *modelo consensual* (que pode não ser o *modelo curricular*) é importante que o professor reafirme a relevância do processo vivenciado no contexto das Ciências. Em seguida, o *modelo curricular*, ou os elementos do mesmo que não estavam evidenciados nos modelos propostos, deverão ser apresentados e discutidos pelo professor (Justi, 2006).

No contexto deste trabalho, as etapas de execução de testes e identificação da abrangência e limitações dos modelos foram articuladas durante as interações discursivas estabelecidas nas aulas. Para essas duas etapas do processo não foram propostas atividades específicas, considerando que o objetivo principal não era o de ensinar conteúdos químicos aos licenciandos. Esperava-se que os licenciandos, no estágio do curso no qual se encontravam, já tivessem o domínio dos aspectos termoquímicos abordados.

Buscou-se, então, adaptar essa estratégia à situação formativa em que os licenciandos iriam articular a construção social de modelos, com vistas a

desenvolverem propostas para a mediação do conhecimento científico em sala de aula. Isso justifica caracterizar todo o processo formativo como sendo de construção social do conhecimento, em que as ideias vão sendo debatidas nos grupos e, posteriormente, pela turma, de modo a ser possível integrar as diferentes ações propostas, na busca por construir um *modelo consensual*.

Maia (2009) destaca que as atividades de Modelagem apresentam na sua essência um caráter investigativo. À medida que os estudantes participam ativamente dessas atividades, eles podem assimilar importantes habilidades científicas ao articular princípios das Ciências e fazer uso de práticas argumentativas indispensáveis em tais atividades (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008; Bottcher & Meisert, 2010; Passmore & Svoboda, 2011; Mendonça & Justi, 2013). Na formação inicial dos professores, essas práticas podem ajudar os licenciandos em Química a conceber o conhecimento como uma construção coletiva que se baseia em atividades argumentativas, capacitando-os a atuar em sala de aula a partir dessa perspectiva (Schwarz & Gewekwerere, 2006). Tais práticas permitem a eles compreender a construção das Ciências e, sobretudo, o porquê ainda se usam modelos que, aparentemente, foram superados ao longo do tempo, percebendo que esses modelos formam um dos alicerces fundamentais para o desenvolvimento de novas teorias.

Algumas das dimensões pedagógicas e epistemológicas do trabalho com modelos foram brevemente discutidas por Grandy (2003), ressaltando a importância de contemplá-las nos cursos de formação inicial de professores. Isso porque muitos deles percebem os modelos como úteis para ensinar determinados conteúdos científicos, mas não para abordar aspectos relacionados à natureza das Ciências, tal como as atividades de Modelagem podem favorecer (Cakmakci, 2012; Lederman, 2007; Seok & Jin, 2011; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008).

Ao se envolverem com as atividades de Modelagem, os licenciandos poderão desenvolver habilidades relacionadas à mediação do conhecimento em sala de aula, por meio dos modelos elaborados nos grupos de trabalho e dos questionamentos que emergem da dinâmica interativa estabelecida. Nesta pesquisa, busca-se investigar como os licenciandos se valem das atividades de Modelagem por eles vivenciadas

(mesmo que sem o pleno desenvolvimento de algumas de suas etapas) nas propostas de mediação do conhecimento científico em sala de aula.

6. FORMAÇÃO DE CONCEITOS EM VYGOTSKY E AS ABORDAGENS COMUNICATIVAS EM SALA DE AULA

Para explicar o papel da Escola no processo de desenvolvimento dos sujeitos, Vygotsky apresenta uma importante distinção entre os conceitos construídos por meio da experiência pessoal, concreta e cotidiana, que ele chamou de *conceitos cotidianos ou espontâneos*, e aqueles elaborados em sala de aula, adquiridos com o ensino formal, que ele designou de *conceitos científicos*. Os *conceitos científicos* se relacionam às situações que não são diretamente acessíveis pela observação ou ação imediata dos sujeitos, sendo conhecimentos sistematizados e, posteriormente, adquiridos nas interações fomentadas no ambiente escolar.

Os *conceitos científicos*, embora imersos em contextos de instrução formal, também passam por um processo de desenvolvimento que se relaciona às inúmeras reelaborações mentais, não sendo apreendidos em sua forma final e definitiva. Essa situação pode favorecer a interconversão de novos conhecimentos, permitindo aos estudantes assumirem níveis mais elevados de entendimento.

De acordo com Wertsch (1988, p. 103), Vygotsky destaca que “o desenvolvimento de conceitos científicos apresenta significado expressivo nos processos de evolução das funções mentais superiores, pois esses conceitos envolvem necessariamente uma realização consciente, além do controle voluntário das ações”. É importante ressaltar também que, segundo Mortimer (2000), os *conceitos científicos* não expressam necessariamente informações sobre aquilo que se observa, de modo que, por exemplo, um gás não teria uma relação direta com um sólido. Entretanto, “do ponto de vista do atomismo, são todos constituídos por partículas, e as diferenças nas propriedades dependem da diferença na interação entre essas partículas” (Mortimer, 2000, p. 123). Assim, o domínio da linguagem promove importantes mudanças nos sujeitos, sobretudo na maneira de se relacionar com o meio, pois possibilita novas formas de comunicação e de organização no seu modo de agir e de pensar. Bakhtin

(1992), quando se refere à dimensão constitutiva da linguagem, destaca que é no discurso e por meio do discurso que os conceitos são elaborados, de modo que:

[...] a consciência adquire forma e existência nos signos criados por um grupo organizado no curso de suas relações sociais. Os signos são o alimento da consciência individual, a matéria de seu desenvolvimento, e eles refletem sua lógica e suas leis. A lógica da consciência é a lógica da comunicação ideológica, da interação semiótica de um grupo social. Se privarmos a consciência de seu conteúdo semiótico e ideológico, não sobra nada. (Bakhtin, 1992, p. 35-36)

Para Bakhtin (1988), o conteúdo ideológico se relaciona ao lugar e às intencionalidades dos sujeitos no discurso, com posicionamentos e atitudes valorativas que são atribuídos por eles aos pontos de vista em disputa, considerando o contexto sócio-histórico-cultural. Para o autor, a ideologia se expressa e se constitui na comunicação concreta entre os homens. Assim, na sala de aula de Ciências o papel da linguagem é particularmente importante quando se examinam os encontros, nem sempre harmônicos, entre conceitos científicos e conceitos cotidianos.

Considerando essa discussão, Lemke (1990) afirma que aprender Ciências implica em aprender a linguagem das Ciências, que apresenta uma visão de mundo específica e se relaciona com as práticas sociais. Nesse sentido, múltiplos pontos de vistas devem emergir em sala da aula (Aguiar & Mortimer, 2005), de modo a favorecer a construção social do conhecimento científico, sempre mediada pelo professor. Para que isso se efetive, é importante que seja criado um espaço para o compartilhamento de saberes, em que as ideias vão sendo construídas e reconstruídas ao longo dessa dinâmica de elaboração do conhecimento. O professor assume a função de provocar os estudantes, levando-os a refletir sobre as ideias propostas. De acordo com Mortimer e Machado (1997),

[...] a construção do conhecimento em sala de aula depende essencialmente de um processo no qual os significados e a linguagem do professor vão sendo apropriados pelos alunos na construção de um conhecimento compartilhado [...]. A superação de obstáculos passa necessariamente por um processo de interações discursivas, no qual o professor tem um papel fundamental, como representante da cultura científica. Nesse sentido, aprender Ciências é visto como um processo de “enculturação” (Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994), ou seja, a entrada numa cultura diferente da cultura do senso comum. (Mortimer & Machado, 1997, p. 167)

Na dinâmica da sala de aula é possível constatar inúmeras possibilidades de interações que ocorrem simultaneamente nesse espaço: entre pessoas, entre pessoas e conhecimentos prévios, entre pessoas e recursos mediacionais, sendo todas elas complementares (Sasseron, 2013). Ao promover situações em que ocorram interações discursivas, o professor poderá oferecer condições para que a argumentação surja em sala de aula, dando aos estudantes a possibilidade de articularem os conhecimentos científicos tal como acontece no processo de construção das Ciências. Além disso, favorece o surgimento de conflitos sociocognitivos, por meio do estabelecimento de uma tensão entre o discurso dialógico e o de autoridade, o que é essencial para se interconverter os conceitos científicos (Aguiar, Mortimer, & Scott, 2010).

Em relação às abordagens comunicativas, Mortimer e Scott (2003) ressaltam que o discurso *dialógico* considera vários pontos de vista, enquanto o de *autoridade* se caracteriza por levar em conta apenas o ponto de vista das Ciências. O discurso *interativo* caracteriza-se pelo envolvimento de mais de um sujeito na enunciação e o *não-interativo* pela participação de apenas um enunciador. Assim, os autores dessa proposta destacam a possibilidade de formar quatro pares que caracterizam o modo como as interações discursivas ocorrem em sala de aula: (i) *Interativa/Dialógica* – os estudantes e o professor debatem ideias, apresentam questionamentos, considerando diferentes pontos de vista; (ii) *Não-interativa/Dialógica* – sem estabelecer uma interação direta com os estudantes, o professor avalia e discute vários pontos de vista, apontando diferenças e similaridades nos mesmos; (iii) *Interativa/Autoridade* – o professor busca conduzir os estudantes por meio de uma sequência de perguntas e respostas, com o objetivo de estabelecer um ponto de vista específico; e (iv) *Não-interativa/Autoridade* – sem estabelecer interação direta com os estudantes, o professor apresenta o ponto de vista das Ciências.

Considerando o processo de Modelagem, é possível dizer que ele apresenta o potencial para favorecer todos esses tipos de estratégias enunciativas em sala de aula, de acordo com o objetivo do professor na condução da atividade. No início, quando se tem a elaboração dos modelos, o professor apresenta aos estudantes subsídios para que eles tenham a possibilidade de elaborar suas ideias.

No momento em que os modelos são socializados na turma, espera-se o predomínio da abordagem *Interativa/Dialógica*, na qual os estudantes e o professor debatem as ideias, considerando os diferentes pontos de vista apresentados. Isso permite a eles identificar a abrangência e limitações dos modelos, de modo a buscar um que seja *consensual* na turma. Quando os modelos são socializados e colocados em discussão, o professor pode alternar as abordagens a partir de uma sequência de questionamentos a respeito dos mesmos, buscando assim discutir as ideias propostas. Nesse caso, ele poderá adotar uma abordagem comunicativa predominantemente *Interativa/Autoridade*, com o intuito de apresentar e fortalecer aspectos do modelo científico. Ao final do processo, o professor poderá, ainda, concluir a discussão sobre os modelos apresentados com tendência a assumir uma abordagem comunicativa do tipo *Não-interativa/Autoridade* e *Não-interativa/Dialógica*. Nesse caso, ele contrasta modelos científicos e outros modelos propostos pelos estudantes, retomando argumentos que sustentam os pontos de vista em disputa.

7. TEORIA DA AÇÃO MEDIADA E A DUPLA MEDIAÇÃO NO TRABALHO COM MODELAGEM

Na presente pesquisa, as atividades de Modelagem foram propostas com o objetivo de favorecer aos licenciandos do curso de Química o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao uso dos modelos no ensino e uma melhor compreensão do processo de mediação do conhecimento científico em sala de aula. Nesse sentido, a *sequência didática* utilizada nas aulas (Apêndices I a V) não priorizou apenas a construção de conceitos relacionados à Termoquímica. Buscou-se a partir dela analisar, com atenção especial, as propostas de mediação articuladas pelos licenciandos, sobretudo durante a elaboração e discussão dos modelos para explicar a energia envolvida nas transformações químicas (Apêndice V).

Para examinar o processo de construção e mediação do conhecimento vivenciado pelos licenciandos se faz necessário apresentar os fundamentos e princípios da Teoria da Ação Mediada, desenvolvida por James Wertsch (1999) a partir do conceito de mediação em Vygotsky e das dimensões constitutivas do discurso, em Bakhtin. O autor sugere a ação mediada como unidade de análise, de modo a

estabelecer um vínculo entre as configurações socioculturais e os processos mentais. Para a análise das ações humanas, o autor elege como elementos fundamentais o agente (sujeitos agindo em contextos sociais, culturais e institucionais) e os recursos mediacionais envolvidos. Cabe ressaltar que, embora Vygotsky estabeleça uma distinção entre instrumentos materiais (ferramentas) e psicológicos (signos), Wertsch não se atém de forma rígida a essa distinção, substituindo esses termos por um conceito mais amplo: *recurso mediacional*.

Smolka e Mortimer (2011) destacam que o trabalho de Vygotsky amplia a noção de *mediação por instrumentos*, trazendo a ideia de *mediação por signos*. Nesse sentido, os autores destacam que “Wertsch chama a atenção para a preocupação de Vygotsky com a semiótica e os sistemas de signos e não apenas com a simples restrição à linguagem verbal” (Smolka & Mortimer, 2011, p. 98). Com essa discussão, Wertsch (1997) amplia o modo de estabelecer sua noção de ação mediada como uma análise, na qual é impossível desvincular o agente mediador dos recursos mediacionais utilizados. Assim, surge o termo *indivíduo-agindo-com-recursos-mediacionais*, que reflete a tensão estabelecida entre o sujeito e os recursos mediacionais.

A partir de uma reflexão sobre o trabalho em sala de aula, é possível reconhecer propriedades inerentes à ação mediada, dentre outras: a materialidade dos recursos mediacionais; os diversos objetivos de uma ação; os limites e as possibilidades próprias de todos os recursos mediacionais; a diferença entre dominar e se apropriar de algum recurso mediacional (Wertsch, 1999).

No contexto deste trabalho, os modelos elaborados pelos licenciandos do curso de Química representam recursos semióticos utilizados para favorecer as interações em sala de aula, a construção de novos significados e, ao mesmo tempo, permitir a eles reavaliar as diferentes ideias e assumir novas posturas frente ao processo de mediação do conhecimento científico. Os modelos, assim como as palavras, adquirem um sentido determinado no contexto do discurso e da atividade. Isso favorece a dupla mediação (semiótica e social), que ocorre no momento em que as propostas são discutidas em sala de aula.

De acordo com Giordan (2008, p. 49), *“por operar com dupla mediação, o homem, enquanto dá forma nova à natureza, confere significação à forma nova, o que lhe permite transformar a si próprio”*. Esse processo favorece a interconversão do conhecimento pelos sujeitos, na qual ocorre a formação de uma estrutura interna e não a transferência direta da atividade externa ou dos recursos para um plano interno já existente. Para que isso se concretize é fundamental a criação de um ambiente que fomente essa dinâmica interativa e favoreça a aprendizagem de todos os envolvidos no processo de construção do conhecimento científico.

Por fim, embora a sala de aula seja um espaço que demande uma definição clara dos papéis daqueles que nela atuam, é importante ressaltar que no contexto aqui discutido tais papéis não devem estar rigidamente definidos. Como será verificado nos dados, em alguns momentos das aulas a assimetria entre professor e licenciandos é mais intensa, em outros, menos. Além disso, os estudantes não aprendem apenas com o professor, mas também nas interações com os demais colegas que possuem experiências e ideias relevantes a serem compartilhadas e debatidas. Assim, quando se propõe fazer da sala de aula um espaço interativo, acredita-se que nesse ambiente todos terão a oportunidade de apresentar e discutir suas hipóteses, dúvidas e, nas negociações, chegar a conclusões que possam auxiliar o grupo a se perceber como parte do processo dinâmico de construção.

8. ATIVIDADES DE MODELAGEM, MULTIMODALIDADE E SEMIÓTICA SOCIAL

A ampliação dos recursos mediacionais para além do discurso verbal permite analisar com mais propriedade as atividades que envolvem a construção social de modelos no ensino de Química. Nesse caso, além do suporte material para as ações da Modelagem (*modelos concretos*), é possível avaliar a orquestração dos múltiplos modos de comunicação (acionais, visuais, imagéticos e linguísticos), buscando conferir sentidos a esses objetos que passam a dar significado aos fenômenos e processos abstratos das Ciências.

Para tal, será utilizada aqui a abordagem multimodal articulada ao processo de comunicação e construção de sentidos que ocorre em torno das atividades de Modelagem voltadas à formação inicial dos professores de Química. Kress, Jewitt,

Ogborn e Tsatsarelis (2001) caracterizam a seleção e a integração dos diferentes modos semióticos pelo professor como um aspecto central na tarefa de promover o entendimento de conceitos e permitir a apropriação da cultura científica por parte dos estudantes.

Os referidos autores estabelecem uma clara diferenciação entre os modos e os meios ou recursos utilizados. Os meios (*medium*) representam o suporte material que é trabalhado ou moldado pela cultura, podendo utilizar para isso um dado modo de comunicação. Esses modos de comunicação são definidos como sistemas particulares de recursos semióticos, que operam com vistas à construção de sentidos e que tornam a comunicação possível. Segundo os autores:

[...] cada sistema de significação – modo – provê diferentes potenciais comunicativos. Em outras palavras, cada modo é culturalmente moldado em torno de constrangimentos e possibilidades de seu meio – sua materialidade. (Kress et al., 2001, p. 15).

Assim, os modos visuais são apresentados espacialmente como unidades de sentido que são experienciadas simultaneamente e não sequencialmente, ao contrário do que ocorre no modo linguístico e com a materialidade de um texto escrito. Vários autores vêm caracterizando os diferentes modos semióticos, para fins de análise da comunicação em sala de aula (Cappelle, 2014; Piccinini & Martins, 2004; Quadros et al., 2012a; 2012b). Neste trabalho, faz-se opção por não entrar em detalhes sobre tais sistemas, que apresentam quadros de análise e possibilidades de significação para cada um dos modos. Por ora, julga-se suficiente dizer que, para os propósitos desta pesquisa, serão analisados os modos verbais, visuais, acionais e gestuais que acompanham a construção e a apresentação dos modelos elaborados pelos licenciandos para auxiliar na mediação do conhecimento científico.

Os modos verbais estão presentes no texto oral e escrito que acompanha as ações dos licenciandos com os modelos. Por meio dos objetos manipulados, eles conferiram outras significações relativas aos objetos do mundo submicroscópico e aos conceitos abstratos como ligações químicas, calor e energia. Será adotada aqui a abordagem de Kress et al. (2001), para quem os modos acionais são recursos de comunicação que se distinguem dos gestos por sua ligação com os objetos. Quanto

aos modos visuais, nesta pesquisa eles estão presentes nos desenhos e gráficos feitos pelos licenciandos para discutir os processos termoquímicos em estudo.

Os modelos elaborados no campo das Ciências buscam explicar, de forma satisfatória, os diferentes fenômenos da natureza, e não reproduzi-los com precisão. Nesse sentido, eles podem ser entendidos como representações multimodais de alguma entidade ou fenômeno das Ciências, considerando que ao *modelo concreto* se juntam outras possibilidades que favorecem a mediação do conhecimento, tais como experimentos, imagens, simulações, gestos, gráficos, fórmulas, dentre outras.

De acordo com Kress et al. (2001), isso se mostra necessário uma vez não ser possível colocar em uma única forma de representação todas as características de um objeto ou processos relacionados às Ciências. Assim, a Semiótica Social busca discutir a importância de se contemplar as representações, com destaque para a comunicação das ideias por múltiplos modos semióticos.

Essa abordagem multimodal, segundo Jewitt et al. (2001), pode oferecer vantagens sobre os trabalhos que focam a atenção em analisar apenas aspectos da fala ou da escrita. Dentre essas vantagens, destacam-se a possibilidade: (i) da pesquisa contemplar distintos modos de comunicação particularmente importantes e valorizados no currículo de Ciências, como a interação com experimentos, *modelos concretos*, imagens e ações, a partir dos quais significados são disponibilizados, negociados e compartilhados em sala de aula; e (ii) de se evidenciar um conjunto de interações estabelecidas entre estudantes/estudantes e estudantes/professor, sobretudo ao incorporar no trabalho interpretativo dados que não se originam do que foi falado ou escrito pelos sujeitos envolvidos nesse processo. Na presente pesquisa, isso foi feito quando se buscou apontar – nas transcrições das aulas – os gestos, ações e os recursos utilizados pelos licenciandos para propor possibilidades de mediação do conhecimento científico em sala de aula.

Do ponto de vista da Semiótica Social, os *modelos concretos*, gestos ou simulações não possuem significados por si só. Os significados são criados e compartilhados em torno de uma atividade realizada por um determinado grupo. Quando se pensa na atuação do professor, Kress et al. (2001) caracterizam a tarefa de

selecionar e integrar os modos semióticos como um aspecto central na tarefa de promover o entendimento dos conceitos e de permitir a apropriação da cultura científica pelos estudantes. Desse modo, os significados construídos em sala de aula não dependem apenas das potencialidades e limitações dos diversos recursos utilizados, mas também da maneira como são orquestrados pelo professor durante o processo de mediação do conhecimento (Kress, 2010).

CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (PARTE II)

"Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para sua própria produção ou a sua construção."

Paulo Freire

1. AS DEMANDAS ATUAIS DA EDUCAÇÃO E O PROFESSOR EM FORMAÇÃO INICIAL: PERSPECTIVAS PARA OS FUTUROS DOCENTES

Algumas pesquisas têm destacado a importância de se articular, na formação inicial dos professores, práticas inerentes ao desenvolvimento de habilidades docentes relacionadas ao processo de mediação do conhecimento científico em sala de aula (Brouwer & Korthagen, 2005; Roychoudhury & Rice, 2013; Tanase & Wang, 2010; Windschitl, 2004). Experiências práticas que enfocam a construção social do conhecimento científico, tal como as atividades de Modelagem propõem, proporcionam aos licenciandos a possibilidade de desenvolver uma visão crítica sobre as Ciências, além de avaliar o ensino estritamente monológico, baseado apenas na *transmissão-recepção* de informações (Levin, Hammer, & Coffey, 2009). Isso pode favorecer um melhor entendimento sobre a importância de se articular um ensino dialógico e multidirecional, tal como sugerido nas propostas atuais para o Ensino de Ciências, com destaque para as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (Brasil, 2006).

Para que o diálogo aflore na sala de aula faz-se necessária a confrontação dos diferentes pontos de vista, favorecendo assim a tomada de consciência sobre os assuntos debatidos (Ford & Wargo, 2012). De acordo com O'Connor e Michaels (2007), as interações em sala de aula podem ser ideologicamente dialógicas, de modo a considerar as múltiplas ideias e vozes ali presentes, e podem ser discursivamente monológicas, ao se considerar o controle ou mediação estabelecida pelo professor nesse espaço.

Além disso, Mizukami, Reali, Reyes, Martucci, Lima, Tancredi e Mello (2003) ressaltam que o professor não pode ser considerado apenas um especialista em determinada área do conhecimento, se limitando a transmitir diretamente as regras

científicas relacionadas a essa área. Isso porque na dinâmica da sala de aula, normalmente esse profissional se depara com situações com as quais não aprendeu a lidar durante sua formação inicial. É preciso, então, pensar em desafios que favoreçam a reflexão sobre a ação, de modo a desenvolver atitudes que os capacitem a repensar, refletir e redimensionar a sua própria prática.

De acordo com Jacobucci, Jacobucci e Megid Neto (2009, p. 120), o professor *“constrói o conhecimento prático através da reflexão durante a prática profissional, em situações concretas do cotidiano profissional, num ambiente propício à reflexão na ação”*. Atividades que aproximam os licenciandos da prática vivenciada em sala de aula favorecem o desenvolvimento e a articulação de habilidades interpessoais, sobretudo as relacionadas ao processo de mediação do conhecimento científico, valorizando assim o saber tácito, ou seja, aquele adquirido pela experiência (Grindstaff & Richmond, 2008).

Considerando a discussão apresentada anteriormente, faz-se necessário destacar que a atividade reflexiva pressupõe uma relação dialética entre teoria e realidade, favorecendo uma tomada de consciência sobre a prática. De acordo com Rosa (2000), essa ação pode favorecer a emancipação e autonomia do futuro professor, além de permitir articular diferentes formas para se abordar o conhecimento científico em sala de aula. Nesse sentido, Rosa (2004) destaca que:

Edwards e Mercers (1987) apontam que a construção do conhecimento na sala de aula é função de um processo comunicativo de negociação social, por intermédio do qual os significados e a linguagem do professor são apropriados pelos alunos na construção de um conhecimento compartilhado. [...] Tal premissa contrapõe radicalmente a concepção tradicional de ensino. (Rosa, 2004, p. 41)

Essa articulação entre os conhecimentos teóricos e práticos é favorecida pela discussão de situações desafiadoras, em que os licenciandos devem propor formas para mediar o conhecimento junto aos estudantes da Educação Básica. Nesse momento, tem-se a possibilidade de se perceber toda complexidade que envolve o processo de mediação do conhecimento em sala de aula, permitindo aos licenciandos compreender o quão desafiador é o ato de ensinar. Isso porque ao ensinar, o professor deve pressupor que o estudante irá desenvolver habilidades que se relacionam à

esfera conceitual, atitudinal e procedimental. Assim, os licenciandos também poderão tomar consciência das limitações e especificidades de algumas estratégias utilizadas para ensinar determinados conteúdos das Ciências (Cakmakci, 2012), bem como das muitas outras habilidades importantes de serem articuladas nas aulas, sobretudo as relacionadas ao *aprender sobre Ciências* e a *fazer Ciências* (Hodson, 1992).

Nesse sentido, é importante que os cursos voltados à formação inicial dos professores de Ciências deem aos licenciandos a possibilidade de colocar em prática ações que favoreçam a construção e a apropriação do conhecimento pelos estudantes (Cakmakci, 2012; Faikhamta, Coll, & Roadrangka, 2009; Sadler, 2006; Watson, 2006). Para isso, se faz necessário reconhecer o caráter social relacionado à construção do conhecimento científico e a importância do debate de ideias em sala de aula, de modo a aproximar as práticas formativas dos aspectos relacionados à Natureza das Ciências. É importante, então, organizar grupos colaborativos, criando um espaço de trocas que permita a circulação do conhecimento. Carvalho e Gil-Pérez (2011) apontam que:

[...] ao se proporcionar aos professores [em formação inicial ou continuada] a oportunidade de um trabalho coletivo de reflexão, debate e aprofundamento, suas produções podem aproximar-se aos resultados da comunidade científica. Trata-se, então, de orientar o trabalho de formação dos professores como uma pesquisa dirigida, contribuindo assim, de forma funcional e efetiva, para a transformação de suas concepções iniciais. (Carvalho & Gil-Pérez, 2011, p. 15)

Assim, a formação inicial do professor não pode se reduzir ao treinamento de uma sequência de ações a serem transpostas para a sala de aula. Isso daria ao processo formativo um caráter doutrinário. É necessário que os licenciandos sejam capacitados para, em um dado momento, assumirem a sala de aula estando aptos a mediar o processo de construção coletiva de conhecimento.

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química (Brasil, 2001), existe uma demanda de mudança nas propostas curriculares vigentes. Isso se justifica pelo fato de a maioria dos currículos ainda não favorecerem a formação de profissionais capacitados para mediar situações-problema relacionadas aos contextos educacionais, sociais e tecnológicos. O referido documento do Ministério da Educação destaca ainda que os atuais currículos estão com excesso de conteúdos informativos, preterindo os formativos. Como consequência, os estudantes

concluem os cursos de graduação com conhecimentos já obsoletos. Assim, esses cursos devem favorecer aos estudantes o reconhecimento da Química enquanto um construto humano e dinâmico, permitindo a eles compreender suas relações com os contextos culturais, ambientais, socioeconômicos e políticos.

Dentre as ações que buscam contemplar as exigências formativas atuais, Libâneo (2010) ressalta a capacidade de o professor assumir o ensino como uma possibilidade de mediação do conhecimento, considerando que isso auxilia:

[...] no questionamento dessas experiências e significados, provê condições e meios cognitivos para sua modificação por parte dos alunos e orienta-os, intencionalmente, para objetivos educativos. Está embutida aí a ajuda do professor para o desenvolvimento das competências do pensar, em função do que coloca problemas, pergunta, dialoga, ouve os alunos, ensina-os a argumentar, abre espaço para expressarem seus pensamentos, sentimentos, desejos, de modo que tragam para a aula sua realidade vivida. É nisso que consiste a ajuda pedagógica ou mediação pedagógica. (Libâneo, 2010, p. 31)

Nesse sentido, é importante considerar que a construção das Ciências acontece de forma interrelacionada, com debates em torno de experimentos e dos respectivos modelos explicativos. Esse processo, que nas Ciências está relacionado à construção coletiva do conhecimento, não é o que predomina na maioria das salas de aula da Educação Básica e Superior. Nesses espaços, as Ciências frequentemente são apresentadas aos estudantes de forma pronta e dogmática, cheia de regras e definições a serem decoradas, não sendo entendidas como uma construção coletiva e processual. Deixa-se de lado aquilo que pode ser considerado a essência do saber científico, que é a sua provisoriade. Além disso, os modelos que buscam representar as evidências trazidas por muitos experimentos são apresentados, na maioria das vezes, como a própria realidade. Dessa forma, fica ofuscada uma das funções dos modelos, que é a de auxiliar na explicação de situações abstratas relacionadas às evidências que emergem do contexto científico, priorizando as interações sociais estabelecidas em sala de aula e as representações multimodais propostas ao longo do processo construtivo. Os modelos, então, representariam possibilidades de explicação ou predição e não a própria realidade. Daí emerge o caráter provisório das Ciências, considerando que muitas das explicações se baseiam em modelos que podem ser aprimorados com os avanços tecnológicos e a inserção de novas evidências

experimentais e enquadramentos teóricos, permitindo uma sofisticação da ideia apresentada a priori.

As intervenções dos professores em sala de aula podem lançar um olhar mais cuidadoso para estas discussões, propondo atividades que priorizem a construção coletiva do conhecimento científico e sua legitimação enquanto tal. Mas muitas vezes isso não acontece, pois na formação inicial dos professores de Química prevalece uma imagem ingênua e acrítica das Ciências, assim descrita por Chalmers (1993):

Conhecimento científico é conhecimento provado. As teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquirida por observação e experimento. A Ciência é baseada no que podemos ver, ouvir, tocar etc. Opiniões ou preferências pessoais e suposições especulativas não têm lugar na Ciência. A Ciência é objetiva. O conhecimento científico é conhecimento confiável porque é conhecimento provado objetivamente. (Chalmers, 1993, p. 23)

De acordo com Maldaner (2006), essa posição caracterizada por Chalmers como *indutivista ingênua*, reflete uma tentativa de formalização de uma imagem não refletida das Ciências, que ainda prevalece entre muitos professores e estudantes. Essa imagem tende a ser reforçada nos cursos de formação docente dessa área, de modo a se perpetuar irrefletidamente como um círculo vicioso. Isso porque os professores são influenciados pelo processo de escolarização vivenciado e pelas múltiplas experiências adquiridas nas escolas onde estudaram, processo esse complementado e legitimado durante a formação que se dá nos cursos de licenciatura.

Quando Engeström (2002) discute algumas questões relacionadas ao conhecimento adquirido pelos estudantes na Escola, ele afirma que esse se torna quase inerte e assim permanece, considerando que, muitas vezes, não se têm a chance de utilizar essa forma embrionária do novo conhecimento para deduzir, explicar, prever e controlar na prática fenômenos e problemas do dia a dia. Desta forma, os estudantes podem ter mais dificuldade para compreender *o porquê* e *para que* determinados conteúdos são ensinados nas aulas de Ciências, criando uma barreira durante o processo de aprendizagem que pode dificultar a interconversão do conhecimento.

Ao prefaciar o livro *A formação inicial e continuada de professores de Química* (Maldaner, 2006), a profa. Roseli Pacheco Schnetzler destaca a necessidade de integrar

os conhecimentos teóricos com as ações práticas, de modo a explicitar os saberes tácitos que embasam essa formação, num contínuo processo ação-reflexão-ação. Para que esse processo se efetive, é importante que os colegas mais experientes auxiliem os demais na construção de um olhar crítico para as propostas existentes. Nesse sentido, Charlot (2005) ressalta que formar professores corresponde a dotá-los de competências que permitirão gerir tensões e construir as mediações entre práticas e saberes. Para isso, os professores devem estar preparados para assumir práticas em sala de aula que favoreçam aos estudantes pensarem sobre as Ciências, de modo a construírem conhecimentos legítimos nessa área. De acordo com Libâneo (2010):

[...] a tarefa de ensinar a pensar requer dos professores o conhecimento de estratégias de ensino e o desenvolvimento de suas próprias competências do pensar. Se o professor não dispõe de habilidades de pensamento, se não sabe “aprender a aprender”, se é incapaz de organizar e regular suas próprias atividades de aprendizagem, será impossível ajudar os alunos a potencializarem suas capacidades cognitivas. (Libâneo, 2010, p. 37)

Por fim, cabe aos cursos voltados à formação inicial de professores fomentar essas reflexões, proporcionando aos licenciandos o instrumental que os capacitem a articular em sala de aula diferentes possibilidades para se pensar as Ciências e também construir novos conhecimentos, de forma crítica e reflexiva (Zeichner, 1993; Pérez-Gómez, 1997; Perrenoud, 2002).

2. OS SABERES DOCENTES E A MOTIVAÇÃO INTRÍNSECA PARA O DESENVOLVIMENTO PROFISSIONAL DOS PROFESSORES DE QUÍMICA

Ninguém pode ser um apreciador das artes ou das Ciências sem conhecer com clareza os seus fundamentos. O mesmo acontece com os professores em formação inicial: não é possível se dedicar à docência sem conhecer os seus desafios e as motivações que estão por trás do ato de educar o próximo. Isso porque lidar com abstrações pode não favorecer um entendimento da complexidade que perpassa as ações docentes. Assim, é importante proporcionar aos professores em formação alguns desafios relacionados ao processo de construção do conhecimento científico em sala de aula, para que seja possível a eles mediar suas ações nesse espaço. Tais situações desafiadoras poderão capacitá-los a pensar nas Ciências como um empreendimento social e historicamente construído.

Para que os professores em formação assumam essa perspectiva de articulação dos saberes em suas práticas, é necessária uma motivação intrínseca para a realização do trabalho docente. O conceito de motivação intrínseca se relaciona à tendência que o ser humano apresenta para lidar com as novidades e os desafios pessoais e profissionais, exercitando as suas múltiplas capacidades para mediar problemas e conflitos de diferentes ordens. Ryan e Deci (2000) destacam que a motivação intrínseca é o fenômeno que melhor representa o potencial da natureza humana, sendo essencial ao desenvolvimento cognitivo e à inserção social dos sujeitos.

De acordo com Tardif (2002), a formação dos professores deveria estabelecer articulações entre os aspectos sociais e individuais relacionados aos saberes docentes. Ele afirma que o saber é social, pois é partilhado por um grupo de professores que possui formação comum, embora muitas vezes discrepantes. Esse saber é resultado da negociação entre diversos grupos e associado às práticas sociais. O professor não trabalha apenas com um “objeto”, ele trabalha com sujeitos. Assim, é importante inscrever no próprio cerne do saber dos professores a relação com o outro e, principalmente, com esse outro coletivo representado pela Escola. Nesse sentido, o *saber experiencial* engloba toda a formação profissional, disciplinar e curricular, desempenhando um papel central na prática instituída pelo professor.

Ainda em relação à formação docente, é importante destacar que até mesmo os licenciandos que nunca atuaram como professores têm uma importante experiência acumulada durante sua trajetória escolar, de no mínimo doze anos. Dessa forma, os cursos voltados à formação inicial de professores podem fomentar espaços de reflexão e atuação prática dos licenciandos, pois tendo ou não experiência profissional, todos possuem expressivas vivências enquanto estudantes da Educação Básica as quais, certamente, merecem serem revistas, questionadas e reelaboradas, considerando que:

[...] o processo de aprender a ensinar começa muito antes dos alunos frequentarem os cursos de formação de professores: por isso, temos de ter em conta as ideias anteriores e as regras que os alunos aliam à experiência e devemos ajudá-los a exteriorizá-las e a elaborá-las segundo concepções mais apropriadas. (Feinman-Nemser & Buchmann, 1987, p. 108)

Para Schön (1987), tornar-se consciente de seus saberes tácitos é o ponto de partida para que o profissional possa questionar as estratégias e as teorias nas quais

acredita, possibilitando assim uma reflexão sobre os modos possíveis de atuação docente. Schön destaca ainda a importância de se pensar na epistemologia da prática, fundamentada sempre na reflexão a partir de situações reais. Isso permite uma mudança no foco da formação docente, centrando-se mais nas investigações do próprio trabalho em sala de aula.

Seguindo o curso dessa discussão, cabe ressaltar que muitas das vivências escolares se relacionam a situações nas quais os professores não imaginaram ter que enfrentar. O mesmo se passa com os médicos, por exemplo, que encontram na vida diária ocorrências que nunca antes foram estudadas em livros de medicina, não tendo assim uma solução pronta que possa ser resgatada de seus estudos anteriores. Nesse sentido, Schön (1983, p. 16) destaca que *“85% dos problemas que um médico vê em seu ofício não estão nos livros”*. Talvez hoje, com o advento das tecnologias e a relativa facilidade para a circulação dos novos conhecimentos, esse número pode ter reduzido significativamente. Assim como um médico, é desejável que o professor em formação inicial se prepare para estabelecer e mediar esse diálogo com o inesperado, buscando intervir e construir conhecimentos em sala de aula que favoreçam uma significativa transformação nas relações sociais instituídas nesse espaço.

A interação, a mediação e a negociação são importantes meios para se buscar atingir novos níveis de compreensão sobre a prática da sala de aula no ensino de Química. É importante destacar que as reflexões coletivas necessitam de um direcionamento, que pode ser dado em sala de aula por um professor ou pesquisador com uma perspectiva de inovação pedagógica.

Silva (2009) ressalta que a partir dos saberes práticos os professores expressam suas concepções de ensino, projetando ações no espaço educativo. Somente assim, *“serão capazes de modificar, adequar ou reafirmar as escolhas por determinada postura e sobre sua interação com os demais sujeitos em sala de aula”* (Silva, 2009, p. 26). Greenwood e Levin (2000) caracterizam esse processo de mudança como sendo parte de uma *investigação cogenerativa*, na qual os envolvidos – licenciandos e o professor-pesquisador na presente situação investigativa – cogeram o conhecimento por meio do processo de comunicação colaborativa, em que todas as contribuições são

levadas em conta. Isso considerando que enfrentarão situações incertas e ao mesmo tempo complexas, sendo necessário refletir criticamente sobre suas próprias ações.

Assumindo essa perspectiva no trabalho com os licenciandos em Química, torna-se necessário articular ações nos cursos de formação inicial de professores que considerem as concepções trazidas por eles para a sala de aula, buscando ampliar suas visões sobre o processo de ensino e aprendizagem, além de avaliar as ideias e atitudes relativas ao modo como ocorre a construção e mediação do conhecimento científico.

Resgatando mais uma vez Tardif, ele afirma que “[...] *ensinar supõe aprender a ensinar, ou seja, aprender a dominar progressivamente os saberes necessários à realização do trabalho docente*” (Tardif, 2002, p. 20). Além disso, destaca três saberes que considera como sendo estruturais no processo de formação e atuação docente: o teórico, o técnico e o prático. Os referidos saberes dialogam com as ideias apresentadas por Schön (1983), relacionadas: (i) ao *conhecimento na ação*; (ii) à *reflexão na ação*; e (iii) à *reflexão sobre a ação*.

Guarnieri (1996), baseando-se em investigação realizada com professores no início de carreira, concluiu que as dificuldades relacionadas à prática pedagógica são superadas quando o docente se torna capaz de estabelecer relações entre os saberes da formação com os saberes que vai adquirindo na prática da sala de aula. Isso porque o ensino e a aprendizagem se concatenam, considerando que ao ensinar o professor também está interconvertendo diversas habilidades conceituais⁹, procedimentais e atitudinais. No trabalho com Modelagem em sala de aula, isso se relaciona à ideia da dupla mediação favorecida pela relação social e semiótica inerente à construção, manipulação e discussão dos modelos. Nesse sentido, Charlot (2005) ressalta que a questão não é se o professor sabe promover a aprendizagem, mas se ele tem repertório para ensinar em vez de reproduzir informações.

Tardif (2002) aponta que a atuação docente no início de carreira se constitui um grande desafio por estabelecer a identidade profissional. No decorrer dos anos, as experiências vivenciadas trazem aos professores mais confiança e a possibilidade de repensarem suas práticas, pois ao longo do tempo e com as múltiplas situações

⁹ No contexto desse trabalho, *habilidade conceitual* é compreendida como a possibilidade de articular conceitos científicos em um ambiente que prioriza a construção social de conhecimento.

vivenciadas, o docente consolida a sua formação, tendo assim um maior domínio e consciência do seu trabalho.

Perrenoud (2002) e Contreras (2002) ressaltam que a formação do professor como um profissional crítico e reflexivo é de grande importância para uma sociedade em constante transformação. Isso porque fomenta o desenvolvimento de habilidades essenciais aos profissionais do Século 21, tais como a capacidade de inovar, articular e negociar novos saberes em contextos de construção coletiva de conhecimentos.

Assim, ao se desenvolver reflexões epistemológicas que favoreçam a expressão das ideias em sala de aula, cria-se um ambiente propício para se discutir aspectos relevantes ao processo de aprendizagem dos conteúdos em estudo. Além disso, permite uma reflexão sobre as dinâmicas de construção do conhecimento, com destaque para a mediação do professor nesse processo, sendo que esse assume o papel de representante legítimo da cultura científica a ser ensinada.

3. A FORMAÇÃO INICIAL DOS PROFESSORES E OS DESAFIOS DO “APRENDER A ENSINAR”

De acordo com Pimenta (2010), o desenvolvimento profissional de um professor acontece por meio de um trabalho que envolve a reflexão sobre a docência e a construção de uma identidade profissional, que acontece no contexto das disciplinas teóricas e práticas. Perrenoud (2000, p. 44) afirma que *“se desejarmos transformar o ofício do professor em uma profissão plena e integral, a formação – inicial e contínua – deve desenvolver a postura reflexiva e oferecer os saberes e as habilidades correspondentes”*. As ações reflexivas sobre o trabalho docente, tal como proposto nas atividades de Modelagem que serão discutidas nesta pesquisa, podem permitir aos professores em formação inicial compreender os desafios que perpassam o *“aprender a ensinar”*. Nesse sentido, Mizukami et al. (2003) destacam que:

Aprender a ensinar é um processo complexo que envolve fatores afetivos, cognitivos, éticos, de desempenho [...]. Não se dispõe, até o presente momento, de um referencial teórico coerente e abrangente, de uma teoria geral de conhecimento sobre aprendizagem profissional de professores, de modo a informar o desenho de cursos de formação básica e programas de formação continuada [...]. (Mizukami et al., 2003, p. 48)

Não existe, e certamente nunca existirá, uma “receita” contendo o passo a passo de como ensinar. Para saber ensinar é importante que os professores estejam preparados e tenham repertório para mediar as inúmeras situações possíveis de ocorrer em uma sala de aula. Essa mediação acontece de forma efetiva quando os professores já tiveram oportunidades de articular reflexões e vivências durante a sua formação e/ou atuação profissional, permitindo assim angariar um vasto repertório que facilite e, ao mesmo tempo, favoreça a eles orquestrar tais ações em sala de aula.

Assim, é importante que as ações articuladas pelo professor favoreçam a expressão de ideias por parte dos estudantes, que levantam hipóteses e, nas negociações, chegam a conclusões que ajudam o grupo a se perceber como parte integrante de um processo dinâmico de construção do conhecimento. A partir do momento que a linguagem começa a ser socializada em sala de aula, passa a ser possível compartilhar o pensamento entre os estudantes.

De acordo com Benite, Benite e Echeverria (2010), a fala é uma das formas de linguagem por meio da qual os significados sociais se alicerçam, podendo ser apreendidos por meio de acordos entre os pares. A fala encontra-se entrelaçada por expressões afetivas e gestuais, que se tornam parte integrante do processo interativo que se estabelece durante a construção do conhecimento científico. As ações e a fala se unem na coordenação de importantes habilidades, tal como no desenvolvimento da argumentação pelos estudantes, considerando que todo o debate representa uma das possibilidades para se construir e legitimar socialmente o conhecimento científico.

Para Shulman (1988, *apud* Mizukami et al., 2003), a maioria dos professores é capaz de ensinar combinando o técnico com o reflexivo, o teórico com o prático, o universal com o concreto, de modo que se torna necessário estabelecer um contínuo jogo entre dois princípios: o da *racionalidade técnica* e o da *reflexão na ação*. Nesse sentido, Libâneo (2010) aponta que os cursos de licenciatura devem integrar os conteúdos ensinados a situações práticas e contextuais, para que os futuros professores, ao se depararem com os problemas associados às diferentes áreas do conhecimento, busquem soluções com a ajuda da teoria. Nesse sentido, a prática pode

ser considerada a referência para a teoria. E a teoria, o nutriente para uma prática de melhor qualidade. Dessa forma, Pereira, Almeida e Azzi (2002) afirmam que:

O professor aprende a ser professor refletindo sobre sua prática, problematizando-a, distinguindo as dificuldades que ela apresenta, pensando alternativas de solução, observando as reações dos alunos. Só com um trabalho que tem em vista um ensino problematizador que o futuro professor tem a oportunidade de trabalhar a integração entre teoria e prática ao longo da sua formação. (Pereira, Almeida, & Azzi, 2002, p. 198)

Os cursos voltados à formação inicial de professores, e também a Universidade como um todo, se deparam com um importante desafio na atualidade: formar profissionais qualificados para atender as exigências do mercado, buscando superar uma possível queda na qualidade da educação, o que naturalmente ocorre em um momento de expansão do Ensino Superior Brasileiro. Diante desse cenário e das atuais exigências para a formação profissional, é possível constatar que o ensino vigente nas diferentes instituições apresenta ainda uma grande ênfase nos conteúdos, assumindo um modelo técnico que se pauta na *transmissão-recepção*.

Esse modelo parece estar ultrapassado, pois na sociedade atual somos dependentes das redes de conhecimentos, articuladas pelos diferentes sites de busca. Como muitos já portam microcomputadores, tendo acesso à internet por meio dos *Tablets* ou telefones móveis, as informações com um fim em si mesmas perdem o sentido em sala de aula. Isso considerando que elas são facilmente encontradas na internet, não necessitando da figura do professor como a única possibilidade para seu acesso. Assim, emerge uma importante questão: *Por que dispende longas horas em sala de aula com informações pouco relevantes e fáceis de serem obtidas em espaços virtuais?* Talvez fosse melhor dedicar esse tempo ao aprimoramento do espírito crítico, à análise, ao incentivo à criatividade, ao pensamento sistêmico, à colaboração e à construção coletiva de novos conhecimentos, sempre com a mediação do professor. Isso permite aos estudantes entender aspectos essenciais do conhecimento científico, tal como a sua provisoriade, suas incertezas e limitações.

Entretanto, é importante considerar que a construção das Ciências acontece de forma processual, em que as fases anteriores se tornam parte integrante de um processo de evolução das ideias. Assim, o trabalho em sala de aula pressupõe o

envolvimento ativo dos seus participantes, de modo a favorecer uma articulação de práticas que dialogam efetivamente com o processo de construção do conhecimento científico. Para isso é fundamental que os professores sejam capacitados em cursos de formação inicial e continuada, de modo a estarem aptos a compreender e, posteriormente, implementar em sala de aula essa perspectiva dinâmica para o ensino.

De acordo com Alarcão (2003), o mundo, marcado por múltiplas informações, precisa ajudar a clarificar o pensamento. Nesse sentido, Morin (2000) afirma que só o pensamento pode organizar o conhecimento, considerando que para conhecer é preciso pensar. Em vez de uma cabeça bem cheia, afirma o autor, é necessário permitir o desenvolvimento de uma cabeça bem feita, capaz de transformar a informação em conhecimento pertinente. Nesse sentido, Tavares e Alarcão (2001) afirmam que:

As aprendizagens na sociedade emergente terão de desenvolver-se de uma forma mais ativa, responsável e experienciada ou experiencial, as quais façam apelo a atitudes mais autônomas, dialogantes e colaborativas em uma dinâmica de investigação, de descoberta e de construção de saberes alicerçada em projetos de reflexão e pesquisa, baseada em uma ideia de cultura transversal que venha ao encontro da interseção dos saberes, dos conhecimentos, da ação e da vida. É preciso valorizar a criação de ambientes estimulantes para a aprendizagem e incentivar o desenvolvimento da criatividade, da inovação [...]. (Tavares & Alarcão, 2001, p. 104)

Alarcão (2003) destaca ainda que isso não representa o prenúncio do final para a atuação do professor, como muitos podem pensar. Pelo contrário, na “Era da Informação” (ou talvez “Era do Conhecimento”) o professor é uma peça fundamental no processo de construção/articulação/mediação de novos saberes em sala de aula. Dialogando com essa ideia, Nóvoa (2002) ressalta o seguinte:

É verdade que, hoje, o conhecimento se encontra disponível numa diversidade de formas e de lugares. Mas o momento do ensino é fundamental para explicar, para revelar a sua evolução histórica e para preparar a sua apreensão crítica. (Nóvoa, 2002, p. 252)

Por fim, Alarcão (2003) aponta que o conhecimento está essencialmente na Escola, lugar privilegiado para as iniciações, as sistematizações, o estabelecimento de relações estruturantes, as discussões críticas e as avaliações. Os professores são, assim, importantes mediadores no processo de aprendizagem e não apenas estruturadores de um ensino unilateral e apático.

4. APRENDIZAGEM DA TERMOQUÍMICA E DOS CONCEITOS RELACIONADOS A ESSE TEMA

Nessa seção serão apresentados e brevemente discutidos os dados da literatura relacionados às ideias dos estudantes sobre o conteúdo de Termodinâmica / Termoquímica. Faz-se essa opção por se acreditar que as concepções dos estudantes podem trazer importantes reflexões para o ensino dos conceitos relativos aos processos endotérmicos e exotérmicos, um dos eixos de discussão que perpassa a proposta a ser analisada nesta pesquisa.

Alguns trabalhos que consideram os aspectos energéticos das transformações químicas apontam para as dificuldades que os estudantes do nível médio apresentam em relação à aprendizagem do conceito de energia e seus correlatos, como calor, temperatura e energia de ligação (Bliss & Ogborn, 1985; Boo, 1998; Cohen & Ben-Zvi, 1992; Griffiths & Preston, 1992; Hapkiewicz, 1991; Mortimer & Amaral, 1998; Mulford & Robinson, 2002; Ogborn, 1990; Teichert & Stacy, 2002).

Nessa mesma linha, outros trabalhos apontam para as dificuldades dos estudantes no entendimento de conceitos Termodinâmicos/Termoquímicos, a partir de investigações realizadas em disciplinas específicas dos cursos de Engenharia e de Química. Dentre as pesquisas realizadas no contexto universitário, destacam-se: Banerjee (1995); Carson e Watson (1999; 2002); Hadfield e Wieman (2010); Liu, Ebenezer e Fraser (2002); Pathare e Pradhan (2010); Sözbilir e Bennett (2007); Sözbilir, Pýnarbapý e Nurtaç (2010); Sreenivasulu e Subramaniam (2013). Tais trabalhos apontam para as dificuldades no entendimento de conceitos relacionados a Entropia de um sistema, Energia Interna, Energia Livre de Gibbs, conservação/conversão de energia, dentre outros conteúdos e grandezas matemáticas correlacionadas a essa temática. Cabe destacar ainda o trabalho de Bain, Moon, Mack e Towns (2014), que apresenta uma importante revisão de pesquisas sobre o ensino e a aprendizagem da Termodinâmica em nível universitário, buscando discutir lacunas existentes na literatura, de modo a apontar para a necessidade de pesquisas futuras sobre temáticas relacionadas a esse conteúdo.

Há também pesquisas realizadas com o objetivo de favorecer aos estudantes uma melhor compreensão das noções fundamentais de energia, a partir de suas concepções iniciais, com destaque para: Trumper (1991); Henrique (1996); Pérez-Landazábal, Favieres, Manrique e Varela (1995); Solomon (1985). Esses trabalhos chegaram a resultados similares com relação às concepções de energia presentes no senso comum, associando-as: (i) à causa ou produto de um processo; (ii) às atividades humanas (relações antropocêntricas); (iii) ao movimento (energia cinética); e (iv) à força ou fonte geradora de alguma força. Além desses trabalhos, Souza Filho (1987) sintetiza outras características intuitivas verificadas em estudantes do Ensino Fundamental e Médio que se relacionam ao conceito de energia: (i) é *algo* presente em todos os fenômenos que ocorrem na natureza e com o homem; (ii) é *algo* em potencial nos objetos (energia potencial); (iii) é como uma substância; (iv) é algo que se perde e se adquire; e (v) pode se apresentar de diferentes maneiras (como energia gravitacional, elétrica, magnética, luminosa, sonora, nuclear, térmica, química etc.).

Além dessas pesquisas, a literatura internacional apresenta outras publicações que ajudam a reforçar a relevância da referida temática de estudo para a aprendizagem das Ciências em diferentes níveis de ensino: Cotignola, Bordogna, Punte e Cappannini (2002), com uma investigação relativa às dificuldades apresentadas por estudantes sobre conceitos termodinâmicos e a relação dos mesmos com a evolução histórica; Goedhart e Kaper (2002), que realizaram um levantamento com mais de setenta artigos relacionados ao entendimento dos estudantes sobre os conceitos de calor e energia nos processos químicos; Grayson e Treagust (1999), Greenbowe e Meltzer (2003), Jasien e Oberem (2002), Kaper e Goedhart (2002), Liu e McKeough (2005) e Niaz (2006), que verificaram confusões recorrentes entre os estudantes sobre os conceitos de calor, temperatura e energia; Anderson (1990) e Duit (1987), que estudaram as concepções dos estudantes relacionadas ao caráter material da energia; Hadfield e Wieman (2010) e Meltzer (2004), que investigaram as dificuldades conceituais dos estudantes sobre a Primeira Lei da Termodinâmica.

Em relação à energia envolvida nas ligações químicas, aspecto amplamente discutido no estudo da Termoquímica, Hapkiewicz (1991) destaca que, na concepção

de alguns estudantes da Educação Básica, a ligação é interpretada como se fosse uma mola estendida e que libera a energia quando é rompida. Nesse sentido, os estudantes teriam a ideia de que a ligação prende os átomos, liberando esse “conteúdo energético” associado a ela quando a mesma é rompida.

Fernandez e Marcondes (2006) ressaltam que muitos estudantes entendem a ligação química como algo físico, tendendo a pensar que para ocorrer a formação da ligação há uma demanda por energia relacionada à junção dos átomos. A sua quebra, por sua vez, *liberaria* essa energia que, a princípio, estaria fisicamente armazenada em seu interior. A partir de pesquisas realizadas com estudantes do nível médio, Chittleborough e Treagust (2007) e Souza e Justi (2010) apontam que concepções desse tipo são resultantes de uma extrapolação direta relacionada aos eventos do nível observável para o submicroscópico. Somam-se a isso questões advindas de outras áreas do conhecimento, como da Biologia, com a ideia relacionada ao *armazenamento* de energia química pelos alimentos. Os estudantes, então, tendem a pensar que: (i) a energia está acondicionada nas ligações (no alimento ou na molécula de ATP, por exemplo) e é liberada nos processos químicos (Teichert & Stacy, 2002); (ii) a quebra das ligações H–H e O=O libera energia (Mulford & Robinson, 2002); e (iii) o calor causa a expansão das moléculas (Souza & Justi, 2010), levando ao rompimento das ligações presentes nas moléculas de água (Griffiths & Preston, 1992).

Além dessas ideias, vários outros autores relatam concepções alternativas de estudantes do Ensino Médio sobre conceitos como calor, temperatura, energia e transformações químicas. Essas concepções, se não forem trabalhadas pelo professor em sala de aula, podem dificultar o entendimento dos processos termoquímicos e, em especial, da energia envolvida nas transformações químicas. Muitas delas podem estar relacionadas ao fato de os estudantes: (i) apresentarem dificuldades em estabelecer relações entre conceitos abstratos como calor, temperatura e energia (Cohen & Ben-Zvi, 1992); (ii) pensarem nas transformações químicas como adição, “cola” de reagentes para formar produtos e não como interação envolvendo a quebra e a formação de ligações (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1987); (iii) possuírem uma visão estática das partículas, com pouco ou nenhum entendimento sobre como ocorrem, em

nível submicroscópico, as transformações químicas (Boo, 1998; Chittleborough & Treagust, 2007); (iv) terem dificuldades em entender o significado das transformações químicas e dos processos endotérmicos e exotérmicos (de Vos & Verdonk, 1986); (v) desconhecerem, total ou parcialmente, a origem do aquecimento ou resfriamento percebido em alguns processos químicos (Boo, 1998); e (vi) invocarem um modelo estático para representar e explicar as transformações químicas (Andersson, 1990).

Seguindo as discussões levantadas pelas diferentes pesquisas aqui apresentadas, ressalta-se também que a Termoquímica 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). Isso porque nem todas as explicações são triviais para serem trabalhadas nesse nível de escolaridade, dada a sua complexidade conceitual e o rigor matemático das grandezas em estudo¹⁰.

Finalmente, é importante chamar a atenção para o desafio que os professores enfrentam ao trabalhar com temas de grande abrangência teórica e abstração, tal como a energia envolvida nos processos químicos. Isso porque o uso de muitos desses conceitos é feito de forma indiscriminada e pragmática em nossa sociedade, o que pode contribuir para que os estudantes reforcem suas ideias intuitivas em relação aos diferentes conteúdos estudados, apresentando dificuldades na construção/aceitação da ideia científica. Assim, cabe aos professores mediar esse processo de construção do conhecimento científico em sala de aula. Acredita-se que o ensino fundamentado na Modelagem pode favorecer tal articulação.

¹⁰ Para exemplificar uma situação que será tratada neste trabalho, é possível apresentar a discussão sobre a espontaneidade dos processos endotérmicos, que só pode ser explicada de forma plausível quando se lança mão de conceitos abordados superficialmente no Ensino Médio, tais como Entropia, Energia Livre de Gibbs e Entalpia. Assim, em um sistema isolado, com temperatura e pressão constantes, para que um processo ocorra espontaneamente, a variação da Energia Livre de Gibbs (ΔG), expressa pela equação $dG = dH - T.dS$, deve ser negativa. É necessário, então, que haja um balanço entre a Entalpia (H) e a Entropia (S), de modo que a relação $dH - T.dS$ seja mínima. No caso de processos espontâneos que sejam endotérmicos, o sistema só pode ir para um estado de maior energia porque o aumento da Entropia compensa. Na verdade, o sistema foi para um menor estado de Energia Livre.

5. APRESENTAÇÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA

Com base nos aspectos teóricos discutidos até aqui, o problema de pesquisa colocado ao final do Capítulo 1 será desdobrado aqui em três questões que nortearão a investigação realizada com os licenciandos do curso de Química:

1. Considerando as ações propostas para mediar o conhecimento científico em uma eventual situação de ensino, como as limitações e as potencialidades dos modelos foram discutidas pelos licenciandos durante as aulas e na avaliação final do processo?
2. De que forma as propostas de mediação social e semiótica articuladas ao longo do processo de Modelagem podem ter contribuído para que os licenciandos desenvolvessem habilidades conceituais?
3. Após participarem de uma sequência de atividades relacionadas à utilização e construção de modelos para explicar a energia envolvida nas transformações químicas, como os licenciandos propuseram mediar as dificuldades conceituais de estudantes do Ensino Médio quando foram confrontados com elas?

No capítulo seguinte será apresentado o contexto geral da pesquisa e o delineamento do desenho metodológico.

CAPÍTULO 4 – DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

1. CONTEXTO INVESTIGATIVO-METODOLÓGICO DA PESQUISA E PROPOSTA DE TRABALHO

A presente pesquisa envolveu a aplicação e a avaliação de uma *sequência didática* (Apêndice I a V) trabalhada durante as aulas regulares de uma disciplina do curso de Licenciatura em Química. Como esta pesquisa se encaixa nas perspectivas descritiva, participante e interpretativa, relacionadas ao processo de construção e mediação do conhecimento científico em sala de aula, optou-se pela utilização do método qualitativo para análise dos dados, tendo em vista que possibilita a compreensão de casos particulares e gerais. Esse tipo de análise favorece a proposição de inferências sobre a situação investigada, alicerçada em diferentes fontes de dados – escritos, filmagens e notas de campo (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

Em relação ao pesquisador, ele era o professor da turma investigada. Cabe ressaltar que existem vantagens e desvantagens em se assumir a dupla posição de professor-pesquisador nessa situação de pesquisa. Como vantagem, destaca-se a possibilidade de ter a coleta de dados realizada em uma turma na qual já se conhece os licenciandos, de modo a ser possível uma intervenção mais diretiva durante as interações estabelecidas em sala de aula. Além disso, conhecer o perfil da turma pode permitir ao professor-pesquisador compreender melhor como a proposta foi aceita e articulada pelos participantes, considerando o compromisso que tiveram ou não durante a realização das atividades.

Como desvantagem, perde-se a possibilidade de um olhar externo para aquele espaço, o que pode ser importante no momento em que se analisa o processo construtivo estabelecido em sala de aula. Entretanto, é importante considerar que a pesquisa se volta para as ações formativas dos licenciandos e não diretamente para uma avaliação da prática docente, o que pode ser feito de forma enviesada e questionável caso o pesquisador optasse por analisar a sua própria prática.

Sobre a coleta de dados, ela foi realizada com os estudantes da disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química II*, ministrada no 6º Período do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Essa disciplina tem uma carga horária de 90 horas/aula, equivalendo a seis créditos. Apresenta como

proposta de ementa os seguintes tópicos: (i) Contextualização, interdisciplinaridade e desenvolvimento de habilidades no ensino de Química; (ii) Utilização de diferentes recursos didáticos e estratégias de ensino para favorecer o processo de ensino e aprendizagem da Química; (iii) Avaliação dos processos de ensino e aprendizagem da Química; (iv) Análise crítica dos diferentes recursos didáticos e sua utilização no ensino (livros didáticos e paradidáticos, vídeos, softwares educacionais etc.); (v) Contribuição das pesquisas no campo da Educação em Ciências/Química para o ensino; (vi) Papel da linguagem e da Modelagem no processo de ensino e aprendizagem da Química; e (vii) Introdução da História e Natureza das Ciências no ensino de Química.

Para a realização da pesquisa, foi apresentado um conjunto de atividades que envolvia a utilização de modelos para explicar os aspectos termoquímicos relacionados às transformações químicas. É importante ressaltar que todas essas atividades centraram-se na construção social do conhecimento, estando os licenciandos imersos em um contexto de aprendizagem que dialoga com a abordagem sócio-histórico-cultural proposta por Vygotsky. Desse modo, os modelos, assim como a linguagem e os gestos, podem ser considerados neste trabalho como importantes recursos utilizados no processo de mediação do conhecimento científico. De acordo com Freitas (2002), a abordagem sócio-histórico-cultural pode ser orientadora da pesquisa qualitativa, pois:

Partindo da premissa básica de que as funções mentais superiores são constituídas no social, em um processo interativo possibilitado pela linguagem e que antecede a apropriação pessoal, Vygotsky também vê a pesquisa como uma *relação entre sujeitos*, relação essa que se torna *promotora de desenvolvimento mediado por outro*. Sua posição tem importantes consequências para a pesquisa, em seus próprios experimentos e nos de seus colaboradores: é possível perceber a mediação do pesquisador provocando alterações de comportamento que possibilitam a compreensão de seu desenvolvimento. [...] o pesquisador, durante o processo de pesquisa, é alguém que está em processo de aprendizagem, de transformações. Ele se ressignifica no campo. O mesmo acontece com o pesquisado que, não sendo um mero objeto, também tem a oportunidade de refletir, aprender e ressignificar-se no processo da pesquisa. (Freitas, 2002, p. 25-26)

Por fim, a pesquisa qualitativa na perspectiva sócio-histórico-cultural pressupõe uma compreensão profunda dos eventos investigados, descrevendo-os e procurando as suas possíveis relações, de modo a integrar o individual com o social.

2. DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E APRESENTAÇÃO DO PROFESSOR-PESQUISADOR

Participaram desta pesquisa 27 estudantes de licenciatura em Química-Diurno¹¹ da UFV, matriculados na disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química II*. Dentre esses licenciandos, apenas um já atuava efetivamente como professor de Química¹², sendo que os demais apresentavam experiências docentes esporádicas, tais como aulas particulares, monitorias e tutorias na Universidade, além das atividades realizadas regularmente nos Estágios Supervisionados em Química e no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID).

Eles já haviam discutido nas aulas de *Instrumentação para o Ensino de Química I*, que tiveram com o mesmo professor, questões relacionadas ao uso de modelos no ensino de Química, sobretudo quando foi realizada a análise de alguns materiais didáticos na disciplina. Entretanto, esse grupo ainda não havia trabalhado com atividades práticas envolvendo propostas de mediação do conhecimento, tal como a *sequência didática* relacionada à Modelagem que foi desenvolvida nas aulas.

Ao longo do trabalho, os licenciandos serão identificados por um código do tipo LxGy, em que x é um número de ordem atribuído aleatoriamente a cada um deles e y se refere ao grupo no qual pertenciam. Além disso, todas as falas serão apresentadas em itálico e com letra menor, podendo ser distinguidas das demais ideias apresentadas no decorrer do texto.

Em relação à trajetória profissional e acadêmica do professor-pesquisador¹³, ele apresenta experiência docente em Química tanto no Ensino Médio como no Superior.

¹¹ Em relação ao gênero, essa amostra foi composta por 22 mulheres e 5 homens. Cabe destacar que o grupo era bastante heterogêneo, com licenciandos que apresentavam diferentes experiências acadêmicas. Tais experiências refletiram em suas ações durante as aulas, com a evocação de conhecimentos e habilidades oriundas das diferentes áreas de atuação. Dentre essas experiências, destacam-se Iniciação Científica nas áreas da Físico-Química, Química Inorgânica e Orgânica, além da participação em atividades de ensino e de extensão (espaços formais e não formais de ensino).

¹² Na ocasião em que os dados foram coletados (1º semestre de 2012), o referido licenciando era professor em dois Colégios particulares: um na cidade de Viçosa e outro em Ponte Nova, onde também atuava em um curso preparatório para o ENEM. Atualmente, ele é professor em duas escolas particulares de Viçosa e uma em Ponte Nova, ministrando aulas para o Ensino Fundamental e Médio.

¹³ Nesse momento, é necessário destacar a dificuldade e, ao mesmo tempo, limitação para relatar a minha experiência profissional, assumindo o caráter imparcial que o texto exige ao se apresentar a descrição em terceira pessoa.

Além disso, participou de pesquisas relacionadas ao processo de construção e teste de modelos em sala de aula, sendo essas desenvolvidas com estudantes do Ensino Médio regular e técnico. Durante o Mestrado (2005 a 2007), participou de um projeto de pesquisa¹⁴ que permitiu, juntamente com um grupo de professores de Química, construir e aplicar, em turmas do Ensino Médio e Fundamental, sequências de ensino relacionadas ao uso de Modelagem. Essas atividades contemplaram diferentes conteúdos da Química, tais como Ligações Químicas, Interações Intermoleculares, Equilíbrio Químico e Termoquímica. Desde Setembro de 2010 é docente no Departamento de Química da UFV, onde ministra disciplinas relacionadas à formação inicial dos professores de Química (*Estágios Supervisionados e Instrumentações para o Ensino*), além de *História da Química* e *Química Geral*.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA E AS METODOLOGIAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

O presente trabalho buscou apresentar aos licenciandos atividades que abordassem situações possíveis de serem vivenciadas em sala de aula, permitindo a eles estabelecer uma interlocução com os diferentes problemas levantados nesse espaço, de modo a ser possível avaliar tais situações e tentar articular algum tipo de intervenção. Dessa forma, serão analisadas as propostas de mediação do conhecimento elaboradas coletivamente pelos licenciandos, a partir das atividades de Modelagem, e individualmente, na avaliação final do processo (Apêndice VI).

Em relação à participação dos licenciandos na pesquisa, o convite foi feito na própria aula de *Instrumentação para o Ensino de Química II*, de modo que eles tiveram a liberdade de aceitar ou não. Entretanto, é importante ressaltar que o convite foi motivador, de modo que todos se sentiram sensibilizados e, ao mesmo tempo, motivados a se engajarem na realização das atividades. Sobre a apresentação da proposta de pesquisa para o grupo, Gatti (2005) destaca que:

Nos primeiros momentos, o moderador deve oferecer informações que deixem os participantes a vontade, sabendo o que deles se espera, qual será a rotina da reunião e a duração do encontro. [...] A forma de registro do trabalho conjunto deve ser explicitada, e a obtenção da anuência dos participantes quanto a ela é imprescindível. A garantia do sigilo dos registros e dos nomes dos participantes precisa ser dada e enfatizada. Nesses

¹⁴ O referido projeto é o mesmo que foi apresentado na nota 2.

primeiros momentos, deixa-se claro que todas as ideias e opiniões interessam, que não há certo ou errado, bom ou mau argumento ou posicionamento [...]. Os participantes devem sentir-se livres para compartilhar seus pontos de vista, mesmo que diverjam do que os outros disseram. A discussão é totalmente aberta em torno da questão proposta, e todo e qualquer tipo de reflexão e contribuição é importante para a pesquisa. (Gatti, 2005, p. 28-29)

Os licenciandos assinaram o *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido* (Apêndice VII), que havia sido previamente aprovado, junto com o Projeto de Pesquisa, pelo *Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais* (COEP-UFMG). O referido termo esclarecia questões que foram ressaltadas pelo professor-pesquisador em sala de aula, tais como o anonimato dos envolvidos e a participação voluntária no trabalho. Ou seja, cada um teria a liberdade para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como se recusar a responder questões específicas do trabalho sem qualquer tipo de prejuízo ou punição na avaliação da disciplina em curso. Cabe destacar também que a UFV, na pessoa do chefe do Departamento de Química, concedeu a devida anuência para que a referida pesquisa fosse feita na instituição, tal como consta na carta apresentada no Apêndice VIII.

Assim, a pesquisa realizada com os licenciandos do curso de Química buscou acompanhar as ideias socializadas entre eles, suas atitudes, percepções e articulação de novos conhecimentos em sala de aula. Não é possível verificar tais ações com a realização de análises isoladas, considerando apenas a observação ou os materiais escritos (atividades e avaliação final) produzidos pelos licenciandos. Isso porque a característica que diferencia as ações no grupo do uso apenas de instrumentos escritos é a possibilidade de se ter registrado em vídeo a interação entre os participantes da pesquisa. Kitzinger (1994, *apud* Gatti, 2005) defende a ideia de que é essa interação que dá o diferencial a pesquisa, tendo em vista que:

[...] o interesse não é somente “no que as pessoas pensam, mas em *como* pensam e *porque* pensam assim” (p. 104). A autora ressalta, ainda, a importância da diferença, ao enfatizar que o processo grupal desencadeado é vital para trazer elementos que provoquem novas reflexões sobre o problema. Esse processo não se restringe a consensos ou às articulações das normas do grupo e suas experiências, mas abrange as diferenças entre os indivíduos, seus desentendimentos, desacordos, seus questionamentos mútuos, suas tentativas de persuadir para cooptar as suas ideias, suas dificuldades de compreensão mútua em relação ao que se diz. (Gatti, 2005, p. 39-40)

De acordo com Bogdan e Biklen (1994), é possível adotar a perspectiva qualitativa em situações de investigação em educação que, estando centradas na necessidade de mudanças, buscam a melhoria de programas e a introdução de inovações nas práticas instrucionais dos professores em formação. Assim, busca-se compreender de que maneira os licenciandos: (i) avaliam o processo formativo ao qual foram submetidos; (ii) articulam ações relacionadas à mediação do conhecimento em sala de aula; e (iii) estruturam as interações sociais estabelecidas dentro de um contexto específico de análise (Merriam, 1988).

Nesse sentido, o presente trabalho utiliza a abordagem qualitativa na análise de situações que priorizam a reflexão sobre uma eventual ação prática, de modo a permitir uma melhor compreensão quanto ao modo como os licenciandos em Química propõem mediar os problemas apresentados. Trata-se, assim, de uma perspectiva de investigação que pressupõe a observação dos comportamentos e a avaliação das propostas de ações docentes em uma disciplina que discute metodologias de ensino de Química e o modo como os licenciandos articulariam situações desafiadoras que perpassam a prática da sala de aula.

Com relação ao desenvolvimento da pesquisa qualitativa, Alves-Mazzotti (2001) destaca que uma focalização prematura do problema, assim como a adoção de um único referencial teórico rígido, pode impossibilitar a ampliação da visão do pesquisador para questões importantes que não se relacionam com a teoria previamente estabelecida. Isso provavelmente conduziria ao estabelecimento de interpretações distorcidas de alguns dos fenômenos estudados. Assim, a referida autora ressalta que a estruturação da pesquisa deve ser equilibrada, de modo a não ser totalmente aberta, nem tampouco fechada e apriorística, ou seja, que se baseie apenas em princípios anteriores à experiência. Isso porque uma pesquisa com parâmetros pouco flexíveis impossibilita um eventual redimensionamento da investigação pelo pesquisador, que pode em determinados momentos alterar e/ou ajustar o foco do trabalho quando julgue necessário. De acordo com Deslauriers e Kérisit (2008, p. 131), um dos objetivos da pesquisa qualitativa é compreender e descrever *“o comportamento dos indivíduos, assim como a ação social quando ela se*

traduz em ação coletiva". Muitas vezes, ao realizar a pesquisa obtêm-se resultados imprevisíveis ou pouco relevantes para o contexto do trabalho, demandando uma reorientação nas ações inicialmente propostas.

Considerando que o cenário da pesquisa foi o mesmo das aulas normais da disciplina, a única alteração no espaço físico da sala se deu pela presença das câmeras e de duas auxiliares que realizaram as filmagens durante as aulas. É importante ressaltar que esse registro em vídeo inicialmente constrangeu os licenciandos. Já prevendo essa possível dificuldade de interação frente às câmeras, as aulas começaram a serem filmadas quatro semanas antes do início efetivo da coleta de dados para a pesquisa, de modo a favorecer a ambientação dos licenciandos a essa mudança na dinâmica da sala de aula. Dessa forma, ao longo das aulas, eles foram compreendendo a proposta, se envolvendo com ela e ficando mais à vontade diante das câmeras.

Sobre a *validade ecológica*¹⁵, é possível inferir que ela foi garantida pelos seguintes fatores apresentados por Cohen, Manion e Morrison (2000): (i) o pesquisador foi o próprio professor da turma; (ii) as aulas em que os dados foram coletados ocorreram no mesmo espaço que as demais aulas da disciplina; e (iii) o professor-pesquisador buscou manter imparcialidade no desenvolvimento das atividades, considerando que elas eram parte integrante da proposta inicial apresentada na ementa da disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química II*.

Em relação à *observação participante*, Bogdan e Biklen (1994) apontam que esta pode ser considerada uma boa possibilidade para a coleta de dados quando o foco do estudo se volta para analisar as interações de um determinado grupo. Ela pode ser articulada pelo pesquisador de várias formas, dependendo do tipo de interação estabelecida com o grupo investigado. De acordo com Adler e Adler (1994), essa diferenciação é classificada em três categorias distintas: (i) *pesquisador-membro-periférico* – o pesquisador não interage diretamente com os sujeitos da pesquisa, sendo sua ação restrita à observação; (ii) *pesquisador-membro-ativo* – o pesquisador assume uma responsabilidade dentro do grupo, interagindo de forma mais intensa ou

¹⁵ Esse parâmetro da pesquisa se relaciona ao ambiente no qual os dados foram coletados.

desempenhando uma determinada função, além do seu papel de observador; e (iii) *pesquisador-membro-completo* – o pesquisador integra o ambiente a ser pesquisado, tal como em pesquisas que o professor desenvolve com suas turmas.

De acordo com Alvez-Mazzotti (2001), quando uma pesquisa qualitativa tem o pesquisador fazendo parte da investigação, como na situação aqui descrita, o trabalho deve combinar a *observação participante* com outros instrumentos de coleta de dados. Dentre os vários instrumentos possíveis de ser utilizados em uma pesquisa, sobressaem-se neste trabalho os vídeos das aulas, com destaque para os *modelos multimodais* elaborados nos grupos e as interações estabelecidas, os materiais escritos produzidos pelos licenciandos e as notas de campo feitas pelo professor-pesquisador.

Bogdan e Biklen (1994) apontam que as notas de campo se configuram como um material descritivo que relata a parte mais subjetiva das etapas de uma pesquisa qualitativa que adota a *observação participante*, principalmente na ênfase especulativa proporcionada pelo desenvolvimento dessas primeiras impressões. Além disso, as notas de campo abrangeram detalhados apontamentos de natureza descritiva (atividades, lugares, conversas, ideias, estratégias apresentadas pelos licenciandos) e reflexões do professor-pesquisador sobre aquilo que foi vivenciado durante a coleta dos dados, incluindo os sentimentos, as ansiedades e as dúvidas sobre a investigação (Richardson, 2000). Com as notas de campo, tentou-se contemplar uma componente descritiva e outra reflexiva que se dirigem para a análise dos dados, sendo anotadas logo após a observação de uma dada situação, de modo a manter o máximo de fidelidade possível frente ao que foi vivenciado (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

Em relação aos instrumentos escritos coletados durante a pesquisa, González Rey (2005) ressalta que eles:

[...] não representam informações mais legítimas que as obtidas por outras fontes; a informação reportada por eles tem o mesmo *status* que a procedente de outras fontes da pesquisa: todas são vias de definição de indicadores, que são relacionadas pelo pesquisador no processo de construção teórica. (González Rey, 2005, p. 83)

A combinação desses dados possibilita agregar mais confiabilidade às análises realizadas. Dessa maneira, os procedimentos metodológicos utilizados na presente pesquisa foram sendo estruturados para contemplar, de forma combinada, a

dimensão coletiva (interações entre os licenciandos e produção social de conhecimento) e a pessoal (avaliação final), considerando o processo que envolveu a construção de propostas voltadas à mediação do conhecimento científico.

De acordo com Cohen, Manion e Morrison (2000), a maioria das aproximações adotadas pela investigação educativa para reunir os dados utilizados como base para inferência, interpretação e compreensão do processo vivenciado pelos sujeitos investigados são de natureza descritiva e não experimental. Esses autores destacam que na investigação descritiva o pesquisador não somente relata o que aconteceu. O que se faz é estruturar o que ocorreu, de modo a poder comparar, contrastar, classificar, analisar e interpretar os acontecimentos e as interações entre os participantes da pesquisa. Assim, a relação que o pesquisador estabelece com os sujeitos envolvidos no trabalho passa a ser o cerne da pesquisa, de modo que os instrumentos por si só deixam o lugar de protagonistas nesse processo.

3.1. PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO DAS AULAS E UTILIZAÇÃO DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

As aulas foram planejadas considerando as experiências do professor-pesquisador descritas anteriormente, sobretudo em relação ao trabalho com Modelagem, além das demandas apresentadas pela turma durante algumas das discussões realizadas nas aulas que aconteceram no início do semestre letivo. Essas demandas se relacionavam às dificuldades dos licenciandos em mediar algumas situações em sala de aula, sobretudo durante as atividades práticas do Estágio Supervisionado realizadas nas Escolas. A função do professor-pesquisador, então, consistiu em auxiliar os licenciandos a problematizar as questões apresentadas, de modo a situá-los em um contexto mais amplo de debates frente aos problemas propostos. Com isso, buscava-se favorecer a ampliação da consciência dos envolvidos nessas atividades, com vistas a planejar novas possibilidades de intervenção nas práticas educacionais em Química.

As atividades realizadas em sala de aula foram estruturadas por meio de uma *sequência didática* que buscava se integrar ao processo de ensino da Termoquímica,

de modo a desencadear uma série de ações sucessivas e com diferentes níveis de complexidade, cujos propósitos deveriam estar explícitos para os licenciandos. Para este trabalho, entretanto, buscou-se utilizar uma sequência de atividades que permitiram aos licenciandos vivenciar e, ao mesmo tempo, avaliar uma *sequência didática* que possibilitasse repensar a relação de *transmissão-recepção* do conhecimento que ainda se faz presente na maioria das salas de aula.

A expressão *sequência didática* é utilizada neste trabalho com sentido próximo ao proposto por Oliveira (2013), referindo-se a um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a concretização de alguns objetivos educacionais, tendo um princípio e um fim conhecido tanto pelo professor-pesquisador quanto pelos licenciandos. Isso colocou em evidência as ações orquestradas em sala de aula pelo professor, de modo que ao longo do trabalho os licenciandos tiveram a oportunidade de passar por diversas etapas e, ao finalizá-las, analisaram o processo vivenciado durante as aulas.

Tendo em vista o trabalho realizado na Educação Básica ou na formação inicial dos professores de Química, a principal vantagem em se utilizar *sequências didáticas* é prever com certa segurança o que pode ser feito em cada aula e nas etapas seguintes. Isso ajuda a determinar com mais facilidade quais materiais ou fontes de informações são necessários para que esse processo se desenvolva.

Cabe ressaltar ainda que um trabalho dessa natureza, em que o professor busca orquestrar as atividades por meio de uma proposta diferenciada em uma sala de aula, pode apresentar situações inusitadas que, a priori, deverão ser mediadas nesse espaço. Para isso, é importante que o professor lance mão do seu repertório profissional, ou crie novas estratégias que expandirão naturalmente o repertório já existente, buscando articular os conhecimentos e mediar as dificuldades que surgirem. Um professor que tenha o domínio das diferentes formas de mediação do conhecimento pode assumir a sala de aula muito mais seguro e ser capaz de intervir efetivamente nesse espaço, favorecendo aos estudantes uma maior possibilidade de compreender os conteúdos apresentados.

Também é preciso ter consciência de que algumas atividades previstas podem não ser realizadas ou deverão ter a sua data de execução alterada ao longo do trabalho. São as dinâmicas em sala de aula e as necessidades de aprendizagem dos estudantes que determinarão essa agenda de trabalho. Uma *sequência didática* com duração de sete semanas, como a que foi proposta nesta pesquisa, tem muitas variáveis e implica tomar inúmeras decisões ao longo de sua execução. Na Figura 05, as aulas ministradas foram esquematizadas na ordem em que ocorreram, buscando favorecer o entendimento da *sequência didática* aqui proposta.

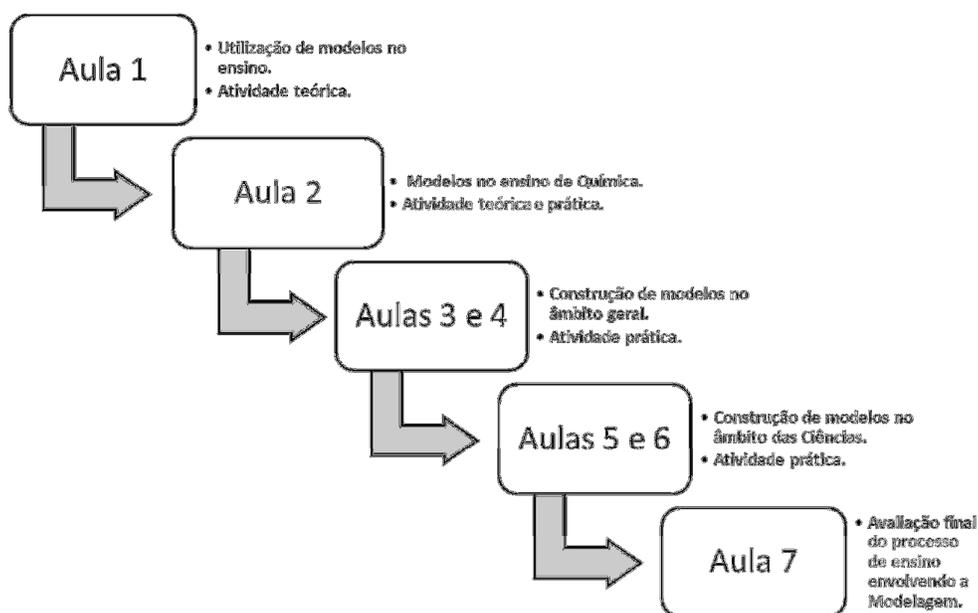


Figura 05. Esquema representativo da sequência de aulas que envolveram as atividades de Modelagem.

3.2. INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Em relação à coleta de dados, todas as aulas foram filmadas, englobando tanto as partes expositivas quanto as discussões nos grupos de trabalho ocorridas quando o professor fazia as intervenções junto aos mesmos. Com isso, buscou-se registrar os aspectos conceituais, atitudinais e procedimentais estabelecidos na interação com o grupo e com o professor, acumulando subsídios para analisar a proposta investigativa aqui desenvolvida. Para tanto, foram apresentadas questões desafiadoras que colocaram os licenciandos frente a situações de ensino em que teriam de apresentar

propostas para a mediação do conhecimento, pensando na construção e uso de modelos que auxiliassem a descrever alguns processos termoquímicos (transformações químicas endotérmica e exotérmica).

Além da gravação em vídeo, foram coletados dados escritos por meio das atividades realizadas durante as aulas (Apêndice III, IV, V e VI). Os dados coletados por essas duas fontes principais, associados às notas de campo e conversas informais ocorridas durante as aulas, foram procedimentos complementares cujos registros ajudaram a aprimorar as interpretações realizadas, o rigor da pesquisa e a validação interna dos dados, por meio de combinação e contraposição deles.

De acordo com Gatti (2004) e Yin (2011), é possível distinguir três tipos de dados, para os quais há tratamentos específicos: os *categóricos*, os *ordenados* e os *métricos*. No presente trabalho, serão utilizados os dados *categoriais*, ou seja, aqueles possíveis de serem apresentados em forma de classificações (classes), permitindo verificar a sua frequência. A categorização das respostas permite agrupamentos segundo algum tipo de característica específica, possibilitando a discriminação e o cruzamento das categorias, o que pode favorecer um maior detalhamento das informações coletadas.

Nesta pesquisa, fez-se a categorização das respostas escritas apresentadas pelos licenciandos na avaliação final do processo. Cabe ressaltar que a escolha pelo tratamento categorial dos dados escritos se apoia, inicialmente, na possibilidade de se agrupar as ideias dos licenciandos, favorecendo assim a apresentação e discussão dos resultados. Além disso, a avaliação final da disciplina representou uma continuidade das atividades articuladas em sala de aula, de modo que essa possibilidade de tratamento dos dados favoreceu o estabelecimento de relações com as dinâmicas interativas de construção social do conhecimento científico.

Assim, os dados escritos da avaliação final foram organizados e analisados de acordo com cada questão de pesquisa. Cabe ressaltar que a análise dos resultados descreve um importante movimento de metarreflexão sobre a situação-problema estudada, de modo a avaliar se foi possível aos licenciandos em Química articularem questões relacionadas: (i) à mediação do conhecimento científico em sala de aula; (ii) à

construção coletiva de significados, com vistas à possibilidade de interconverterem as habilidades mediacionais e os conceitos científicos abordados; e (iii) ao estabelecimento de interações discursivas, de modo a permitir uma maior circulação de ideias, favorecendo o processo de construção coletiva do conhecimento científico.

Nesse momento, é importante destacar que a presente pesquisa teve o seu foco voltado para a influência que o processo de Modelagem pode exercer na formação inicial dos professores de Química, considerando as propostas de mediação do conhecimento apresentadas pelos licenciandos. Cabe ressaltar que, ao vislumbrar os dados, foi possível encontrar outras possibilidades de análise, tais como as interações discursivas em sala de aula e a utilização de ações multimodais, com especial atenção para os gestos. De acordo com Kress et al. (2001), é possível destacar em uma pesquisa duas perspectivas de análise: o *foreground* (1º plano – aquele que se sobressai) e o *background* (2º plano – aquele que perpassa todo o trabalho, sem ter o enfoque principal voltado para ele). Além disso, em uma pesquisa é possível privilegiar a escala macro (o espaço da Escola e sala de aula como um todo) e a escala micro (as análises pormenorizadas dos gestos, interações, modelos produzidos etc.).

Em relação às aulas, todas elas foram transcritas, incluindo alguns dos gestos realizados pelos licenciandos no momento em que eles buscavam apresentar e discutir seus modelos. Os usos de múltiplas fontes (notas de campo, filmagens, materiais escritos) e de diferentes analistas para os dados (autor e orientador do trabalho) permitiu o processo de triangulação. Eventuais desacordos entre os pesquisadores foram discutidos para se obter um consenso, de modo a ter garantida a validade interna da pesquisa (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

Durante a realização das atividades em sala de aula e a coleta dos dados, os licenciandos da turma estavam dispostos em sete grupos de trabalho (G1 a G7), que se arranjaram sem a intervenção do professor, de acordo com a afinidade estabelecida entre seus componentes, apresentando uma disposição representada na Figura 06. Cabe ressaltar que o espaço físico era o de uma sala de aula normal, com carteiras móveis que permitiam os agrupamentos.

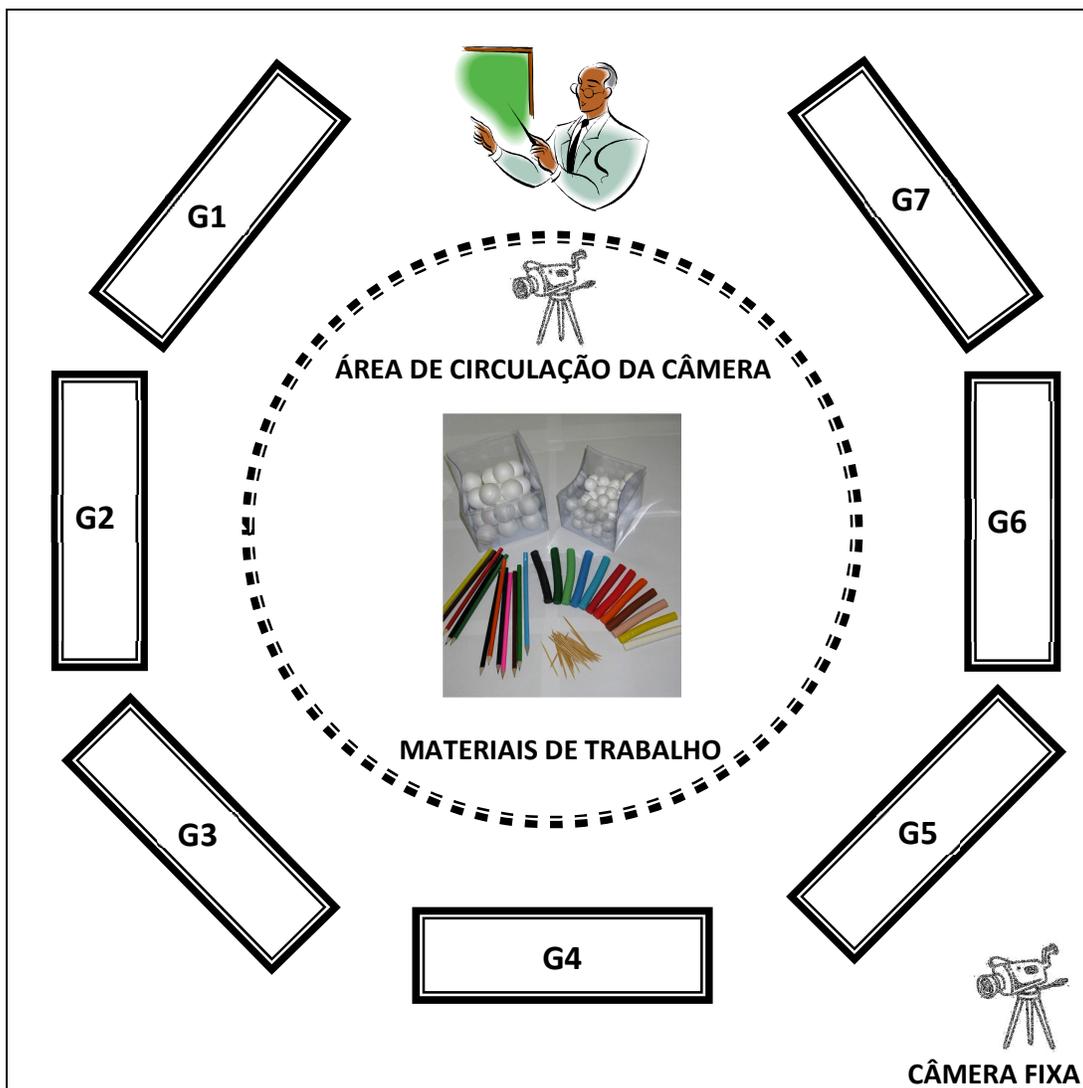


Figura 06. Disposição dos grupos de trabalho na sala durante a coleta dos dados.

Por fim, somente os dados da câmera móvel foram analisados. Isso porque o excesso de ruídos durante as discussões nos grupos não possibilitou a compreensão das interações capturadas pela câmera colocada no fundo da sala. Além disso, o único grupo que estava próximo da câmera (Grupo 5) não apresentou um entrosamento entre os seus três componentes, de modo a terem interações muito discretas e pouco representativas. Sobretudo porque quando esses licenciandos pensavam na atividade sem a presença do professor para mediar as discussões, as ideias não circulavam no grupo. Essa dificuldade de interagir foi abordada por um dos licenciandos (L3G5) e discutida na aula em que ocorreu a socialização dos modelos.

3.3. ANÁLISE DAS TRANSCRIÇÕES

Nas transcrições das aulas que serão apresentadas durante a análise e discussão dos dados, buscou-se manter fidelidade ao que foi expresso pelos licenciandos, descrevendo alguns dos gestos e das ações que eram realizados concomitantemente à fala. Transcreveu-se os termos e as ações realizadas exatamente da forma como foram expressos, corrigindo-se apenas eventuais erros de concordância. Além disso, buscou-se apresentar uma sequência de turnos de fala com início e fim bem delimitados, possibilitando compreender as ações propostas e o que foi enunciado a partir delas.

Com o objetivo de simplificar o processo de transcrição e favorecer a compreensão do leitor, utilizou-se como referência o sistema de códigos proposto por Buty e Mortimer (2008) para registrar a pontuação proveniente da língua oral. De acordo com essa proposta, para indicar uma mudança no tom da fala, indicativo de uma pergunta, foi mantido o ponto de interrogação (?), sempre que a entonação assim indicava. A barra (/) demarca uma pausa de pouca duração. Quando a pausa dura mais de um segundo, indicou-se a duração entre parêntesis e demarcou essa parada com uma barra dupla (//). O colchete [] apresenta comentários inseridos durante a análise, para fornecer o contexto, apresentar palavras que não foram expressas ou corrigir ideias equivocadas. O uso do duplo parêntese (()) indica uma fala do professor-pesquisador.

Por fim, as etapas de análise dos dados em vídeo envolveram, de acordo com Erickson (2006): (i) a *análise molar* (geral); e (ii) a *análise molecular* (refinamento). Nessas duas etapas, os dados foram triangulados entre os pesquisadores envolvidos.

4. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES RELACIONADAS À SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA

A *sequência didática* utilizada nesta pesquisa foi aplicada durante sete aulas de cem minutos, que incluiu: (i) discussões de textos em sala de aula; (ii) atividades formativas relacionadas à construção social de modelos, o que envolveu a discussão

das estratégias de Modelagem no âmbito teórico e prático; e (iii) avaliação final do processo.

A descrição inicial das aulas e de alguns aspectos sobre os objetivos das mesmas em relação ao processo de ensino serão apresentados nos Quadros 01, 02 e 03. Essa descrição preliminar tem o objetivo de proporcionar uma noção geral da *sequência didática* utilizada nesta pesquisa, para que seja possível ao leitor do trabalho compreender com maior clareza os aspectos da pesquisa que serão destacados durante o processo de análise dos dados.

Ordem das aulas	Atividades propostas	Descrição das atividades
1ª	<i>Utilização de modelos no ensino (atividade teórica)</i> (Apêndices I e II)	Discussão de aspectos relacionados: (i) à importância dos modelos no ensino em geral e nas Ciências; (ii) ao processo de reconstrução de modelos; e (iii) ao papel do erro como possibilidade de se construir novos conhecimentos no campo das Ciências, de modo a não associar o erro ao fracasso.
2ª	<i>Modelos no ensino de Química (atividade teórica e prática)</i> (Apêndice III)	Discussão dos objetivos para o ensino de Ciências, baseados em Hodson (1992): <i>aprender Ciências, aprender sobre Ciências e fazer Ciências</i> . Análise de alguns modelos presentes em livros didáticos, destacando os aspectos positivos e negativos dos mesmos e as possibilidades de mediação do conhecimento pelo professor em sala de aula, tendo em vista as representações imagéticas como recursos para a construção do conhecimento científico.
3ª e 4ª	<i>Atividade prática de construção social de modelos no âmbito geral (Modelagem)</i> (Apêndice IV)	Construção de uma possível explicação para o modo como os dados são armazenados no interior de um <i>CHIP</i> utilizado em telefones celulares, aparelhos reprodutores de música, câmeras digitais, dentre outras tecnologias. Discussão dos modelos elaborados pelos grupos de licenciandos na turma (socialização das ideias).

Quadro 01. Descrição das atividades de ensino 1 a 4 (Apêndices I a IV).

A atividade de Modelagem que será apresentada no Quadro 02 se refere à parte final dessa *sequência didática* (5ª e 6ª Aulas), quando os licenciandos foram confrontados com situações que poderiam necessitar deles tomadas de decisão frente ao processo de construção do conhecimento científico em sala de aula.

Ordem das aulas	Atividade proposta (Apêndice V)	Descrição das atividades
5ª	<i>Apresentação de uma situação-problema a ser mediada pelo professor em sala de aula</i>	Nessa aula, os licenciandos foram desafiados a refletir sobre uma determinada situação que exigiria deles a articulação de alguma estratégia para mediar o conhecimento científico em sala de aula, sendo esse conhecimento relacionado aos aspectos termoquímicos das transformações químicas.
	<i>Atividade associada à construção social de modelos para explicar a energia envolvida nas transformações químicas apresentadas</i>	Nesse momento, os licenciandos tiveram a oportunidade de repensar o significado do conceito de calor e, na sequência, criaram modelos para os fenômenos experimentais descritos na atividade: um processo endotérmico e outro exotérmico.
6ª	<i>Propondo um modelo consensual para a turma (Socialização das ideias por meio da externalização dos modelos)</i>	Baseados nos modelos elaborados anteriormente, os licenciandos discutiram suas ideias e buscaram reformular as propostas iniciais. Na sequência, os modelos foram socializados com toda a turma, buscando chegar a um que fosse consensual. Além disso, discutiu-se sobre a evolução do pensamento científico, além das limitações dos modelos (em geral e do modelo consensual recém elaborado).

Quadro 02. Descrição da atividade relacionada à construção social de modelos e mediação do conhecimento científico (Apêndice V).

Para que o leitor tenha uma melhor compreensão do processo empreendido na turma da licenciatura em Química, a seguir serão ressaltados mais alguns detalhes das atividades desenvolvidas.

4.1. PRIMEIRA AULA – UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO (APÊNDICES I E II)

Nessa aula foi abordada a importância dos modelos em geral e, especificamente, no ensino de Ciências. Em seguida realizou-se uma discussão sobre o processo de construção de modelos, que passa por etapas de testes até o momento em que um modelo ou ideia consegue explicar determinada situação ou processo. Ao final foi levantada uma oportuna questão para ser refletida em processos de ensino que perpassam a construção coletiva de conhecimento: o erro deve ser valorizado pelo professor como uma possibilidade de o estudante aprender sempre mais de um determinado assunto, podendo se apropriar de aspectos que ainda não se apresentavam de forma clara. Assim, em situações de ensino tal como a que este trabalho propõe analisar, o erro ou as ideias que inicialmente se mostram equivocadas

não deveriam estar associadas ao fracasso. É necessário que o professor conduza as atividades dando a possibilidade de os estudantes refletirem sobre o processo de ensino no qual estão envolvidos, de modo a compreenderem a importância de se aprimorar as ideias por meio da interação social estabelecida na sala de aula.

4.2. SEGUNDA AULA – ATIVIDADE TEÓRICA E PRÁTICA RELACIONADA À UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA (APÊNDICE III)

Com essa atividade, buscou-se abordar a importância de se promover uma discussão e análise crítica dos modelos utilizados nas Ciências, considerando suas limitações e os contextos de uso. Além disso, discutiu-se que o *fazer Ciências* representa uma atividade dinâmica, interativa e reflexiva, apresentando ações que favorecem a construção coletiva do conhecimento. Assim, destacou-se a importância de se compreender, de acordo com Hodson (1992), o sentido do: (i) *aprender Ciências*; (ii) *aprender sobre Ciências*; e (iii) *aprender a fazer Ciência*.

Após essa discussão, foram apresentadas aos licenciandos sete imagens retiradas de livros didáticos de Química utilizados no Ensino Médio. Solicitou-se, em seguida, que fossem analisadas e comentadas cada uma das imagens, destacando aspectos positivos e negativos das mesmas, tendo em vista sua utilização como modelos para se ensinar conteúdos da Química. As referidas imagens buscavam representar os seguintes fenômenos/processos que se passam em escala submicroscópica: (i) mudanças de estado físico da água; (ii) explicação para os desvios das partículas alfa ao serem incididas sobre uma lâmina de ouro (experiência cuja interpretação do resultado deu origem ao modelo atômico proposto por Rutherford); (iii) proposta para explicar a ocorrência de uma reação química ($H_2 + I_2 \rightarrow 2 HI$); (iv) processos de oxi-redução que ocorrem em uma placa metálica de Zinco; (v) sistemas líquidos contendo água pura e duas soluções com concentrações diferentes de açúcar; (vi) charge para ilustrar o estabelecimento de uma ligação química; e (vii) analogia para explicar o deslocamento do equilíbrio químico.

As análises dos modelos foram feitas considerando algumas das discussões realizadas nas aulas anteriores sobre as concepções alternativas dos estudantes em

alguns conteúdos da Química, tais como transformações químicas, equilíbrio químico, ligações químicas e interações intermoleculares. Durante a análise dos modelos, os licenciandos deveriam considerar aspectos como: clareza e objetividade das representações; condições para leitura das mesmas; relações com os conteúdos químicos; limitações e abrangências das representações.

Posteriormente, o professor mediu a discussão com todo o grupo, buscando socializar as diferentes visões sobre os modelos analisados pelos licenciandos, além de debater a importância de se apresentar em sala de aula a relevância, as possibilidades e as limitações na utilização dos diferentes modelos no contexto das Ciências.

4.3. TERCEIRA E QUARTA AULAS – ATIVIDADE DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO ÂMBITO GERAL (APÊNDICE IV)

Com o objetivo de introduzir os licenciandos do curso de Química em práticas relacionadas à construção de modelos, foi proposta uma atividade (Apêndice IV) que buscou trazer alguns dos princípios da Modelagem para o trabalho realizado na disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química II*. Pretendia-se com isso favorecer o desenvolvimento de importantes habilidades relacionadas à construção social do conhecimento científico, que foram posteriormente articuladas em uma atividade de Modelagem no campo da Química (Apêndice V).

Pensando-se em uma tecnologia amplamente difundida na sociedade, foi solicitado aos licenciandos que propusessem explicações para o armazenamento de informações nos CHIPS. Para tal, eles foram confrontados com questões relacionadas ao modo como uma foto, música ou vídeo podem ser armazenados no interior de um CHIP de celular. Dentre as questões apresentadas, destacam-se: *Um CHIP vazio pesa mais ou menos que um cheio? O armazenamento é físico ou não? Como essas informações são decodificadas nesse aparelho, de modo a se ter acesso a elas?*

Como essas respostas não eram conhecidas por eles nem pelo professor, foi necessário refletir sobre algumas possibilidades que favorecessem a elucidação desses questionamentos. Para que isso se efetivasse em sala de aula, estabeleceu-se uma discussão, com o compartilhamento de ideias que se complementavam.

O professor mediou todo o processo, deixando claro ao final da atividade que o importante é o modelo proposto conseguir explicar satisfatoriamente a situação em questão. Nem sempre o modelo conseguirá explicar, de forma correta, todos os atributos desejados, necessitando constantemente ser reavaliado e aprimorado.

4.4. QUINTA E SEXTA AULAS – ATIVIDADE PRÁTICA ASSOCIADA À ELABORAÇÃO DE MODELOS PARA EXPLICAR OS PROCESSOS ENDOTÉRMICO E EXOTÉRMICO (APÊNDICE V)

Essa aula começou com a apresentação de dois experimentos, de forma apenas descritiva. O primeiro representava uma transformação química caracterizada como endotérmica, resultante da reação do tiocianato de amônio (NH_4SCN) com o hidróxido de bário hidratado [$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$]. No segundo experimento descreveu-se a carbonização do açúcar ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), quando a ele se adicionou ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Após a mistura, verificou-se que essa reação foi acompanhada pela liberação de vapor d'água e trióxido de enxofre (SO_3), sendo esse último gás percebido pela sensação irritante que causa nos olhos, nas vias orais e nasais. A liberação desses gases fez com que o carbono presente no sistema expandisse consideravelmente o seu volume no interior do béquer.

Na sequência da atividade, foram apresentados os seguintes questionamentos oriundos de estudantes do Ensino Médio que haviam observado essas transformações químicas: (i) *Como o sistema pode ter resfriado se ele não foi colocado na geladeira?*; (ii) *Como o sistema pode ter esquentado se ele não foi submetido ao aquecimento?*; (iii) *Qual a origem do calor proveniente da reação entre o ácido sulfúrico e o açúcar?*; e (iv) *Como uma transformação química endotérmica pode acontecer espontaneamente, tal como destacado na reação entre o tiocianato de amônio e cloreto de bário hidratado, se os produtos estariam com mais energia que os reagentes nesse caso?*

Diante desses questionamentos, os licenciandos deveriam assumir a posição do professor e tentar utilizar os *modelos concretos* ou outros recursos para propor formas de mediar o conhecimento, de modo a elucidar as dúvidas apresentadas pelos estudantes. Inicialmente, eles foram conduzidos a pensar sobre o calor, considerando as situações verificadas nos experimentos em questão. Foi solicitado também que

tentassem explicar a *origem* do calor envolvido nos processos termoquímicos. Essa questão teve como objetivo principal garantir que os licenciandos expressassem suas ideias sobre o calor relacionado às transformações químicas, em nível submicroscópico, caso ainda não tivessem pensado nisso ao responder à questão anterior. Nesse momento, eles foram conduzidos a refletir sobre alguns aspectos fundamentais que perpassam as transformações químicas, tais como a estabilidade dos compostos formados e a espontaneidade do processo, além do dinamismo das transformações e as limitações na sua representação.

Após a elaboração do *modelo consensual* do grupo, ele foi apresentado para a turma. Nesse processo não houve qualquer intervenção por parte do professor-pesquisador no sentido de corrigir os modelos propostos. Foram feitas interferências apenas para confrontar as diferenças entre os modelos e levantar questões sobre os aspectos envolvidos na construção dos mesmos que pudessem contribuir para a explicação das ideias discutidas em cada grupo.

Por fim, cabe ressaltar que essa atividade foi estruturada considerando as principais etapas propostas para o processo de Modelagem, que foram contextualizadas em uma situação-problema possível de acontecer em sala de aula, e que demandaria a mediação do professor de Química junto aos estudantes. Todo esse processo será apresentado e discutido em detalhes no próximo capítulo.

4.5. SÉTIMA AULA – AVALIAÇÃO FINAL DO PROCESSO DE ENSINO (APÊNDICE VI)

Buscando-se propor um instrumento avaliativo para aferir como as discussões realizadas em sala de aula podem ser articuladas pelos licenciandos em certas situações de ensino, foi elaborada uma atividade final cujo objetivo foi o de pensar nas diferentes ideias discutidas ao longo das aulas (Apêndice VI). Esse tipo de atividade é caracterizada por Romão (2003) como *avaliação dialógica*, em que o foco se encontra na retomada das propostas trabalhadas em sala de aula, sendo possível desenvolver uma reflexão sobre o processo vivenciado. Isso pode permitir aos licenciandos uma melhor compreensão da Modelagem, além de analisarem criticamente as ações propostas em torno dos modelos elaborados pelos grupos.

Tal atividade representou a avaliação final do curso de *Instrumentação para o Ensino de Química II*. As questões propostas serão descritas, de forma sucinta, no Quadro 03, considerando os seus objetivos, os conteúdos aos quais se relacionam e algumas das habilidades avaliadas durante o processo de ensino. Cabe ressaltar ainda que essa foi a única atividade do processo de Modelagem valorizada na disciplina, com atribuição de dez pontos. Entretanto, o professor deixou claro que seriam consideradas todas as ideias expressas, tal como no processo de Modelagem articulado em sala de aula.

Ordem das Questões	Descrição da Questão		Objetivos
	Conteúdos	Habilidades	
1ª	Energia envolvida nas transformações químicas	Elaborar propostas para mediar o conhecimento científico junto aos estudantes da educação básica, favorecendo uma tomada de consciência frente às ideias apresentadas em sala de aula.	Avaliar o modo como os licenciandos em Química poderão articular/mediar diferentes situações de ensino em sala de aula quando confrontados com elas, considerando as discussões das aulas de <i>Instrumentação para o Ensino de Química II</i> e as atividades de Modelagem realizadas.
2ª	Energia envolvida nas transformações químicas	Desenvolver uma apreciação crítica sobre a linguagem utilizada pelos professores durante o processo de construção do conhecimento científico e também pelos materiais didáticos utilizados como apoio.	Favorecer aos licenciandos uma reflexão sobre o processo de atribuição de sentidos na sala de aula e apropriação dos conhecimentos científicos pelos estudantes, evitando desenvolver compreensões incorretas sobre o conteúdo estudado, tal como o desenvolvimento de concepções <i>substancialistas</i> para o calor.
3ª	Energia envolvida nas transformações químicas	Elaborar propostas para mediar o conhecimento científico junto aos estudantes da educação básica, favorecendo uma tomada de consciência frente às ideias apresentadas em sala de aula.	Perceber de que maneira os licenciandos podem articular/mediar essa situação em sala de aula, considerando as discussões nas aulas e as atividades de Modelagem realizadas.
4ª	Energia envolvida nas transformações químicas e sua relação com a energia de ligação	Representar a transformação química por meio de modelos, organizando as ideias e propondo explicações para o referido processo químico, além de associá-lo com os dados quantitativos.	Permitir aos licenciandos estabelecerem relações entre os valores da energia de ligação e as variações de energia nas transformações químicas (calor absorvido e liberado pelo sistema), sendo capazes de efetuar os cálculos que conduzam ao saldo energético final do processo.
5ª	Transformações químicas	Realizar uma análise crítica dos modelos elaborados por outros estudantes para tentar explicar a ocorrência das transformações químicas.	Favorecer que os licenciandos avaliem criticamente alguns modelos e as possíveis limitações inerentes a representação de cada um deles.
6ª	Representação das transformações químicas	Refletir sobre a temática em estudo 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 03. Descrição das questões apresentadas na Avaliação Final (Apêndice VI).

CAPÍTULO 5 – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS PROPOSTAS DE MEDIAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO APRESENTADAS NAS AULAS

“O primeiro objetivo de qualquer ato de aprendizagem, acima e além do prazer que nos possa dar, é o de que deverá servir-nos no presente e valer-nos no futuro. Aprender não deve apenas levar-nos até algum lugar, mas também permitir-nos, posteriormente, ir além...”

Jerome S. Bruner

Neste capítulo serão apresentados os dados oriundos das filmagens e dos materiais escritos produzidos durante as aulas. Os resultados da Atividade 3, em que foi abordada a importância de se promover a discussão e análise crítica dos modelos utilizados no ensino de Ciências, não serão apresentados. Isso se justifica pelo fato de a análise crítica dos *modelos de ensino* propostos em livros didáticos não representar o foco principal da presente pesquisa¹⁶. Dessa forma, serão discutidos aqui apenas os resultados das Atividades 4 e 5, sendo esta última relacionada ao objetivo do trabalho: *investigar as propostas apresentadas pelos licenciandos em Química para mediar o conhecimento científico no Ensino Médio, a partir de atividades que envolveram a construção social de modelos (Modelagem)*. Convém antecipar que a análise mais detalhada desses dados será realizada no Capítulo 6, em diálogo com a avaliação final e com cada uma das questões de pesquisa propostas.

Assim, cabe esclarecer que nas seções deste capítulo será feita uma *análise molar* dos episódios demarcados, de acordo com Erickson (2006), ficando reservada para o Capítulo 6 uma análise mais pormenorizada do processo vivenciado pelos licenciandos (*análise molecular*), em diálogo com os referenciais teóricos. Isso se justifica pela opção em apresentar inicialmente as principais discussões e contribuições dos sete grupos durante as atividades de Modelagem, buscando assim valorizar as diferentes ideias levantadas ao longo das aulas e verificar como elas convergiram para a definição do *modelo consensual* da turma.

¹⁶ A discussão detalhada da Atividade 3 se encontra disponível em Souza e Aguiar Jr (2012).

1. AULAS 3 E 4: INTRODUÇÃO PRÁTICA AO TRABALHO DE CONSTRUÇÃO SOCIAL DE MODELOS – MODELAGEM PARA EXPLICAR O ARMAZENAMENTO DE INFORMAÇÕES EM UM CHIP (APÊNDICE IV)

No início, o professor leu a proposta de atividade, buscando retomar algumas das discussões apresentadas nas aulas anteriores sobre o processo de construção dos modelos. Foi destacado que os modelos deveriam explicar, de forma plausível, uma determinada situação a ser modelada. Nessa fala introdutória, o professor resgatou o texto do professor Attico Chassot (Apêndice II) que trata da elaboração de um modelo para explicar o funcionamento de uma máquina para vender refrigerantes. Ao mencionar esse texto, buscou-se enfatizar a importância de testar e avaliar a coerência dos modelos que seriam elaborados durante as aulas, de modo a compreender o seu poder de predição e também as suas limitações. Após essa breve retomada das aulas anteriores, os licenciandos começaram a discutir em pequenos grupos suas ideias iniciais.

Na sequência, alguns licenciandos apontaram suas dificuldades em lidar com a referida atividade, tal como pode ser verificado nos turnos demarcados a seguir:

- (1) L2G2: [...] *então/ foram várias as dificuldades/ a gente tinha ideia nenhuma de como funcionava o CHIP/ era uma coisa que a gente não estava vendo como isso tudo acontece/ aí/ depois foi como lidar com isso/ já que eu não vejo mesmo então vamos supor qualquer coisa que explique/ satisfaça isso/*
- (2) ((Professor)): [...] *agora/ após a discussão dos modelos/ você L3G1/ acha que valeu a pena sentir essas dificuldades?/*
- (3) L3G1: *acho que sim/ porque a gente percebeu a dificuldade que é para os alunos/ assim/ mesmo quando a gente teve dificuldade para entender os modelos/ é/ para o átomo/ os modelos químicos né/ imagina se a gente chegar na sala de aula e pedir para um aluno propor um modelo que explique/ sei lá/ o átomo/ [o aluno] não vai ter a mínima ideia do mesmo jeito que a gente não tinha a mínima ideia aqui/ foi muito difícil/*

No material escrito foi apresentado o mesmo questionamento aos licenciandos: *Agora, após a discussão dos modelos, vocês acham que valeu a pena sentir tais dificuldades? Por quê?* Todos os onze grupos formados para realizar essa atividade disseram que sim, com destaque para os seguintes pontos apresentados:

- [...] *nos colocamos na posição de aluno, sentindo as dificuldades para elaborar e compreender um modelo.* (Grupo 1)

- [...] *as ideias de cada grupo se auto-complementavam após a discussão. Se algum grupo teve dificuldade, a mesma era sanada imediatamente com a exposição de outros grupos.* (Grupo 3)

O questionamento seguinte objetivou abordar um ponto prático referente à atividade proposta: *Supondo que você fosse um aluno em um processo análogo, quer dizer, aprendendo sobre algo desconhecido e tendo que fazer um modelo para isso. O que você teria aprendido nessa atividade?* As respostas mais expressivas foram as seguintes:

- *No decorrer da atividade eu iria perceber onde o modelo falha, aquilo que ele não pode explicar, eu refletiria sobre a importância dos modelos.* (Grupo 5)
- *Não é fácil propor um modelo que explique tudo.* (Grupo 7)

Durante a discussão da atividade na aula, L2G6 ressalta essa limitação dos modelos apontada pelos licenciandos dos Grupos 5 e 7, sobretudo em termos da representação dos múltiplos atributos inerentes às diferentes situações, fenômenos ou processos a serem descritos. Isso pode ser constatado por meio da seguinte fala:

- (4) L2G6: [...] *acho que permite você compreender o real conceito de modelo né/ porque igual todo mundo aqui deu várias ideias/ e algumas podem até ter se aproximado do real funcionamento/ não sei como é/ mas/ sei lá/ eu acredito que nenhuma explica realmente como funciona o CHIP/ então o aluno cria/ é/ o aluno entende verdadeiramente o conceito de modelo/ ele não é a realidade/ mas ele explica/ é/ ele funciona/ ele é útil quando ele explica algumas coisas/*

Essa discussão, associada ao trabalho realizado nas aulas anteriores, permitiu aos licenciandos maior clareza no entendimento dos modelos enquanto recursos para mediar o conhecimento científico, considerando que o processo formativo favoreceu uma compreensão mais aprimorada dos modelos utilizados nas Ciências.

Por fim, questionou-se aos licenciandos o seguinte: *Após a realização dessa atividade, que diferença você percebe entre receber um modelo pronto e elaborar um modelo?* Seguem as respostas que apontaram as ideias mais expressivas:

- *A diferença está no fato de que quando recebemos algo pronto, não levamos em consideração o processo pelo qual aquele modelo foi construído. Consideramos esse modelo suficiente para explicar os fenômenos pelos quais necessitamos de respostas. Quando criamos um modelo, nós nos inserimos no processo de construção de forma ativa, deixando sempre um espaço no mesmo que o permita ser reformulado.* (Grupo 3)

- *Ao elaborar um modelo, lidamos com a real dificuldade em se explicar uma questão e de que modo tentar explicar a observação se torna algo significativo. Modelos prontos já trazem uma ideia, que algumas vezes, mesmo explicando a observação, podem apresentar dificuldades na aceitação do modelo. (Grupo 9)*

Assim, na discussão realizada em sala de aula, alguns licenciandos destacaram a relevância da mediação social do professor durante o processo de elaboração dos modelos, sem que o mesmo seja apresentado pronto aos estudantes, em uma relação direta que pode ser caracterizada como *transmissão-recepção* do conhecimento:

- (5) L3G3: *eu quando estou elaborando o modelo/ ele explica para mim/ ele faz sentido/ então para mim ele vai ser útil/ talvez/ o modelo fornecido/ talvez pelo professor/ continua não me explicando nada/ eu não consigo assimilar o modelo dele/ então não tem utilidade [...]/*
- (6) ((Professor)): *ótimo/ falou algo importante também/ a partir do seu modelo buscar uma explicação/ na sala de aula/ o que o professor deve fazer quando os alunos apresentam seus modelos/ e naquele momento ele percebe que o modelo não é o correto? [...]/ o que o professor tem que fazer para que naquele momento o meu modelo/ que não é o modelo científico/ se torne o modelo científico?/*
- (7) L3G1: *[...] propor uma questão para o aluno que ele não consiga responder com aquele modelo que ele propôs/ porque aí ele vai tentar melhorar/ aperfeiçoar o modelo/ sei lá/*

Considerando os turnos demarcados anteriormente e o processo vivenciado, é importante reconhecer que os testes com os modelos representam uma importante etapa no processo de Modelagem, sobretudo quando se busca construir conceitos científicos. Isso porque eles permitem articular ideias que conduzem à rejeição ou ao aprimoramento do modelo elaborado pelo grupo. Tendo em vista essa questão, cabe ressaltar que na atividade de Modelagem discutida para o CHIP, a etapa de teste ficou limitada, considerando tanto a ausência de conhecimentos científicos básicos sobre o tema (imprescindíveis para a elaboração de ideias que se aproximam do *modelo científico*), quanto o tempo disponibilizado para buscar informações e a complexidade do processo a ser explicado pelo modelo. Apesar dessa lacuna, considera-se que o propósito da atividade foi cumprido: permitir uma discussão preliminar sobre modelos e Modelagem.

Por fim, essa atividade se encerra e na mesma aula inicia-se a discussão da Atividade 5 (Apêndice V), referente ao processo de Modelagem no campo da Química.

2. FINAL DA AULA 4: MODELAGEM PARA EXPLICAR A ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS EXOTÉRMICA E ENDOTÉRMICA (APÊNDICE V)

Inicialmente, os licenciandos foram orientados pelo professor a se reorganizarem em grupos com no máximo cinco componentes cada. Nesse momento, originaram-se sete grupos, sendo quatro deles com quatro licenciandos, um grupo com cinco e dois grupos com três. Em seguida, a proposta de atividade (Apêndice V) foi apresentada pelo professor, com uma descrição detalhada do que deveria ser feito. Nessa atividade, o professor chamou a atenção para alguns questionamentos apresentados por estudantes do Ensino Médio, com destaque para aqueles que abordavam questões substancialistas relacionadas ao calor, situação essa que aparece frequentemente em sala de aula quando se discute o conteúdo de Termoquímica.

De acordo com a atividade proposta, os licenciandos deveriam se colocar no lugar de um professor do Ensino Médio para propor possibilidades de mediação do conhecimento científico diante das situações-problema apresentadas. Para isso, teriam a possibilidade de elaborar modelos utilizando os materiais concretos disponibilizados em sala de aula, tais como esferas de isopor, palitos de madeira, massa de modelar e lápis de cor, além de outros recursos que julgassem adequados.

Na sequência, o professor pediu aos licenciandos que discutissem nos grupos as questões referentes à Atividade 5, ressaltando que em seguida eles deveriam propor modelos para explicar os processos termoquímicos apresentados. Tais modelos deveriam favorecer a mediação do conhecimento científico em sala de aula e ajudar os estudantes a compreender aspectos do que se desejava ensinar (*energia envolvida nas transformações químicas*). Dadas essas orientações, o professor passou em alguns grupos para levantar as impressões iniciais dos licenciandos sobre a atividade proposta e discutir as primeiras ideias. Cabe destacar que nesse momento inicial os licenciandos não utilizaram os materiais concretos para elaborar seus modelos. Isso foi feito apenas na aula seguinte.

Nas transcrições que serão apresentadas ao longo do presente capítulo, optou-se por incluir os dados dos sete grupos, considerando: (i) o envolvimento com a

proposta; (ii) as novidades em termos das ideias apresentadas e discutidas; e (iii) as oportunidades de formação criadas ao longo das discussões.

A seguir, será apresentada a discussão inicial realizada pelo Grupo 6 sobre a relação energética envolvida nas transformações químicas e a complexidade para se ensinar o conceito de calor a um estudante do Ensino Médio:

- (1) L1G6: [...] *descobri que eu não sei ensinar o aluno de Ensino Médio/*
- (2) ((Professor)): *você não sabe explicar/*
- (3) L1G6: *isso para um aluno de Ensino Médio/*
- (4) L2G6: *nem para mim mesma eu estou conseguindo explicar mais/*
- (5) L1G6: [...] *eu tenho isso muito claro pra mim/ mas acho que o meu conceito é muito difícil para explicar para qualquer outra pessoa [se refere a um modelo mais sofisticado, estudado nas disciplinas de Físico-Química ou na Iniciação Científica¹⁷]/ depois disso eu acho que eu complico as coisas/*
- (6) ((Professor)): *conta pra gente qual é o objetivo dos modelos/*
- (7) L1G6: *facilitar/ só que eu não sei voltar no modelo inicial [se refere a uma ideia simplificada para ser discutida com os estudantes do Ensino Médio]/ entendeu?/*
- (8) ((Professor)): *mas essa palavra calor é o quê?/*
- (9) L1G6: *então/ nada/ não existe/ [risos dos demais componentes do grupo]*
- (10) ((Professor)): *então vamos para o senso comum/ quando você diz/ estou com muito calor/ o que significa isso para você?/*
- (11) L1G6: *a temperatura/ uai/ não/ que a sensação térmica que a pessoa tem em relação ao ambiente/ é de que a temperatura de lá está maior do que a do corpo dela/*
- (12) L2G6: *então/ a energia em trânsito funciona/ se você está perdendo calor/ você está sentindo frio/*
- (13) ((Professor)): [...] *o que seria calor? [o professor insiste no questionamento]/*
- (14) L1G6: [...] *no colegial eu tinha até conseguido aprender calor/ calor é energia que transita entre corpos com temperaturas diferentes/*
- (15) ((Professor)): *mas agora/ como é que isso se aplica no contexto de uma transformação química?/ será que o calor está lá e ele passa de um corpo para o outro?/ o aluno perguntou uma coisa importante [retoma o questionamento apresentado na Atividade 5]/ ele perguntou assim/ mas espera aí/ como ele [o sistema] pode ter aquecido se não levou ao fogo?/*
- (16) L1G6: *então/ está vendo?/ não tem diferença de temperatura entre os corpos/ não existe isso/ porque não tem corpos diferentes/ é um sistema só/*

¹⁷ Na ocasião em que os dados foram coletados, L1G6 fazia Iniciação Científica em Físico-Química Teórica, trabalhando com *Modelagem Computacional* para descrever processos Termodinâmicos.

- (17) ((Professor)): *mas como é que essa temperatura mudou?/*
- (18) L1G6: *porque para mim é energia potencial/ energia mecânica constante/ você tem energia mecânica/ que é energia cinética mais a potencial/ a potencial caiu/ ficou uma energia residual/*
- (19) ((Professor)): *então/ é coerente falar que a energia está armazenada?/ guardada?/*
- (20) L1G6: *pode ser/ é o menos pior de todos eles/*
- (21) ((Professor)): *mas se ela está guardada/ ela sai de lá como?/*
- (22) L1G6: *[...] explodindo/ não sei [risos]/*
- (23) ((Professor)): *[...] mas eu consigo armazenar energia?/*
- (24) L1G6: *na ligação/*
- (25) L2G6: *nas ligações/*
- (26) ((Professor)): *e é armazenada nas ligações como?/*
- (27) L2G6: *ai meu Deus [risos]/*
- (28) L1G6: *então/ volta para essa história da energia potencial/ cai toda hora na energia potencial/ você fala eu imagino/ ela vibra/ ela roda/ ela torce/ e aí?/*
- (29) ((Professor)): *boa questão/*
- (30) L1G6: *porque eu não consigo/ eu rodo eu rodo/ e chego no mesmo ponto o tempo todo/*

Na discussão anterior, os licenciandos do Grupo 6 apresentaram diferentes ideias que podem estar relacionadas à energia envolvida nos processos químicos. Destacaram a energia potencial e a energia cinética inerente às ligações químicas e o modo como essas formas de energia se associam as mudanças de temperatura resultantes dos processos químicos. Nos turnos [18]-[28] há um relevante debate nesse sentido, relacionando – ao final – a energia cinética com o movimento de vibração e torção das ligações químicas. Além desse debate, a questão do armazenamento também foi levantada pelo professor no turno [23], tendo em vista que essa ideia pode desencadear concepções substancialistas do calor junto aos estudantes, caso essa discussão não seja articulada de forma coerente na interação com os estudantes em sala de aula.

Na sequência, a discussão sobre os aspectos energéticos prosseguiu entre os licenciandos do grupo, que se referiram a exemplos práticos relacionados a algumas moléculas. A partir dessa discussão, cuja transcrição optou-se por não apresentar aqui dada a sua extensão, foi possível constatar que: (i) os licenciandos envolvidos na

discussão inicial (L1G6 e L2G6) demonstram compreender a dificuldade relativa à explicação de alguns conceitos, que se mostram complexos para serem ensinados no Ensino Médio, necessitando assim de simplificações que não os tornem incorretos, tal como discutido por Gilbert, Boulter e Elmer (2000) quando definem *modelos de ensino*; (ii) L1G6 aponta que a explicação para a liberação de calor em processos químicos estaria clara, mas a princípio não conseguiu comunicar essa ideia de forma simples, nem trazer evidências durante a sua fala que confirmassem essa afirmação; e (iii) ao discutir sobre a natureza do calor, L1G6 afirmou que “*ele não existe*”, associando-o a energia que flui entre corpos a diferentes temperaturas. A inexistência do calor, nesse caso, parece estar amparada na negação da substancialização do mesmo e no reconhecimento de que se trata de um processo de transferência de energia. Apesar disso, os licenciandos do grupo não conseguiram comunicar a ideia de liberação de calor em processos químicos de forma simples, nem trazer evidências da origem do calor liberado nesses processos.

Os licenciandos, então, procuraram utilizar a ideia relacionada à energia mecânica (potencial e cinética) para formalizarem essa primeira explicação. Quando o professor questionou se isso implicava na ideia de armazenamento da energia, L3G6 buscou identificar essa possível relação com a energia cinética (vibracional e translacional) das moléculas, mas em sua explicação não deixa claro o que é a energia potencial referida. O professor, tampouco, solicitou esclarecimentos ou deu pistas que pudessem auxiliar no desenvolvimento dessa ideia.

Entretanto, ao analisar a ação do professor ao longo da discussão inicial, percebe-se que essa poderia ser mais diretiva. Isso seria feito ao explorar um pouco melhor as ideias apresentadas, com intervenções que permitissem trazer subsídios teóricos para que os modelos fossem testados pelos licenciandos e, na sequência, verificada a sua abrangência e limitação, tal como proposto por Justi e Gilbert (2002). Isso deixaria os objetivos do processo Modelagem mais evidentes para os licenciandos nesse momento inicial. Entretanto, cabe ressaltar que a intervenção do professor nesse sentido foi mais efetiva nas aulas 5 e 6, a serem apresentadas posteriormente,

quando a atividade de construção de modelos foi resgatada pelos grupos, tendo ao final as ideias socializadas e discutidas com a turma.

Na sequência, o professor deixou a discussão prosseguir no Grupo 6 e foi para o Grupo 4, que estava mais próximo e debatia a relação de calor baseada no *modelo cinético molecular de partículas*:

- (31) L1G4: *a gente estava com uma dúvida aqui olha/ a gente não sabe se/ esse “proponha uma explicação para isso”/ no número três [lê o comando da questão]/ [...] é simplesmente falar que a energia dos produtos é maior que a energia dos reagentes/ ou outra hora que é a dos reagentes/ ou é falar porque uma hora ocorre isso e outra hora isso não ocorre?/*
- (32) ((Professor)): *a energia do produto maior que a dos reagentes lança mão de uma relação da Lei de Hess/ só que a Lei de Hess não nos permite explicar o que acontece em nível submicroscópico/ porque/ por exemplo/ eu tenho uma reação com açúcar/ coloco ácido concentrado/ libera tanta energia/ que se [o béquer] ficar na minha mão queima/ agora espera aí/ como é que uma coisa pode esquentar tanto?/ de onde veio esse calor?/*
- (33) L1G4: *reações químicas/*
- (34) ((Professor)): *sim/ as reações químicas/ mas você ainda não explicou/*
- (35) L1G4: [...] *átomos e moléculas já tem energia/ tanto é que eles estão em movimento/ [L2G4 fala junto com L1G4; ambos fazem gestos aleatórios com as mãos indicando esse movimento]/*
- (36) ((Professor)): *então quando aconteceu uma reação eles movimentaram mais ou menos?/*
- (37) L1G4: [interrompe o professor] *não/ seria?/ energia cinética?/ energia interna/*
- (38) ((Professor)): *então vamos pensar no açúcar/ qual é a agitação molecular dos cristais de sacarose/ ao ponto de liberar tanta energia que a temperatura chega a mais de 70 graus?/ [...]*

Os licenciandos do Grupo 4 se mostram reticentes frente a proposta de atividade sugerida pelo professor. Eles iniciaram sugerindo que o conhecimento canônico da Química seria suficiente para dirimir as dúvidas dos estudantes apresentadas na atividade. O professor indicou a necessidade de construção de modelos explicativos para o problema proposto: *de onde vem a energia liberada nos processos químicos*. L1G4 sugeriu que a energia estaria no movimento das partículas e o professor fez novos questionamentos. As interações seguintes ocorreram com o padrão I-R-A (*Iniciação-Resposta-Avaliação*), estando o grupo ainda reticente quanto ao problema e ao encaminhamento de proposição dos modelos, tal como foi sugerido na atividade. O professor se afastou, dando tempo para que o grupo pudesse discutir a

situação-problema. Essa ação é consistente com os propósitos da Modelagem, no sentido de permitir novas discussões entre os integrantes do grupo, potencializando assim a ação dos sujeitos na busca por construir modelos mais abrangentes para explicar os fenômenos em questão.

Na sequência, o professor buscou interagir com os licenciandos do Grupo 1, que haviam demonstrado dificuldades para iniciar a atividade:

(39) L1G1: *Está muito difícil/*

(40) ((Professor)): *vocês estão achando difícil?/*

(41) L1G1: *principalmente para desenhar/ [...] a gente pensou assim/ a gente vai desenhar as moléculas como se fossem bolinhas/ [inaudível]*

(42) ((Professor)): *[...] é uma ideia de colocar a proposta do modelo cinético molecular para explicar? [L1G1 confirma] OK/ [...] e em uma reação química/ o que acontece?/ o açúcar por exemplo/ é um cristal/ em termos moleculares/ se ele não tem movimentação significativa/ como é possível ele ter liberado tanta energia no momento em que aconteceu a reação com o ácido sulfúrico? [...] / como explicar para o aluno que tanto calor não veio do fogo?/*

(43) L3G1: *a gente estava tentando representar a parte básica/ em que ele ia ver as ligações que vbrassem/*

(44) ((Professor)): *ligação quebrada/ ligação formada/*

(45) L3G1: *isso/*

(46) ((Professor)): *[...] o sistema não tem que ficar estável/ com menor energia?/ se os sistemas tendem a ficar mais estáveis/ com menor energia/ como é que eu posso explicar o que aconteceu com a reação endotérmica/ que absorveu mais energia do que foi liberada?/ se absorveu mais do que foi liberada/ o sistema não ficou menos estável?/ como isso pode acontecer? [L3G1 abaixa a cabeça na mesa e, em seguida, levanta reticente, com um sorriso no rosto]/*

Inicialmente, os licenciandos do Grupo 1 se apresentaram mais cautelosos em relação a seus modelos e expressaram a dificuldade encontrada na atividade. Ao que parece, eles não conseguiam compreender como os modelos apoiados nos materiais concretos disponibilizados poderiam ajudar a responder as questões propostas. No turno [42], o professor se adiantou e no [44] sugeriu a ideia de quebra e formação das ligações, com o propósito de fazê-los avançar no desenvolvimento da tarefa. O padrão discursivo é também triádico (I-R-A), o que se explica pela dificuldade dos licenciandos para se engajarem na tarefa proposta.

Na sequência, a filmadora se voltou para o Grupo 7 enquanto o professor seguiu novamente para o Grupo 6. Os licenciandos do Grupo 7 estavam apenas pensando, sem apresentarem interações discursivas. O professor, então, retomou a discussão iniciada anteriormente com o Grupo 6 sobre a quebra e formação das ligações durante as transformações químicas:

- (47) L2G6: *então/ a gente sabe que os reagentes sempre vão absorver uma energia inicial na hora de formar os produtos/ que é para quebrar aquelas ligações dos reagentes/*
- (48) ((Professor)): *isso/*
- (49) L2G6: *só que aí a gente está tentando explicar porque existiriam reações endotérmicas/ né/ porque no caso para formar/ não estaria formando um produto mais estável/ estaria formando um menos estável/*
- (50) ((Professor)): *isso/*
- (51) L2G6: *a gente está pensando na relação entre calor e trabalho/ tipo assim/ quando ele não conseguisse absorver calor suficiente/ para quebrar aquelas ligações/ ele realizasse mais trabalho do que absorvesse calor/*
- (52) L1G6: *ele gastaria mais energia para formar a nova substância/ não que ela não seja estável/ ela até é mais estável/ só que a energia que você gasta para formar/ é maior do que para quebrar as ligações anteriores/*
- (53) ((Professor)): *e aí/ como é que você explicaria isso?/*
- (54) L1G6: *pelo gráfico/*
- (55) ((Professor)): *mas o gráfico só te mostra o patamar energético em nível molecular/ como explicar?/*
- (56) L1G6: *que as ligações/ vão ser sempre a mesma coisa/ as ligações quebram e se formam/ só que às vezes [interrompe a fala e começa a fazer movimentos aleatórios com as mãos, demonstrando não conseguir expressar a sua ideia por meio de palavras]/*

No episódio demarcado anteriormente, verifica-se nos turnos [54]-[55] a possibilidade de se utilizar outro recurso para a mediação do conhecimento, além da fala e dos gestos, de modo a explicar a energia envolvida nos processos químicos. Esse recurso é um gráfico termoquímico, destacando assim a importância das múltiplas linguagens na construção de explicações científicas. Nota-se, ainda, uma disposição do grupo em abordar o problema apoiado em princípios mais gerais da Termoquímica.

Por fim, o professor atendeu aos demais grupos, mas a transcrição referente a essas interações não será apresentada, pois as ideias dos licenciandos se restringiram

ao *modelo cinético molecular*, sem maiores avanços. Na aula seguinte, os grupos se reuniram e os licenciandos, então, tiveram a oportunidade de resgatar suas ideias iniciais, elaborar e discutir os seus modelos com os colegas do grupo e com o professor. Posteriormente, os modelos elaborados foram apresentados e discutidos com toda a turma (externalização das ideias por meio da socialização dos modelos). Todo esse processo deu origem ao *modelo consensual* da turma para explicar a energia envolvida nas transformações químicas, como será apresentado na discussão e análise das aulas 5 e 6.

3. AULA 5: MODELAGEM NO CAMPO DA QUÍMICA (CONTINUAÇÃO DA AULA 4)

Nessa aula foram resgatadas pelo professor as discussões já iniciadas, com o intuito de manter a narrativa. Para prosseguir com a proposta de trabalho, o professor redistribuiu aos licenciandos a Atividade 5, que havia sido recolhida na aula anterior. Na sequência, eles foram orientados a prosseguir com a atividade, de modo a ser possível discuti-la ainda nessa aula.

Buscando mediar o trabalho nos grupos, o professor passou em cada um deles para tomar ciência de como as discussões estavam evoluindo. Além disso, procurou mediar junto aos licenciandos algumas das ideias levantadas durante a interação estabelecida entre os membros do grupo, para que fosse possível discutir e, em seguida, reformular os modelos propostos, caso fosse necessário.

Algumas transcrições estão segmentadas em Parte I e II, indicando que o professor retornou durante a aula ao grupo para dar continuidade à discussão. Ressalta-se também que apenas nos Grupos 5, 6 e 7 essa intervenção aconteceu duas vezes, considerando a relevância do debate apresentado pelos licenciandos e, conseqüentemente, a necessidade que o professor teve de retomar e explorar com mais detalhes algumas das ideias apresentadas. Nos demais grupos, esse retorno acabou não acontecendo por limitação no tempo da aula.

A seguir serão apresentadas algumas das ideias transcritas a partir das intervenções feitas pelo professor nos sete grupos. Além disso, destaca-se no início de cada apresentação uma síntese com os principais atributos dos modelos propostos e,

ao final, o material escrito apresentado como *modelo consensual* do grupo para explicar o saldo energético das transformações químicas.

- **GRUPO 1** – *Modelo baseado na quantidade de ligações dos reagentes que foram quebradas e, posteriormente, formadas nos produtos.*

Os licenciandos desse grupo iniciaram a discussão com o professor relatando que julgaram essa atividade bastante desafiadora e que, a princípio, pensaram que não iriam conseguir realizá-la com êxito. Entretanto, a proposta fluiu na medida em que o processo de construção das ideias foi sendo debatido em conjunto. Assim, os membros deste grupo propuseram elaborar modelos que explicassem os processos exotérmicos e endotérmicos, a partir da reação de formação e decomposição da água¹⁸. Para isso, utilizaram os materiais disponíveis (palitos de madeira, massa de modelar, lápis de cor e esferas de isopor).

Ao manipular os modelos, os licenciandos consideraram os choques ocorridos entre as moléculas dos reagentes, favorecendo assim a quebra e a consequente formação de novas ligações nesse processo. Eles propuseram, inicialmente, que a energia envolvida nos processos químicos em estudo estava associada ao número de ligações que eram quebradas e formadas. Por meio da equação química que descreve a formação da água [$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$], foi demonstrada a quebra de três ligações (duas H-H e uma O=O) e, na sequência, a formação de quatro ligações O-H, referentes às duas moléculas de água. É importante destacar que os licenciandos do grupo consideraram a ligação dupla na molécula de oxigênio como sendo uma única ligação. Desse modo, concluíram que foram formadas no produto mais ligações do que as quebradas nos reagentes. Em decorrência disso, o saldo energético final do processo é exotérmico.

¹⁸ O uso da reação que descreve a formação da água foi uma sugestão apresentada pelo professor no início da Aula 5. Isso se justifica pelo fato de as reações propostas na atividade serem compostas de substâncias com muitos átomos, o que dificultaria a montagem e manuseio dos *modelos concretos*. Assim, essa sugestão permitiria aos licenciandos analisarem um processo termoquímico que fosse análogo ao discutido, utilizando para isso uma reação mais simples de ser representada com os objetos disponíveis. Para o processo endotérmico, entretanto, não foi apresentada sugestão, dada a dificuldade em encontrar uma transformação química simples que atendesse a esse quesito.

De acordo com a explicação apresentada, a quebra das ligações nos reagentes demandaria absorção de energia, enquanto a formação das novas ligações liberaria parte dessa energia, formando produtos mais estáveis (com menor energia). No geral, tal modelo é adequado para explicar os processos energéticos relacionados às transformações químicas exotérmicas, considerando que a Entalpia¹⁹ dos produtos nesse caso é menor que a dos reagentes. Mas é necessário apontar que a relação estabelecida com o número de ligações quebradas e formadas nesse processo não foi coerente, sobretudo porque os licenciandos desse grupo atribuíram um valor único para a energia das ligações, desconsiderando as diferentes intensidades energéticas envolvidas em cada caso. O modelo proposto pelo grupo não considerou também os distintos tipos de ligações, aspecto central para a Química e com importantes desdobramentos na previsão e explicação de algumas propriedades dos materiais. Novamente aqui, o professor optou por não intervir no processo construtivo, de modo a permitir que os licenciandos reelaborassem um pouco melhor as ideias propostas.

Quando se avaliou as transformações químicas endotérmicas, o referido modelo não conseguiu explicar, por si só, a relação energética envolvida no processo, tendo em vista que a energia dos produtos é maior que a dos reagentes. Nesse momento, encontrou-se uma contradição teórica, sobretudo quando se considera que as transformações químicas acontecem buscando sempre a formação de produtos energeticamente mais estáveis. Essa discussão sobre a limitação do modelo proposto se encontra nos turnos demarcados a seguir:

- (1) ((Professor)): *na decomposição da água/ o processo é endotérmico?/*
- (2) L3G1: *acho que sim// (2s)*
- (3) ((Professor)): *é um processo espontâneo?/*

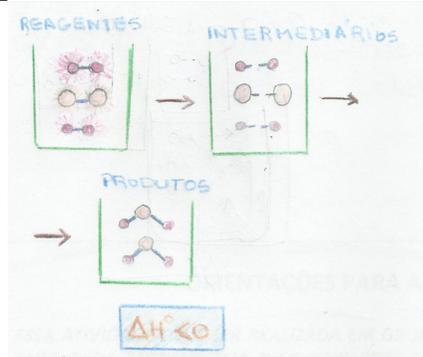
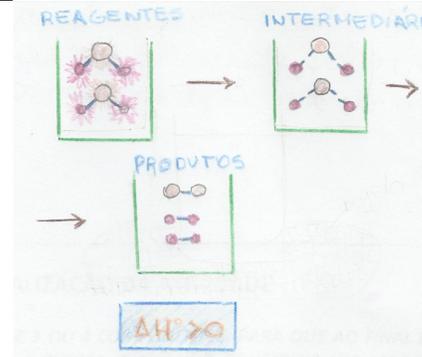
¹⁹ Do ponto de vista Físico-Químico, a Entalpia (H) é uma função de estado que permite obter informações sobre as variações de energia em um sistema, considerando-se a pressão constante. De acordo com essa definição e com a *Primeira Lei da Termodinâmica*, pode-se inferir que a variação na Entalpia de um sistema é igual ao calor liberado ou absorvido. Isso pode ser demonstrado a partir da seguinte relação: $H = U + PV$, onde U , P e V representam, respectivamente, a energia interna, a pressão e o volume do sistema. Supondo que determinada mudança em um sistema ocorra à pressão constante e, durante essa mudança, a energia interna varie ΔU e o volume ΔV , tem-se: $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$. De acordo com a *Primeira Lei da Termodinâmica*, tem-se $\Delta U = q + w$, onde q é a energia fornecida ao sistema na forma de calor e w o trabalho exercido sobre ou pelo sistema. Assim, chega-se a seguinte relação: $\Delta H = q + w + P\Delta V$. Considerando a expressão associada ao trabalho de expansão ($w = -P_{ext} \Delta V$), tem-se: $\Delta H = q - P_{ext} \Delta V + P\Delta V$. Como o sistema é aberto, conclui-se que a pressão é a mesma que a externa ($P = P_{ext}$), de modo que os dois últimos termos da equação se cancelam. Assim, chega-se à conclusão de que $\Delta H = q$.

- (4) L2G1 e L3G1: *não/*
- (5) ((Professor)): *então só a gente repensar/ [...] eu consigo explicar por meio desse processo? [se refere à quebra e formação das ligações]/ eu gostei da ideia/ mas a gente consegue explicar isso?/[professor encoraja o grupo a prosseguir, problematizando a ideia apresentada, de modo a testar a abrangência do modelo na explicação do processo endotérmico]*
- (6) L1G1: *a gente não tinha pensado na espontaneidade da água/*
- (7) L3G1: *porque a gente olhou o ΔH né/ espontaneidade teria que olhar o ΔG^{20} [...]/*
- (8) L2G1: *[...] a gente pensou em um modelo mais simples/*

Pensar nessas limitações, que se relacionam à simplificação dos modelos, permite aos licenciandos compreender sua função, de modo a rever o uso dos mesmos em sala de aula, sobretudo durante o processo de mediação do conhecimento científico. Por outro lado, é preciso reconhecer que nesse momento não foi realizada uma discussão sobre os limites e os riscos de tais simplificações em situações de ensino. No caso do modelo sugerido pelo Grupo 1, há várias limitações e restrições que poderiam ter sido discutidas, oportunidade essa fomentada pela atividade, mas não concretizada na interação inicial do professor com os licenciandos. Optou-se por deixar que tais ideias fossem pensadas um pouco mais no grupo, considerando que todas as propostas de mediação apresentadas seriam resgatadas e discutidas oportunamente, quando da socialização dos modelos na turma. Talvez esse fosse o momento mais adequado para resgatar tais ideias, tendo em vista que a discussão contemplaria toda a turma. Na perspectiva aqui assumida, tal ação contribuiria para a formação de todos os envolvidos com a atividade proposta.

Ao final da discussão, os licenciandos apresentaram no material escrito que foi entregue ao professor um *modelo consensual* do grupo. Nota-se que as explicações são consistentes internamente (o grupo mantém a generalidade do modelo proposto), embora não o sejam com o conhecimento químico estabelecido. O grupo mostrou, ainda, habilidade em compor a explicação por meio da orquestração dos múltiplos modos de representação, tanto no texto escrito quanto na apresentação oral:

²⁰ ΔG se refere à variação da Energia Livre de Gibbs, que é expressa pela relação $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$, em que ΔH representa a variação da Entalpia do sistema, T a temperatura em graus Kelvin e ΔS a variação da Entropia. Quando $\Delta G < 0$, a reação será favorável à formação dos produtos, indicando que este é um processo espontâneo.

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 1	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
 <p>4 ligações formadas e 3 ligações rompidas</p>	 <p>3 ligações formadas e 4 ligações rompidas</p>
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<p>Processo exotérmico → o número de ligações existentes no produto é maior que nos reagentes. Logo, se o número de ligações formadas é maior que o número de ligações rompidas, $\Delta H^\circ < 0$.</p>	<p>Processo endotérmico → o número de ligações nos reagentes é maior que no produto. Logo, se o número de ligações formadas é menor do que o número de ligações rompidas, $\Delta H^\circ > 0$.</p>

Em seguida, solicitou-se que fosse sistematizada uma explicação por escrito para o fato de alguns processos químicos liberarem calor para o ambiente e outros absorverem, além de destacar a origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados:

Em reações exotérmicas, o número de ligações formadas é maior do que o número de ligações rompidas. Como ao formar a ligação há liberação de energia e ao romper a ligação há absorção de energia, em uma reação exotérmica há liberação de energia na forma de calor. Na reação endotérmica, o número de ligações rompidas é maior do que o número de ligações formadas, logo em uma reação endotérmica há absorção de energia.

O calor gerado ou absorvido tem origem nas ligações químicas. Ligações químicas rompidas absorvem energia na forma de calor, ligações químicas formadas liberam energia na forma de calor.

$\overbrace{2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})}^{H_r} \rightarrow \overbrace{2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})}^{H_p}$ <p>Processo exotérmico</p> $\Delta H^\circ = H_p^\circ - H_r^\circ, H_r^\circ > H_p^\circ$ $\Delta H^\circ < 0$	<p>Absorve</p> $R \rightarrow P \quad \Delta H^\circ > 0$ <p>Processo endotérmico</p> $\Delta H^\circ = H_p^\circ - H_r^\circ, H_r^\circ < H_p^\circ$ $\Delta H^\circ > 0$
--	--

- **GRUPO 2** – *Em relação ao processo endotérmico, o modelo inicial baseou-se na energia envolvida na solvatação do iodeto de potássio (KI) (modelo 1); em seguida, o referido modelo foi reformulado, propondo-se outro que se baseava na quebra e formação das ligações químicas, destacando os movimentos das mesmas (vibração e rotação), além dos choques ocorridos, que foram associados à energia cinética do sistema (modelo 2).*

Os licenciandos pensaram, a princípio, na dissociação iônica do iodeto de potássio para explicar a transformação endotérmica $[KI(aq) \rightarrow K^+(aq) + I^-(aq)]$. Buscaram descrever esse processo considerando a solvatação dos íons pelas moléculas de água (*modelo 1*). A escolha de um modelo explicativo relacionado à dissociação iônica se justifica pelo fato de que alguns compostos iônicos, quando colocados em água, ocasionam a diminuição da temperatura do sistema, de modo análogo ao que foi descrito pela transformação química endotérmica em estudo. Cabe ressaltar que nem todo abaixamento de temperatura é fisicamente perceptível nesses processos de dissolução, dada a diminuição discreta que pode ocorrer em alguns casos.

O processo de solvatação foi pensado pelos licenciandos, em um primeiro momento, como sendo o exemplo de uma transformação química. O professor, buscando problematizar as ideias apresentadas, discutiu com o grupo essa questão, o que levou os licenciandos a reformularem essa primeira ideia.

- (1) ((Professor)): *o iodeto de potássio na água/ vai acontecer o que com ele?/ com o sistema?/*
- (2) L1G2: *vai ionizar/*
- (3) ((Professor)): *mas quando você coloca a mão do lado de fora do béquer/ o que você sente?/*
- (4) L1G2: *uai/ que abaixou a energia do sistema/ a temperatura diminuiu/*
- (5) ((Professor)): *ótimo/ muito bem L1G2/ a temperatura diminuiu/ a pergunta que eu faço a vocês é a seguinte/ o processo de dissolução/ ele é um processo químico?/*
- (6) L2G2: *é/*
- (7) ((Professor)): *a dissolução/ eu coloquei iodeto de potássio na água/*
- (8) L2G2: [fala juntamente com professor] *porque vai solvatar/*
- (9) ((Professor)): *ele [KI] reagiu com a água?/*
- (10) L2G2: *vai ter solvatação/*

- (11) ((Professor)): *ele reagiu com a água?* [o professor insiste na pergunta]/
- (12) L1G2: *teve a solvatação/ a molécula de água envolve de um lado o iodeto/ do outro o potássio/*
- (13) ((Professor)): *então isso poderia ser caracterizado como reação química/ ou não?/*
- (14) L1G2: [altera a expressão facial e faz gesto com as mãos demonstrando dúvida] *não/*
- (15) ((Professor)): *por que não L3G2* [o professor chama para a discussão um licenciando que ainda não havia se manifestado]?// (3s) *se eu evaporo a água fica o que lá depois?/*
- (16) L3G2: *continua o iodeto de potássio/*
- (17) ((Professor)): [...] *então eu posso considerar esse processo como uma reação química?/*
- (18) L2G2: [balança a cabeça em negativa] *não/*

É notório neste trecho que o professor fez uma avaliação da proposta do grupo por meio do padrão de interação triádico I-R-A, de modo que essa intervenção conduziu os licenciandos a uma revisão do modelo proposto. Cabe perceber também que as interações discursivas professor-estudantes em atividades de Modelagem nem sempre adotam o discurso dialógico (como prevaleceu no caso do Grupo 1) e que a condução do professor tende a validar ou, ao contrário, constranger as propostas elaboradas. A tensão entre discurso dialógico e de autoridade está, portanto, posta na condução de tais atividades em sala de aula, sendo essencial ao processo de construção das ideias.

Na sequência, L1G2 sugeriu representar o processo químico considerando a reação do hidrogênio com o oxigênio para formar a água. Esse licenciando apontou a dificuldade para explicar o processo endotérmico. Buscando uma alternativa mais simples para essa questão, propôs utilizar como exemplo uma reação genérica ($X + Y \rightarrow XY$). Isso poderia permitir inferências mais simples sobre o processo em estudo. Entretanto, os licenciandos perceberam que essa ideia não ajudou muito, retornando para a reação de formação da água.

Um ponto importante também a ser destacado é que os modelos utilizados para representar as moléculas de hidrogênio e oxigênio possuíam tamanhos diferenciados. As esferas de isopor que representavam os átomos de hidrogênio eram menores que as do átomo de oxigênio. Esses diferentes modos de representação se relacionam a importantes atributos dos átomos, tais como a massa e o raio atômico, questões essas que não foram abordadas durante as propostas de mediação do

conhecimento apresentadas pelos licenciandos na elaboração dos modelos. Nesse sentido, o professor questionou os licenciandos:

- (19) ((Professor)): [...] *como os modelos poderiam ajudar vocês?*
- (20) L1G2 e L2G2: [pegam os modelos elaborados com o uso dos materiais disponíveis]
- (21) L1G2: *aqui/ nossas moléculas de hidrogênio/ e aqui a nossa de oxigênio/* [mostra na mão direita um modelo com duas esferas pequenas de isopor e um palito de madeira entre elas, representando a molécula de hidrogênio, e na mão esquerda um modelo semelhante, porém com esferas maiores representando a molécula de oxigênio]/ *duas de hidrogênio e uma de oxigênio/ para a estequiometria da reação/ a gente sabe muito bem que as reações não estão paradas/ as ligações não são paradas/ as moléculas não estão paradas no sistema lá felizes da vida/ elas vibram/* [licenciando manipula o modelo concreto para representar a molécula de hidrogênio]/ *a gente colocou essa/ massinha/ para fazer/ para vibrar/ elas giram* [representam as ligações com massa de modelar, de modo a facilitar a simulação do movimento das mesmas]/ *elas estão em movimento* [faz os movimentos aleatórios com os modelos]/
- (22) ((Professor)): *então todos esses movimentos são energia?*
- (23) L1G2: *são energia/ aí que fala/ mostrar que quando dá o choque/ das moléculas/* [faz movimentos com os modelos simulando os choques]/ *há a quebra/* [separa as esferas de isopor] *dessa ligação/ e tem energia/ tanto cinética/ quanto vibracional/ e rotacional/ [...]*

Percebe-se que o Grupo 2 superou as dificuldades inerentes à atividade proposta (explicar a energia envolvida nos processos químicos por meio de materiais concretos) dando dinamismo aos *modelos concretos*. Isso foi feito por meio de ações e gestos realizados durante a manipulação dos materiais, que buscaram representar a energia relacionada ao movimento térmico e às vibrações dos átomos/moléculas, além do rompimento e formação das ligações químicas. Assim, com a orquestração dos diferentes modos de comunicação, tendo destaque os modos acionais, os licenciandos transformaram os materiais concretos em modelos (Kress et al., 2001). Nesse sentido, apoiando-se em Harré (2004), é importante lembrar que os objetos, reais ou imaginários, se comportam como modelos apenas na condição de atribuir a eles relações com outras coisas, o que se faz por meio da orquestração dos diferentes modos de comunicação (ações, palavras, gestos, desenhos, equações, entre outras).

O grupo lançou mão do *modelo cinético molecular* para explicar as condições de rompimento das ligações, o que desencadearia o processo de rearranjo dos

átomos. Buscando favorecer a representação desses movimentos associados às ligações, essas foram representadas com massa de modelar, ao invés de utilizar palitos de madeira. Segundo eles, isso facilitaria a simulação do movimento das ligações quando os *modelos concretos* fossem manipulados, considerando a flexibilidade da massa de modelar.

Na sequência, os licenciandos manipularam os referidos modelos, simulando os movimentos moleculares e das ligações. Sugeriram, então, uma encenação entre dois componentes do grupo para representar a dinamicidade desse processo. Isso aconteceu quando L1G2 propôs assumir o papel de uma das moléculas e L2G2 de outra, para representar os choques ocorridos nesse processo. Em seguida, L2G2 complementou essa proposta, sugerindo utilizar simulações computacionais como um recurso adicional para explicar os processos químicos em estudo. Destacou-se também a vantagem de os *modelos concretos* poderem ser manipulados. Entretanto, eles apresentam limitações ao serem manipulados, podendo se desfazer ou quebrar, tal como aconteceu algumas vezes durante a interação dos licenciandos com o professor.

Diante dessa limitação operacional, L2G2 propôs substituir a massa de modelar utilizada para representar as ligações químicas por uma mola (algo fisicamente mais consistente). A justificativa para essa troca se relacionava à dificuldade de manusear os modelos, tendo em vista que frequentemente a massa de modelar se soltava, pois não aderiria bem às esferas de isopor que representavam os átomos. Além disso, com uma mola seria possível demonstrar a rigidez das ligações, podendo ser utilizada uma mais flexível para representar a ligação simples entre os átomos de hidrogênio e uma com menor flexibilidade para representar a ligação dupla estabelecida entre os átomos de oxigênio. É importante destacar que essa sugestão não foi colocada em prática, considerando a indisponibilidade de molas naquele momento. A seguir a transcrição do momento em que L1G2 e L2G2 examinam a possibilidade de uso da mola:

(24) L2G2: [...] *a gente começou a mexer* [segura o modelo para a molécula de oxigênio na mão direita e gesticulando com a mão esquerda, com seu dedo indicador apontado para o modelo na mão direita] *e viu que a massinha às vezes quebrava/ uma coisa assim pode dificultar/ a gente pensou em trazer uma mola* [agora gesticula com a mão esquerda utilizando os dedos polegar e indicador para representar o movimento de uma mola] *mais flexível/*

- (25) ((Professor)): *ótimo/ representar por meio de molas e não massinhas/*
- (26) L2G2: *porque aí a mola flexível seria da ligação do hidrogênio/ e a mola um pouco mais rígida do oxigênio/*
- (27) ((Professor)): *então/ vocês falaram de processo/ como é que vocês representam esse processo?/*
- (28) L1G2 e L2G2: *[encenam a transformação química com os modelos, sendo que L1G2 segura os dois modelos para representar as moléculas de hidrogênio e L2G2 o modelo para representar a molécula de oxigênio, enquanto L1G2 narra o processo a ser descrito]/*
- (29) L1G2: *elas vão/ e chocam/ aí/ no chocar/ quebram as ligações [separa as esferas de isopor ligadas pela haste de massa representando as ligações]/ aí elas/ [L2G2 faz movimentos rápidos com as duas mãos]/ formam uma molécula diferente/ [L2G2 entrega um novo modelo a L1G2]/*

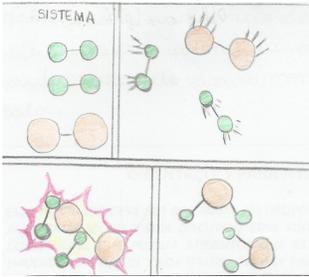
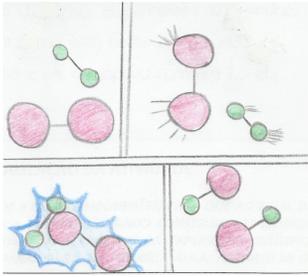
Na sequência, o professor questionou sobre outra limitação dos modelos: as diferentes cores das massas de modelar utilizadas para representar as ligações químicas. Os licenciandos destacaram que as cores distintas estariam relacionadas à força das ligações. O professor, então, aponta para a importância de esclarecer essa questão aos estudantes do Ensino Médio. Nesse momento, L3G2 ressaltou que a cor pode ajudar em algumas questões e atrapalhar em outras. Então, L2G2 reconheceu a importância de mediar essa situação em sala de aula junto aos estudantes, discutindo eventuais limitações que são inerentes às representações propostas para os modelos utilizados.

- (30) ((Professor)): *vocês usaram massinha lilás/ né?/ e usaram massinha para representar uma outra ligação/ verde/ a cor da massinha representa que a ligação é diferente?/*
- (31) L1G2: *a princípio não/ aqui no caso/*
- (32) L3G2: *a força também/ da ligação/*
- (33) L1G2: *a força/ eu queria colorido mesmo/ [...] procurar não representar tudo preto e branco/*
- (34) ((Professor)): *você acha que o aluno entende bem isso?/*
- (35) L1G2: *é bom pra chamar atenção do aluno/*
- (36) ((Professor)): *no momento que você está ensinando/ é interessante chamar atenção dele/ olha é diferente/ mas é um tipo de ligação que/ tem a mesma natureza/*
- (37) L3G2: *a gente pode atribuir a cor/ no caso/ à força da ligação/*
- (38) ((Professor)): *ótimo/*
- (39) L3G2: *[...] eu acho que a cor ajuda os alunos em algumas questões/ mas atrapalha eles um pouquinho em outras [...]/*

(40) L2G2: *a questão é explicar/ na hora de explicar/ quando estiver fazendo o modelo falar/ olha/ tem o problema tal tal tal/ a ligação não vai cor/ isso aqui é um modelo [...]/*

No entanto, convém destacar que outras limitações dos modelos propostos não foram postas em discussão, como a de molas para representar ligações químicas, analogia que frequentemente conduz ou favorece uma compreensão equivocada de que a energia seria liberada no rompimento de ligações (Hapkiewicz, 1991).

Ao final da discussão, o grupo apresentou na atividade escrita um *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 2	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HI}(\text{g})$ 
$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$	
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<p><i>Em um sistema, as moléculas em constante movimento podem se chocar. O choque entre as moléculas rompe as ligações, liberando energia. Os átomos então se rearranjam em moléculas de menor energia.</i></p>	<p><i>Nesse sistema, para que as ligações se rompam no choque entre as moléculas, é necessário que a energia seja absorvida do ambiente, já que os reagentes são mais estáveis que o produto.</i></p>

Sobre uma possível explicação para o fato de algumas reações liberarem calor para o ambiente e outras absorverem, além da origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados, o grupo destacou por escrito que:

A liberação e absorção tem a ver com a energia das ligações.

Para ocorrer as reações descritas nas questões acima, é necessário quebrar ligações para que outras sejam formadas. A quebra e a formação das ligações dos novos compostos absorvem e liberam energia do processo, fato que é evidenciado pelo aparecimento e o desaparecimento de calor.

A questão da estabilidade dos produtos da reação, no caso das transformações endotérmicas, foi inicialmente abordada pelo grupo, mas depois abandonada. Isso provavelmente se justifica pela opção em utilizar um modelo mais simples para explicar o referido processo, evitando assim abordar a complexidade teórica que a ideia de estabilidade pressupõe, tal como os conceitos de Entropia e Energia Livre de Gibbs, que se relacionam à espontaneidade dos sistemas químicos.

- **GRUPO 3** – *Quebra e formação das ligações, associando a energia envolvida no processo ao tamanho das ligações (quanto maior a ligação, maior sua energia).*

Os licenciandos do Grupo 3 inicialmente pensaram em elaborar um modelo que fosse acessível aos estudantes do Ensino Médio. Para isso, utilizaram os materiais disponíveis e representaram a reação de formação da água (processo exotérmico). Com a quebra das ligações dos reagentes, dando origem ao produto, formaram-se novas ligações que foram representadas por palitos de madeira menores que os utilizados nos reagentes. Os pequenos pedaços de palitos remanescentes, resultantes da quebra das ligações entre os átomos dos reagentes, foram associados ao saldo energético final do processo, ou seja, a energia liberada na transformação exotérmica.

Para o processo endotérmico, os licenciandos representaram a decomposição da água. Novamente, o saldo energético desse processo foi explicado considerando o tamanho das ligações químicas quebradas e formadas, de modo que quanto maior o tamanho do palito, maior seria a energia associada à ligação que ele representava. Parte da atividade do grupo pode ser acompanhada nos trechos de interação com o professor, transcritos a seguir:

- (1) ((Professor)): [...] *na ligação você tem alguma coisa de especial?/*
- (2) L2G3: *energia/ que é isso que a gente quer representar com o tamanho do palito/*
- (3) L3G3: *é/ essa ligação é fácil de ser quebrada [quebra o palito em duas partes]/ é muito fácil/ então/ vai quebrar e vai formar duas moléculas/ de água/ e mais/ vai liberar/ nessa quebra dos palitinhos/ né?/ que são bem fáceis/ vai ser liberado também/ não vão ser todos consumidos/ então/ vai sobrar/ esses palitinhos são a energia/ [L2G3 diz “energia” junto com L3G3]*

- (4) ((Professor)): *ah/ ótimo/ então aqui vocês representaram os palitinhos que sobraram/*
(5) L2G3: *isso/*
(6) ((Professor)): *como sendo?/*
(7) L2G3: *a energia/*
(8) ((Professor)): *a energia que sobrou?/*
(9) L3G3: *isso/ que não foi gasta/ para formar as ligações da água/*

Para explicar os processos endotérmicos, os licenciandos sugeriram juntar novamente os palitos remanescentes, oriundos da quebra das ligações dos reagentes, para demonstrar a formação de novas ligações que seriam mais energéticas. Dessa forma, o processo endotérmico poderia ser caracterizado pela absorção de energia, que foi representada por meio da formação de ligações mais energéticas. O modelo proposto, entretanto, não era capaz de explicar a ocorrência dos processos endotérmicos, já que eles não são espontâneos.

É importante destacar que, desde o início, o grupo reconheceu que havia elaborado um modelo didático, simplificado, orientado para estudantes do Ensino Médio. Ao final da discussão mediada pelo professor, os licenciandos desse grupo reafirmaram as limitações das explicações propostas, sobretudo em relação a alguns dos atributos dos modelos que foram considerados na representação desses processos químicos. Entretanto, no entendimento do grupo, para o nível de escolaridade ao qual se destinavam tais explicações, trabalhar conceitos mais complexos, como o de Entropia, pode ser um complicador para a compreensão dos processos químicos.

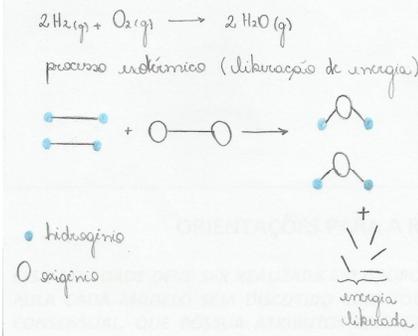
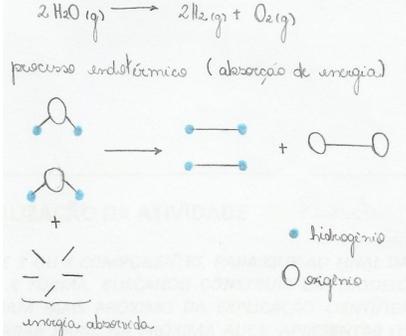
Assim, o modelo proposto, mesmo não contemplando a explicação de atributos importantes para descrever a transformação química endotérmica, tal como a questão relacionada à estabilidade dos reagentes e produtos, pode ser útil no processo de ensino da temática em estudo. Sobretudo se o professor tiver consciência das limitações dos modelos utilizados nas Ciências, de modo a considerá-los como recursos que apresentam o potencial para serem utilizados no processo de mediação do conhecimento (Wertsch, 1999). Por isso, se faz necessário o professor conhecer com clareza a função dos modelos, de modo a ter critérios para articular o uso desses recursos em sala de aula, esclarecendo seus limites e potencialidades.

Nesse sentido, é importante considerar que os modelos são frequentemente usados no ensino de Ciências com o objetivo de ajudar os estudantes a compreender aspectos do que se deseja ensinar, sendo assim denominados *modelos de ensino* (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Estes, apesar de apresentarem simplificações em relação ao *modelo científico* ou de representar apenas alguns aspectos do mesmo, necessitam preservar a estrutura conceitual do *modelo científico*, por meio de aproximações que não os tornem incorretos.

A favor do modelo proposto pelo grupo, pode-se dizer que, sendo mediado coerentemente pelo professor na aula, ele favorece aos estudantes pensarem nas relações energéticas que envolvem a quebra e a formação das ligações químicas, permitindo-lhes avançar rumo ao entendimento desses processos. É preciso, entretanto, indicar dois problemas estruturais no modelo proposto. Em primeiro lugar, há uma ambiguidade na representação proposta: os palitos se relacionam às ligações químicas e, ao mesmo tempo, com o saldo energético do processo. Como será observado nas figuras do *modelo consensual* proposto pelo grupo e na explicação reproduzida a seguir, essa ambiguidade pode sugerir a ideia incorreta de que a quebra das ligações libera energia.

O segundo problema decorre da avaliação dos riscos em propor uma representação que pode dar ênfase às crenças substancialistas dos estudantes, posto que esse modelo propõe materializar a energia como algo físico, concreto. Isso pode reforçar ainda mais tal ideia, presente com bastante força na linguagem escrita e falada, sobretudo quando se utiliza termos tais como *calor liberado e absorvido*, *energia armazenada nas ligações* etc., que naturalmente trazem uma concepção material a esses conceitos das Ciências (Souza & Justi, 2011). Assim, quando essas questões não são apontadas pelos professores em sala de aula, prevalecendo uma explicação superficial e baseada apenas em representações estáticas, a tendência é que a concepção substancialista predomine entre os estudantes.

Ao final da discussão, o grupo apresentou o seguinte *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 3	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
 <p>$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ processo exotérmico (liberação de energia)</p> <p>• hidrogênio ○ oxigênio</p> <p>energia liberada</p>	 <p>$2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ processo endotérmico (absorção de energia)</p> <p>• hidrogênio ○ oxigênio</p> <p>energia absorvida</p>
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<p>Considerando que o tamanho dos palitos esteja relacionado com a quantidade de energia presente na molécula, o modelo irá mostrar para o aluno que os reagentes possuem uma maior quantidade de energia, devido ao tamanho do palito, quando comparado com os produtos. O conceito de Entalpia será introduzido mostrando que a Entalpia dos reagentes é maior que a dos produtos. Os palitos que não foram utilizados nas ligações representarão a energia liberada.</p>	<p>Fazendo as considerações anteriores sobre o tamanho dos palitos e a quantidade de energia, agora o modelo irá mostrar para o aluno que é necessário a junção de pequenos pedaços de palito com os palitos da molécula de água para formar as moléculas de hidrogênio e oxigênio, que possuem maior quantidade de energia. Os palitos utilizados para simular a junção com os palitos da molécula representarão a energia absorvida.</p>
$\Delta H^\circ = H_p^\circ - H_r^\circ$	

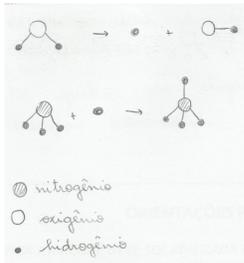
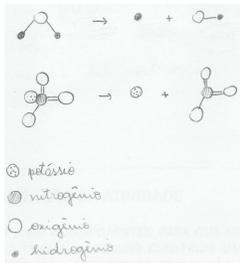
- **GRUPO 4** – Utiliza o conceito de Entropia, sem apresentar uma proposta de como abordar essa teoria junto aos estudantes do Ensino Médio.

O Grupo 4 apresentou baixo envolvimento e explícita resistência com a atividade proposta, o que comprometeu os resultados e a análise. As interações com o professor foram pouco produtivas e se limitaram aos aspectos descritos a seguir.

O professor iniciou perguntando ao grupo sobre a importância do uso de materiais concretos para representar as transformações químicas. Na sequência, L1G4 questionou sobre a possibilidade de se trabalhar com o conceito de Entropia, considerando que a Entalpia (conceito considerado por esse licenciando tão complexo quanto o de Entropia) já seria contemplada nesse estudo.

É importante destacar que as discussões não haviam avançado muito até esse momento e o grupo alegou dificuldade para propor um modelo sem utilizar o conceito de Entropia na explicação do saldo energético final do sistema. Ao serem informados que, a princípio, poderiam utilizar o aporte teórico que julgassem conveniente para a proposição dos modelos iniciais, as ideias começaram a fluir. Cabe ressaltar que a relação da Entropia com os processos termoquímicos não é direta e nem fácil de ser compreendida pelos estudantes do Ensino Médio, considerando que pressupõe o entendimento de outras grandezas associadas aos processos químicos, tal como Energia Livre de Gibbs e Entalpia do sistema. Entretanto, os licenciandos propuseram um modelo simplificado, que se limitava a considerar Entropia como sendo o grau de desordem do sistema, ideia que pode ser associada, de forma equivocada, ao *modelo cinético molecular*.

Ao discutirem com o professor essa questão e serem informados de que os modelos propostos deveriam explicar, de forma coerente, a energia envolvida nas transformações químicas, o grupo prosseguiu com a elaboração das ideias, insistindo na possibilidade dessa explicação contemplar apenas a Entropia do sistema. Ao final da discussão, foi apresentado na atividade escrita o seguinte *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 4	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
	
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ $NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+ \} \text{Entropia (S)} \downarrow$ <p>Processo Exotérmico \rightarrow diminuição da Entropia do sistema.</p>	$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ $KNO_3 \rightarrow K^+ + NO_3^- \} \text{Entropia (S)} \uparrow$ <p>Processo Endotérmico \rightarrow aumento da Entropia do sistema.</p>

Sobre uma possível explicação para o fato de algumas reações liberarem calor para o ambiente e outras absorverem, além da origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados, o grupo destacou que:

Não é somente a Entalpia que justifica a reação ser espontânea. Deve-se considerar também a Entropia do sistema.

Na formação de novas ligações químicas, há liberação de energia. Essa energia estava presente nos átomos e moléculas durante a colisão. Na quebra das ligações químicas, há absorção de energia proveniente do meio.

- **GRUPO 5 (PARTE I)** – *Associação com o modelo cinético molecular (modelo 1); em seguida, propuseram um modelo simulando a quebra e formação das ligações químicas (modelo 2), relacionando esse processo com a estabilidade do sistema reacional.*

Os licenciandos do Grupo 5 apresentaram discussões que merecem uma análise cuidadosa, posto que remetem a erros conceituais e tentativas para mediar o conhecimento químico que serão retomadas no Capítulo 6 desta Tese, buscando assim trazer resposta à terceira questão da pesquisa. Convém destacar que o grupo não foi capaz de resolver suas divergências internas e os três licenciandos responderam cada qual a seu modo as questões propostas. O *modelo consensual* proposto pelo grupo não reflete, de fato, uma convergência de ideias entre eles, como ficará claro na aula seguinte.

Quando o professor se aproximou do Grupo 5, L2G5 apresentou a ele os desenhos que havia feito como resposta à questão (e que foram depois entregues, como sendo o *modelo consensual* do grupo). Sua explicação se apoiava no *modelo cinético molecular* para justificar o aquecimento e o resfriamento dos recipientes onde aconteceram as transformações químicas apresentadas na atividade (*modelo 1*), como se vê na interação que L2G5 estabeleceu com o professor na presença dos colegas:

- (1) L2G5: [...] *primeiramente quando tem aquecimento/ a gente tem que lembrar que tem energia cinética envolvida/ porque aquecimento envolve aumento de temperatura/ se tem aumento de temperatura/ eu tenho variação na energia cinética do sistema/ essa energia cinética seria o*

grau de agitação das partículas/ se as partículas estão aumentando sua energia cinética/ então o choque efetivo entre elas ficam aumentando/ significa então que através do aumento desses choques efetivos/ elas vão ficar mais agitadas/ e a gente vai sentir como consequência desses choques/ o aquecimento do recipiente/ vai ser mais ou menos assim/

(2) Professor: [...] *por que você pensou nesse modelo?*

(3) L2G5: *porque/ eu acho que/ entre os que eu vi/ é o mais fácil para explicar/ mais viável e também o mais fácil/ eu achei/ para explicar/ porque se a gente fosse pensar/ no aquecimento a gente poderia desenhar um béquer com uma solução com fogo embaixo/ só que como a gente já estudou Física II e tal/ Físico-Química/ a gente já tem essa visão/*

Convém destacar uma inversão da relação causal nesse modelo: o calor aparece como consequência do movimento das partículas e dos choques entre elas. Pode-se interpretar tal inversão como resultado de uma atribuição de propriedades dos fenômenos em escala macroscópica (atrito gerado em choques inelásticos) para entidades do mundo submicroscópico. Tal ideia parece ter relação com a expansão do sistema apresentado na atividade, que continha açúcar e ácido sulfúrico, após a ocorrência da reação. Nos desenhos que L2G5 mostrou ao professor, as partículas no sistema aquecido estão mais afastadas uma das outras e, no sistema resfriado, encontram-se mais juntas, possuindo menor energia, de modo que uma coisa (expansão/contração) estaria relacionada, do ponto de vista causal, à outra (liberação/absorção de energia). Raciocínio semelhante foi encontrado entre os estudantes do Ensino Médio a partir dos trabalhos que analisaram a utilização da Modelagem (Souza & Justi, 2010) e da História das Ciências (Souza & Justi, 2012) no ensino da Termoquímica.

O professor, então, questionou se esse modelo seria capaz de explicar corretamente os processos endotérmicos e exotérmicos. Diante dessa pergunta, L2G5 começou a refletir sobre a referida ideia. Os questionamentos do professor foram fundamentais para que os licenciandos pudessem reavaliar o modelo, de modo a ser possível refletirem sobre a proposta inicial e analisarem se a mesma apresentava algum erro ou limitação.

Prosseguindo, os licenciandos recorreram aos *modelos concretos* elaborados para discutir a reação de formação da água. O professor solicitou que fosse explicada a

ocorrência da transformação química de formação da água, com o respectivo saldo energético do processo, utilizando para isso os modelos elaborados.

Na sequência, os licenciandos começaram a manipular os modelos, simulando assim a quebra e formação das ligações químicas, que foi relacionada à estabilidade do sistema (*modelo 2*). O professor mediou as discussões, de modo a favorecer a reelaboração dos modelos propostos pelos licenciandos. Verificou-se um procedimento semelhante ao utilizado pelos licenciandos do Grupo 2, com a representação dinâmica dos processos químicos por meio da manipulação dos objetos utilizados. Tudo isso foi favorecido por sugestões apresentadas pelo professor, diferente do que aconteceu com o Grupo 2. Destacam-se, ainda, incorreções conceituais significativas nos turnos [15] e [17], além de uma reflexão sobre o uso de modelos no entendimento dos processos químicos em estudo (turno [26]), tal como consta na transcrição apresentada a seguir:

- (4) ((Professor)): [...] *representa o que acontece quando a reação se processa/*
- (5) L3G5: [...] *aqui você tem uma/ só fazer assim olha/ [manipula os modelos que representam as moléculas de H₂ e de O₂ e monta a partir deles um novo modelo para a molécula de H₂O]/ elas reagiram/ transformando em uma molécula de água/*
- (6) L2G5: [...] *há quebra das ligações e a formação das ligações/*
- (7) ((Professor)): *quebra e forma para eu ver/*
- (8) L1G5 e L3G5: [continuam manipulando os modelos]
- (9) L3G5: *aqui olha/ acabei de quebrar/*
- (10) L1G5: [...] *molécula de oxigênio/ essa aqui é a molécula de hidrogênio [L3G5 segura ao lado outro modelo para representar a molécula de hidrogênio]/*
- (11) ((Professor)): *isso aí você tem no início/*
- (12) L1G5: *aí agora [continua manipulando os modelos]/*
- (13) L2G5: *há a quebra das ligações/ seria mais ou menos isso/ quebrar os palitinhos [...]/*
- (14) ((Professor)): *por que quebra L2G5?/ para quebrar tem que ter o quê?/*
- (15) L2G5: *no caso da reação da água/ é// (3s) durante essa quebra vai liberar energia/*
- (16) ((Professor)): *espera aí/ a quebra libera energia?/*
- (17) L2G5: *é/ libera uma energia para formar a água/ mas por que se quebra?/ acho que se quebra porque a gente está caminhando rumo à estabilidade/ para que se forme um sistema mais estável/ um composto mais estável/ então/ eu acho que é por isso que quebra/ porque as ligações/ é/ dos compostos existentes no início/ eram menos estáveis/ do que o composto final/*

- então eles deverão ter suas energias quebradas para formar novas ligações/ para formar compostos mais estáveis/ não sei/ acho que isso poderia ser uma explicação/*
- (18) ((Professor)): *agora/ L2G5 está com duas moléculas aí na mão/ porque essas duas moléculas não foram usadas?/*
- (19) L2G5: *a gente procurou representar a reação química no todo/ aí então/ a gente já mostrou os reagentes prontos e os produtos prontos/*
- (20) ((Professor)): *e aqui você mostrou o quê?/ o que está na mão do L1G5?/*
- (21) L2G5: *mostrou a quebra das ligações e a formação das ligações/*
- (22) ((Professor)): *então aqui você mostrou um processo/*
- (23) L1G5: *exato/*
- (24) L2G5: *mostrou o processo/*
- (25) ((Professor)): *qual é a vantagem de usar um processo/ como vocês representaram/ quebrando e formando/ e mostrar a reação pronta/ como foi pensado a princípio?/*
- (26) L2G5: *a vantagem de usar o processo é que você/ vê/ como se deu a evolução das ideias/ você se insere no processo quando enxerga como ele está acontecendo para dar o resultado final/ essa é a vantagem do processo/ quando ele está pronto não/ quando ele está pronto/ você aceita ele/ como um modelo pronto para explicar algumas reações [...]/*

Na sequência, o professor questionou sobre uma possível explicação para as transformações endotérmicas. L2G5 destaca que o grupo estava com dificuldades para compreender esse processo, sem saber como aplicar o modelo de quebra e formação das ligações químicas nessa situação. Propuseram pensar no processo de dissolução do KI. O professor, então, questionou sobre a dissolução do KI ser endotérmica, assim como haviam sugerido os licenciandos do Grupo 2. Essa discussão pode ser verificada na sequência de turnos apresentada a seguir:

- (27) L2G5: *[...] o processo endotérmico a gente está tendo um pouco de dificuldade [...]/*
- (28) ((Professor)): *OK/ porque tem essa dificuldade?/*
- (29) L2G5: *por causa da/ absorção de energia/ por causa/ eu não sei se/ talvez quando o processo é exotérmico/ a gente tem quebra de ligação química/ agora/ quando o processo é endotérmico/ a gente também tem quebra de ligação química?/*
- (30) ((Professor)): *formaram novas substâncias?/*
- (31) L2G5: *formaram/*
- (32) ((Professor)): *a partir de substâncias que já existiam?/*

- (33) L2G5: [balança a cabeça em afirmativa]/ *porque por exemplo/ o iodeto de potássio/ quando a gente prepara uma solução de iodeto de potássio/ é um processo endotérmico/ mas porque a gente sabe?/ a gente está em contato com o béquer/ a gente sente que o béquer fica gelado/*
- (34) ((Professor)): *como é que o béquer esfria se ele não foi colocado na geladeira?/*
- (35) L2G5: *pois é [risos]/*
- (36) L3G5: *esse é o ponto/ essa é a dificuldade/*
- (37) L1G5: *essa é a questão/*

Além da dificuldade mencionada nos turnos [36] e [37], existem outras, como a associação de liberação de energia à quebra de ligações (turno [29]) e a interpretação da dissolução do KI em água como um exemplo de reação química. Isso indica que, do plano empírico à elaboração do modelo explicativo, existiam lacunas teóricas a superar. Apesar disso, é importante destacar que o grupo se apoiou na proposição de modelos para organizar o entendimento do assunto em discussão. Isso ficou evidente no momento em que L2G5 reconheceu a dificuldade para propor uma ideia capaz de explicar os processos endotérmicos, o que levou o grupo a ir ensaiando tentativas para isso, encorajados pelo professor. Nesse momento do processo, constata-se que o professor evitou fazer avaliações quanto às escolhas dos licenciandos e deixou o grupo trabalhar um pouco mais com suas ideias. Uma vez mais, foi possível identificar uma tensão nas decisões tomadas pelo professor, sobretudo entre favorecer um discurso dialógico ou adotar uma voz de autoridade na discussão com os licenciandos.

- **GRUPO 5 (PARTE II)** – *Modelo baseado na natureza iônica/covalente das ligações químicas e suas respectivas forças (modelo 3).*

Os licenciandos deram prosseguimento à discussão iniciada anteriormente com a questão do KI, destacando agora a natureza e a força das ligações químicas. L2G5 questionou se em todo processo endotérmico os reagentes são compostos iônicos, tendo em vista que as ligações iônicas seriam mais fortes que as ligações covalentes (turnos [38-41]). A dúvida sugere mais uma vez o entendimento equivocado dos processos de liberação e absorção de energia na formação e quebra de ligações químicas. A partir dessa questão, o professor promoveu, por meio de padrão triádico I-

R-A, uma revisão do entendimento dos licenciandos sobre a dissociação iônica. Em seguida, tentaram resgatar a discussão referente à dissociação iônica do KI. Com a mediação do professor, perceberam que esse representava um processo físico e que não poderia ser utilizado como exemplo para explicar uma transformação química.

- (38) L2G5: *em toda reação endotérmica/ os reagentes predominantemente são compostos de ligações iônicas?*
- (39) Professor: *não necessariamente/[...]*
- (40) L1G5: *a ligação iônica é mais forte do que a covalente/*
- (41) L2G5: *então/ por exemplo/ será que a gente poderia estender para todas as reações endotérmicas? Dizer que os reagentes são predominantemente formados por ligações iônicas?*
- (42) Professor: *não/ você não pode dizer isso/*
- (43) L2G5: *[balança a cabeça positivamente, movimentos rápidos e repetidos para cima e para baixo]/ porque a do KI/ parece que/ também os reagentes são formados com ligações/*
- (44) Professor: *mas aí é que tá/ você colocou o KI na água/ aí/ o que aconteceu quando você colocou ele na água?/*
- (45) L1G5: *K⁺ e I⁻/*
- (46) ((Professor)): *essa dissociação iônica é uma reação química?/*
- (47) L2G5: *é uma dissolução/*
- (48) ((Professor)): *dissolução é processo químico ou físico?/*
- (49) L2G5: *físico/*
- (50) ((Professor)): *então/ você pode comparar um processo físico com essa reação química?/*
- (51) L2G5: *[balança a cabeça negativamente]/*

A discussão continua com os licenciandos ressaltando a complexidade para explicar cientificamente a energia envolvida nas transformações químicas. Isso pode ser exemplificado quando L3G5 tentou apresentar uma ideia que contemplasse os processos termoquímicos em estudo. Entretanto, ele não conseguiu propor uma explicação coerente, apresentando relações incorretas para descrever o processo energético relacionado à quebra e formação das ligações.

- (52) ((Professor)): *[...] e vocês em sala de aula tendo que explicar isso? [o professor chama os licenciandos para pensar na mediação do conhecimento científico em sala de aula]/*
- (53) L3G5: *[...] eu tinha pensado o seguinte/ as reações que liberam calor/ são exotérmicas/ né?/ exotérmicas/ ainda vai/ dá para você falar que a quebra de ligação liberou energia/ mas na endotérmica/ tipo assim/ se o sistema esfria [faz um gesto com as duas mãos encolhendo*

todos os dez dedos]/ *é porque tirou calor do lado de fora [...]/ por que isso acontece se não é favorável?/ eu não acho que é favorável não/ você ter que tirar energia do meio para formar ligação/ mas ocorre/ por que?/*

(54) L1G5: *boa pergunta/ isso é que ele [se refere ao professor] quer saber/*

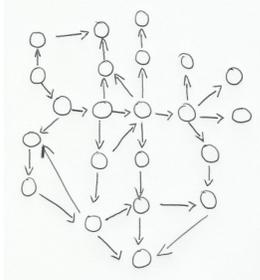
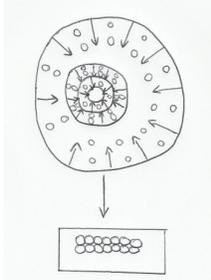
(55) L3G5: *se eu estou com dúvida/ como eu vou tirar a dúvida dos meninos?/*

(56) L1G5: *a gente nunca viu essa dúvida na aula / né/ L3G5/*

(57) L3G5: *nunca perguntei por que era exotérmico ou era endotérmica/*

Na situação de ensino aqui investigada, os licenciandos tiveram a oportunidade de reconhecer os seus limites frente ao conteúdo discutido, buscando desenvolver estratégias relacionadas à mediação do conhecimento científico. Além disso, tomaram consciência da complexidade que perpassa o ato de ensinar e, sobretudo, dos desafios que os professores enfrentam no processo de construção do conhecimento científico.

Ao final da discussão, o grupo apresentou na atividade escrita o seguinte *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 5	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
	
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<p><i>Representação dos choques efetivos entre as partículas em decorrência do aumento da energia cinética, devido ao aquecimento. Esse choque entre as partículas provocariam o aumento da temperatura.</i></p>	<p><i>As partículas terão os espaços vazios entre elas diminuídos. Embora elas estejam se aproximando, o espaço entre elas é menor, o que lhes permite menos liberdade para vibrar ou chocar. Com isso, temos o resfriamento.</i></p>

A partir das representações anteriores, foi surpreendente perceber que o grupo não mencionou o processo de quebra das ligações químicas como fonte de calor para

o sistema, fato esse sustentado algumas vezes por L2G5 e L3G5 durante as interações estabelecidas com o professor. Assim, a ideia expressa no desenho remete ao *modelo 1*, em que os choques entre as partículas, ocasionados pelo grau de liberdade delas, seriam a explicação para o calor relacionado aos processos químicos em estudo, de forma que com uma menor quantidade de choques haveria menos calor, ou seja, o resfriamento.

Sobre uma possível explicação para o fato de algumas reações liberarem calor para o ambiente e outras absorverem, além da origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados, o grupo destacou no material escrito uma ideia diferente da origem do calor nos choques e movimentos de partículas (*modelo 1*). Nesse caso, eles se valeram de outro modelo, que reafirma uma inversão na relação entre liberação/absorção de energia e quebra/formação de ligações, como destacado nas interações do grupo com o professor:

Reações químicas liberam calor porque é preciso quebrar as ligações químicas de reagentes iniciais para formar compostos mais estáveis. Durante essa quebra das ligações nos reagentes, ocorre liberação de energia, ou seja, os reagentes devem “perder” energia para dar origem a compostos mais estáveis. Reações químicas absorvem energia porque é preciso fornecer uma quantidade de energia para que se quebre as ligações químicas fortes, para que então se formem compostos estáveis.

Esse calor provém da própria quebra das ligações químicas e não de um fator externo.

- **GRUPO 6 (PARTE I)** – *Calor resultante de processos dinâmicos (movimento gera atrito que produz calor – modelo 1); na sequência, propuseram explicar o calor por meio da Lei Zero da Termodinâmica (Equilíbrio Térmico – modelo 2).*

Os licenciandos desse grupo iniciaram a discussão quando o professor questionou sobre a possibilidade de representar o calor com *modelos concretos*. L2G6 disse que não era viável representar uma grandeza abstrata com materiais concretos. Entretanto, L2G6 propôs explicar o calor por meio de uma analogia com os *“estalinhos ou bombinhas de São João”*. L2G6 ainda apontou durante a discussão que o calor deve ser entendido como algo processual, ressaltando que no caso da *bombinha*, somente o atrito poderia gerar calor. Em seguida, demonstrou essa relação ao esfregar uma mão na outra.

Na sequência, L1G6 trouxe para ser discutida a seguinte pergunta apresentada no material escrito: *o que é calor?* Diante desse questionamento, o referido licenciando apontou para a necessidade de mostrar que calor pode ser considerado processual (*não está guardado dentro de nada*), associando o calor a uma diferença de temperatura. L1G6 diz que essa diferença de temperatura se relaciona a diferença de potencial. L2G6, por sua vez, sugeriu explicar o que é calor considerando um modelo que envolve a troca térmica entre corpos com temperaturas diferentes. Para tal, definiu calor como *“energia em trânsito”*, relacionando essa grandeza ao equilíbrio térmico (Lei Zero da Termodinâmica). Mediante essas proposições, o professor questionou como tal ideia poderia se relacionar ao calor envolvido nas transformações químicas. L1G6 propôs nesse momento definir o conceito de Entalpia. Em seguida, o professor sugeriu que os materiais concretos fossem utilizados para auxiliar na visualização dos processos químicos e na explicação desse conceito.

- **GRUPO 6 (PARTE II)** – *Modelo relacionado à quebra e formação das ligações químicas, ressaltando inicialmente o tipo (simples/dupla) e, em seguida, a força das mesmas (fraca/forte) (modelo 3).*

A discussão foi retomada com os licenciandos do grupo, buscando construir uma ideia para explicar a energia envolvida nas transformações químicas endotérmicas. Nesse momento, L1G6 demonstrou dificuldade para explicar o processo utilizando os *modelos concretos* elaborados para representar a reação de formação da água.

- (1) ((Professor)): [...] e aí/ com esses modelos/ o que vocês podem me falar?/
- (2) L1G6: não sei/ a gente montou desmontou/ montou de novo e desmontou/ já quebrei palitinho/ já fiz de novo/
- (3) ((Professor)): tá/ então você já montou desmontou quebrou palitinho/ fez desfez refez/
- (4) L1G6: não cheguei a conclusão nenhuma/

Com os *modelos concretos*, os licenciandos desse grupo pensaram inicialmente no número de ligações dos reagentes que foram rompidas e dos produtos que foram

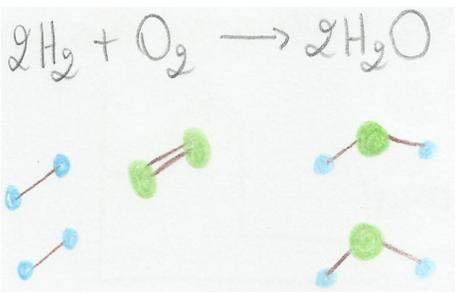
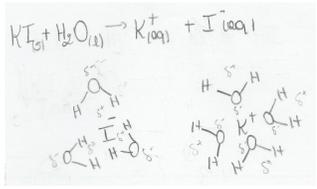
formadas, tal como propuseram os licenciandos do Grupo 1. Entretanto, constataram que era a mesma quantidade de ligações para os reagentes e os produtos, levando em conta a ligação dupla na molécula de oxigênio, que não havia sido considerada no modelo proposto pelo Grupo 1. Ressaltou-se nesse momento que a ligação dupla seria mais fácil de ser rompida, sem maiores explicações. Além disso, as ligações simples na molécula de água são estabelecidas entre átomos diferentes, com eletronegatividade distintas. Partindo dessa constatação, concluíram que tais ligações poderiam ser mais fortes. Segundo os licenciandos do grupo, essa ideia seria coerente para explicar a energia envolvida nos processos exotérmicos.

Para os processos endotérmicos, os licenciandos pensaram inicialmente na dissolução do KI, com destaque para a ligação iônica desse composto, considerada forte. Durante a exposição dessa ideia, foi discutida a solvatação dos íons e a sua consequente estabilização, além das interações do tipo dipolo estabelecidas no sistema (interações mais fracas). Além disso, destacaram o maior grau de liberdade dos íons em solução quando comparado com os sólidos, ideia essa associada ao *modelo cinético molecular*. Buscaram discutir também a questão da Entropia do sistema, lançando mão da ideia de *“microestados possíveis”*. Em seguida, L2G6 ressaltou a questão referente ao rompimento das ligações mais fortes e formação de interações mais fracas. O professor, então, questionou o que seria uma *“ligação forte”* e uma *“ligação fraca”*. L1G6 disse que não sabia explicar em que se baseia essa diferença. Na sequência, L3G6 ressaltou que uma *“ligação forte”* seria aquela que envolveria mais energia. L2G6 prosseguiu mencionando que seria aquela mais difícil de ser rompida. Essa discussão pode ser verificada nos turnos demarcados a seguir:

- (5) ((Professor)): *então conta pra mim o que vocês pensaram com esses modelos/*
- (6) L2G6: *[...] é que primeiro a gente pensou/ por exemplo no exotérmico/ no número de ligações formadas e rompidas/ para ver se dava/*
- (7) ((Professor)): *ótimo/ ligações formadas e rompidas/ perfeito/*
- (8) L2G6: *quantidade de ligações/ aí é a mesma quantidade/ aí só que tem os tipos que são diferentes/ a do oxigênio tem a ligação dupla/ no caso é mais fraca/ mais fácil de ser rompida/ e também as simples que vão formar depois são entre átomos diferentes que têm diferente eletronegatividade/ então vão ser ligações mais fortes/ [...]*
- (9) L1G6: *paramos por aí [inaudível]/*

- (10) L2G6: *paramos por aí porque na hora que a gente foi ver o endotérmico/ a gente estava pensando na dissolução/ aí estava mais complicado representar as interações com a água/ a gente pensou assim/ o KI é sólido/ apresenta ligações iônicas entre seus átomos [faz gesto com as duas mãos indicando junção dos átomos]/ [...] uma ligação forte/ como o KI está dissolvido em água/ formam os íons/ que são solvatados pelas moléculas de água/ formando interações do tipo dipolo/ que são mais fracas/ então pela diferença das ligações que haviam antes e das interações que surgiram depois/ já dá uma diferença/ e além disso/ no sólido/ os átomos que estão ali/ só podem vibrar/ então/ ele está compacto/ em um volume fixo/ mas vibram/ e na solução/ eles têm uma maior movimentação/ tem um maior número de microestados possíveis/ aí a gente não pode entrar tanto nesse conceito/ né?/ de Entropia/ não pode falar essa palavra/*
- (11) ((Professor)): *pode/*
- (12) L2G6: *então/ por que a gente pensa nisso?/ porque o conceito mais claro de Entropia para a gente é o número de microestados possíveis para um sistema/ então se ele consegue se rearranjar de mais formas diferentes/ aí/ é uma Entropia maior/ tem uma maior estabilidade [...]/ porque tem uma ligação mais forte formando interações mais fracas/*

Ao final da discussão, o grupo apresentou na atividade escrita o seguinte *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 6	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
	 <p><i>KI(s): sólido, compacto, volume fixo, forma fixa, átomos apenas vibram.</i></p> <p><i>K⁺(aq) I⁻(aq): átomos com maior liberdade de movimentação, maior número de microestados possíveis, maior Entropia.</i></p>
<p><i>Avaliar o número de ligações formadas e rompidas e os tipos de ligações (simples/duplas).</i></p>	
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<p><i>São rompidas 4 ligações e são formadas 4. Uma das ligações rompidas é dupla (e, portanto, mais fraca).</i></p>	<p><i>Rompem-se as ligações iônicas (mais fortes) do KI(s) e formam-se interações dos seus íons com a água do tipo dipolo (mais fracas).</i></p>

Sobre uma possível explicação para a origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados, o grupo destacou que:

O calor absorvido/liberado vem do saldo energético das ligações que são rompidas e formadas.

Junto a essa resposta, foram apresentados dois gráficos destacando a energia de ativação e a variação da Entalpia nos processos exotérmicos e endotérmicos. A não reprodução deles aqui se justifica pelo fato dos mesmos terem sido apenas ilustrativos, sem apresentar conexão direta com a resposta. Além disso, durante a discussão com o professor a possibilidade de se utilizar gráficos não foi proposta pelos licenciandos.

- **GRUPO 7 (PARTE I)** – *Inicialmente, os licenciandos não expressaram suas ideias.*

Os integrantes desse grupo começaram a discussão com o professor relatando que não haviam conseguido usar os *modelos concretos* para explicar o aquecimento e o resfriamento resultantes dos processos químicos em estudo, atribuindo isso à limitação dos mesmos. Na sequência, L1G7 disse que os conceitos termoquímicos são muito complexos para serem representados concretamente. Dentre esses conceitos, destacou-se a Entalpia e o calor. Foi apontada também a dificuldade para expressar tais ideias por meio dos modelos, considerando que eles são representações estáticas. Nesse momento, desconsiderou-se a possibilidade de manipular os modelos durante a explicação dos processos termoquímicos em estudo, tal como proposto pelos licenciandos do Grupo 2. Isso poderia ser feito caso os *modelos concretos* fossem usados para simular e discutir os processos em estudo, dando maior dinamicidade às representações. Tal discussão foi verificada na seguinte sequência de turnos:

- (1) ((Professor)): [...] *qual é a maior dificuldade em ensinar isso para os alunos?/*
- (2) L1G7: *porque todos os conceitos envolvidos são extremamente difíceis/ como você define Entalpia?/ como se define calor?/ isso é fácil de definir?/ não é fácil de definir/ [...]*
- (3) ((Professor)): *vocês acham fácil representar isso por meio de modelos?/*
- (4) L1G7: *pior ainda/*
- (5) L4G7: *por meio de modelo é difícil/*
- (6) ((Professor)): *por quê?/*
- (7) L2G7: *porque o modelo é uma coisa morta/*

- (8) ((Professor)): [...] *então você acha que com esses modelos [aponta para os modelos concretos] não têm a possibilidade de mostrar algum processo para os alunos?/*
- (9) L2G7: *tem sim/ porque modelo não é exatamente o que acontece/ tanto que fala é um modelo/*
- (10) L4G7: *a gente só ainda não conseguiu enxergar isso/*

No turno [7], verifica-se que L2G7 supõe que os modelos sejam necessariamente estáticos (“*coisa morta*”). A princípio, o referido licenciando parece reduzir o modelo ao suporte material (materiais concretos utilizados para modelar os fenômenos na atividade), desconsiderando os diferentes recursos e ações que devem ser articulados juntamente com ele, tais como gráficos, tabelas, imagens, fórmulas químicas e matemática, analogias, gestos e simulações. Todos esses recursos podem se associar às representações concretas, como discutido por Gilbert (2005). O uso deles, na perspectiva da Semiótica Social, é fundamental para a construção de significados em sala de aula (Cappelle, 2005; Kress et al., 2001) e para favorecer o entendimento do dinamismo inerente aos processos químicos (Silva Oliveira, 2013).

- **GRUPO 7 (PARTE II)** – *Utilizaram gráficos para discutir a relação energética envolvida nos processos endotérmicos, além de abordar os aspectos quantitativos (modelo 1); por fim, explicaram a relação qualitativa dos processos termoquímicos, lançando mão do modelo relacionado à quebra e formação das ligações químicas (modelo 2).*

Os licenciandos retornaram a interação com o professor relatando que ainda buscavam pensar em um modelo que representasse os processos termoquímicos em estudo. Inicialmente, L1G7 propôs explicar a relação energética envolvida nas transformações químicas por meio de um gráfico termoquímico. Para isso, foi apontada a diferença entre a Entalpia dos reagentes e produtos, de modo que o saldo final pudesse caracterizar o processo como exotérmico ou endotérmico.

Em seguida, o professor questionou como esse processo poderia ser representado usando os modelos. Essa indagação começou a ser discutida baseada no processo endotérmico. O grupo apontou que, nesse caso, houve um ganho de energia

potencial dos reagentes para os produtos, aumentando assim a energia do sistema. A energia interna do sistema (U) foi caracterizada por sua componente cinética mais a potencial, devendo a sua variação (ΔU) ser constante. Discutiu-se essa ideia considerando o gráfico conhecido como *poço potencial*, que representa a Energia potencial *versus* a distância internuclear para explicar a formação da molécula de H_2 . Tal gráfico foi utilizado para explicar as ligações covalentes, cuja característica principal é o compartilhamento dos pares eletrônicos entre os átomos envolvidos na ligação. Seguem os turnos de fala, com a transcrição da discussão em que os licenciandos propuseram utilizar o referido gráfico como recurso para mediar o conhecimento:

- (11) ((Professor)): [...] *como você representaria usando um modelo?/*
(12) L4G7: *então/ aí vem a energia potencial agora/*
(13) L1G7: *aí/ o que a gente percebe é que há um ganho de energia aqui/ do reagente para os produtos/ um ganho de energia potencial/ então/ para que a Primeira Lei da Termodinâmica²¹ seja cumprida/ com energia potencial/ então/ eu tenho que a energia interna de um sistema/ é sempre uma componente cinética mais uma componente potencial/ nós percebemos aqui pelo gráfico que a componente potencial aumenta/ só que em qualquer processo o ΔU tem que ser constante/*
(14) L4G7: [...] *a energia potencial pode estar relacionada com a distância da ligação/*
(15) ((Professor)): *então/ quanto maior a distância/*
(16) L4G7: *menor a energia potencial/*
(17) ((Professor)): *como você consegue mostrar isso?/*
(18) L4G7: *no gráfico de/ [faz um gesto com o dedo indicador da mão direita desenhando no espaço o gráfico poço potencial que explica essa questão discutida]/*
(19) L1G7: *do gráfico de potencial de ligação/*
(20) ((Professor)): *como é que você ensina isso para um aluno?/*
(21) L4G7: [...] *você pode mostrar que quando está aproximando/ um átomo de outro/ [segura os modelos feitos com esferas de isopor e palitos]/ chega um ponto que a energia/ é mínima/*
(22) L1G7: *é a mínima possível/*
(23) L4G7: *e é por isso que forma molécula/ mas chega um ponto que se você for/*
(24) L1G7: *aproximando mais/*
(25) L4G7: *aproximando mais mais mais/ até que pode acontecer a fusão dos núcleos/ a energia é extremamente enorme/ e isso é mais difícil de acontecer/ né/ acontece/ no Sol/ onde tem a fusão dos átomos de Hidrogênio para formar Hélio/ aí/ a energia potencial pode ser explicada*

²¹ A Primeira Lei da Termodinâmica se relaciona à conservação da energia, estabelecendo que a energia interna (U) de um sistema isolado é sempre constante.

com a distância a partir desse gráfico/ e mostrando os modelos mesmo/ eu acho que isso o aluno consegue entender/ aí a energia potencial/ ela está relacionada com a Entalpia/ isso você tem que falar/ e/ a energia interna do sistema tem que conservar/ isso daí o aluno também tem que saber/ você fala/ tem que conservar energia/ uma parte é cinética/ a outra é potencial/ se a potencial aumenta/ o que acontece com a cinética?/ para conservar a interna/ ela tem que diminuir/ o que é temperatura?/ temperatura é a energia cinética das moléculas/ se a energia cinética diminui/ a temperatura diminui/ então endotérmica diminui/

(26) L1G7 e L4G7: *aí absorve energia do sistema [falam juntos]/*

(27) L1G7: *energia do meio para poder vencer essa barreira aqui de energia de ativação/*

Na sequência, a partir dessa representação de energia associada às ligações químicas, os licenciandos apresentaram ao professor o modelo que utilizariam para explicar a energia envolvida nas transformações químicas. É importante ressaltar que toda vez que uma ligação química é formada, a energia do sistema diminui, considerando que parte dela se dissipa. Assim, a quantidade de energia envolvida no rearranjo dos átomos em uma transformação química vai depender do balanço entre a energia consumida para quebrar as ligações dos reagentes e a energia liberada na formação de novas ligações. No processo exotérmico, por exemplo, a energia liberada durante a formação das ligações é maior que a consumida para quebrá-las. O licenciando L1G7 sustentou, ainda, a importância de considerar os aspectos quantitativos associados a esses processos, mesmo com a discordância do professor e, de certo modo de um colega do grupo (L4G7), tal como destacado nos turnos de fala demarcados a seguir:

(28) L4G7: *agora a gente pensou a questão da energia para quebrar/ isso/ a gente pensou também/ nos modelos/ na energia para quebrar/ no caso/*

(29) L1G7: *a energia envolvida para quebrar as ligações/ a energia envolvida para formar as ligações/*

(30) L4G7: *no caso do endotérmico/ seria muito mais difícil/ a gente gastaria muita energia para quebrar/ e na hora de formar/ ia liberar muita energia/*

(31) L1G7: *então/ como a gente vai quantificar isso?/*

(32) L4G7: *tem um saldo de energia/*

(33) ((Professor)): *não precisa quantificar/ é só qualitativo/*

(34) L1G7: *mas como?/ e se um aluno vier para mim e me perguntar/ falar assim/ professora/ por que você está dizendo isso aí que forma mais/ libera mais energia na hora que forma?/ [...]*

- (35) ((Professor)): *you perceived by the system a heating or a cooling/*
- (36) L1G7: *sim/ até aí eu concordo/ então/ se o sistema esfriou/ quer dizer que o processo é endotérmico/ essa informação eu estou tirando do experimento/ agora eu quero explicar/ não é?/ explicar com modelos/*
- (37) ((Professor)): *exato/*
- (38) L1G7: *então/ a energia que eu vou gastar para quebrar vai ser maior do que a energia que eu vou gastar para formar/ a energia que eu vou gastar para formar não vai compensar/ a energia que eu gastei para quebrar/*
- (39) L4G7: *e essa energia que você gastou para quebrar você teve que absorver do meio/*
- (40) L1G7: *agora/ aí o aluno vai me perguntar/ mas por que?/ aí como eu explico para ele sem quantificar isso/ porque não é direto/*
- (41) ((Professor)): *não precisa/ você vai pensar em uma relação qualitativa/*
- (42) L4G7: *ah/ eu acho que o qualitativo também dá/*
- (43) L1G7: *mas eu acho que o qualitativo nem sempre vai/ você entende o que eu estou?/ [...] eu posso dar uma explicação quanti/ qualitativa/ mas que em alguns exemplos não funcionam/ [...] porque aí eu preciso trabalhar com números/ para quebrar tal precisa de tanto/ para formar tal precisa de tanto/*
- (44) ((Professor)): *não/ mas aí não precisa/ você vai mostrar para ele a quebra e a formação/ não precisa nesse momento de quantificar/*
- (45) L1G7: *mas aí em algum momento eu vou precisar quantificar/*
- (46) ((Professor)): *vai/ mas para explicar o processo a princípio não há necessidade/ quando você quiser um valor preciso/ aí você tem que recorrer às tabelas de energia de ligação/*

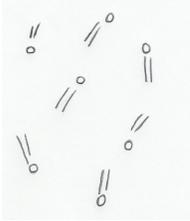
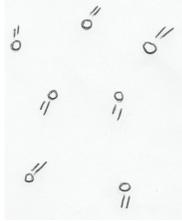
Em seguida, o professor questionou como seria possível ocorrer uma transformação química endotérmica, se nesse caso teria a formação de produtos mais energéticos e, conseqüentemente, menos estáveis. Os licenciandos disseram que para pensar nesse processo, era necessário considerar também a Entropia do sistema. Entretanto, apontaram que trabalhar o conceito de Entropia associado apenas à desordem do sistema seria uma forma incorreta para abordar esse assunto. Além disso, reconheceram a complexidade desse conceito, sobretudo para ser ensinado a estudantes do Ensino Médio, tal como destacado a seguir:

- (47) ((Professor)): *[...] se tudo tende a ter uma menor energia/ por que formou um produto que é mais energético? [faz referência ao processo endotérmico]/*
- (48) L4G7: *pois é/ aí que tá/ a questão não é só a Entalpia/ a Entropia explica essa parte/ porque o processo/ ou ele é dirigido entalpicamente ou entropicamente/*

- (49) L1G7: *aí é que nós teríamos que explicar/*
- (50) ((Professor)): *é possível explicar Entropia/ por meio de um modelo/ como esse?/*
- (51) L4G7: *Entropia?/ então/ o problema é esse/ a definição de Entropia é um problema/ porque/ Entropia não é desordem/ não é/ e o que a gente ensina no segundo grau é isso/ eu não quero ensinar para os meus alunos que é desordem/ porque não é/ entendeu?/ são estados energéticos configuracionais/ [...] e isso depende de vários fatores/ por exemplo do número de mols/ depende da temperatura/*

A partir dos turnos demarcados anteriormente, é possível inferir que os licenciandos desse grupo compreendem que os *modelos concretos* são limitados para contemplar todos os atributos inerentes aos processos termoquímicos em estudo. Considerando essa limitação, reafirma-se aqui a necessidade de se utilizar diferentes recursos multimodais em sala de aula, de modo a facilitar a comunicação das ideias e permitir a construção de significados nesse espaço (Kress, 2010). Além disso, os licenciandos apontaram para a dificuldade em generalizar um modelo, considerando a situação discutida para explicar o processo endotérmico, que necessita de outros aportes teóricos a serem articulados durante a explicação, tal como o conceito de Entropia.

Ao final da discussão, o grupo apresentou no material escrito o seguinte *modelo consensual* para explicar os processos termoquímicos em estudo, baseado no *modelo cinético molecular*:

MODELO CONSENSUAL DO GRUPO 7	
SISTEMA AQUECIDO	SISTEMA RESFRIADO
	
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	
<i>Maior a temperatura, maior o grau de agitação das moléculas, maior a velocidade (energia cinética).</i>	<i>Menor a temperatura, menor o grau de agitação das moléculas, menor a velocidade (energia cinética).</i>

Cabe destacar que o modelo representado pelo grupo ao final da atividade possuía menos atributos que os modelos discutidos durante a aula, tal como aconteceu com a proposta apresentada pelos licenciandos do Grupo 5. Nesse sentido, parece que não foi considerado, a princípio, o fato de as expressões *sistema aquecido* e *sistema resfriado* se relacionarem aos processos termoquímicos apresentados no início da atividade. Tal inferência pode ser feita com base na explicação dada para o fato de alguns processos químicos liberarem calor para o ambiente e outros absorverem, como pode ser constatado na resposta escrita apresentada pelo grupo:

Algumas [reações] liberam calor porque a energia necessária para quebrar as ligações é menor que a energia liberada na formação das ligações. Algumas absorvem calor porque a energia necessária para quebrar as ligações é maior que a energia liberada na formação das ligações.

[O calor gerado] *Vem da energia dos átomos e da vizinhança.*

Com base na resposta apresentada anteriormente, é possível inferir que os licenciandos desse grupo compreenderam a dificuldade para representar processos dinâmicos (quebra e formação das ligações) por meio de desenhos. Assim, preferiram se basear em um modelo simplificado e, ao mesmo tempo limitado, que tentasse explicar os processos termoquímicos em estudo.

Assim, para sintetizar as ideias elaboradas durante as discussões estabelecidas entre o professor e os licenciandos na aula, apresenta-se a Tabela 01 com os modelos propostos pelos sete grupos. Cabe ressaltar, mais uma vez, que tais modelos emergiram em dinâmicas relacionadas ao desenvolvimento de propostas voltadas à mediação social e semiótica do conhecimento, sendo elaborados com o intuito de permitir aos estudantes do Ensino Médio uma melhor compreensão do conteúdo em estudo. Dessa forma, eles são considerados recursos e/ou ações fundamentais para subsidiar o processo de construção e mediação do conhecimento científico em sala de aula.

Tabela 01. Modelos elaborados pelos licenciandos durante o processo de Modelagem para explicar o saldo energético relacionado às transformações químicas exotérmicas e endotérmicas.

Caracterização dos modelos elaborados e principais atributos associados a eles				
GRUPO	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo consensual do grupo
1	Quebra e formação das ligações: energia relacionada à quantidade de ligações rompidas e formadas.	---	---	Ideia semelhante à proposta no Modelo 1 .
2	Processo endotérmico: dissolução do KI em água e estabilização do sistema por meio da solvatação dos íons formados.	Modelo cinético molecular: movimento inerente às ligações, além da energia cinética associada ao sistema, que favorece os choques efetivos.	Quebra e formação das ligações: processo favorecido pelos choques efetivos causados na movimentação molecular.	Ideia semelhante à proposta no Modelo 2 , com destaque para o rearranjo dos átomos (Modelo 3 – quebra e formação das ligações).
3	Quebra e formação das ligações: energia associada ao tamanho das ligações.	---	---	Ideia semelhante à proposta no Modelo 1 , com destaque para a variação de Entalpia do processo.
4	Ideia relacionada ao conceito de Entropia do sistema.	---	---	Ideia semelhante à proposta no Modelo 1 , associando o processo exotérmico à diminuição da Entropia e o endotérmico ao aumento.
5	Modelo cinético molecular: a princípio, essa ideia foi utilizada para descrever apenas o processo exotérmico.	Quebra e formação das ligações: processo relacionado à estabilidade do sistema.	Modelo baseado na natureza das ligações (iônica/covalente): associação com a força das mesmas.	Ideia semelhante à proposta no Modelo 1 , contemplando também o processo endotérmico. Quebra e formação das ligações (Modelo 2).
6	Calor como sendo resultante de processos dinâmicos: movimento gera atrito, que produz calor.	Lei Zero da Termodinâmica: associação com o equilíbrio térmico estabelecido entre os corpos.	Quebra e formação das ligações: associada ao tipo de ligação (simples/dupla) e a força (fraca/forte).	Ideia semelhante à proposta no Modelo 3 , com atributos relativos ao Modelo Cinético Molecular de partículas.
7	Utilização de gráficos termoquímicos: propõe explicar a relação quantitativa.	Quebra e formação das ligações: propõe explicar a relação quantitativa.	---	Modelo cinético molecular, relacionado à quebra e formação das ligações químicas (Modelo 2).

A partir da Tabela 01 é possível constatar que seis grupos propuseram *modelos consensuais* cujas explicações se relacionavam ao mecanismo de quebra e formação das ligações químicas. No entanto, se faz necessário destacar que os grupos 1 e 3 apresentaram simplificações em seus modelos que os tornaram parcialmente incorretos e o grupo 5 sustentou um modelo com uma inversão das relações entre a liberação/absorção de energia e quebra/formação de ligações. Outros atributos se associavam a esse modelo, de modo a aumentar sua abrangência e o potencial explicativo. Apenas o Grupo 4 não apresentou o mecanismo de quebra e formação de ligações, propondo um modelo que se associava à Entropia do sistema, de modo que o processo exotérmico é explicado pela diminuição da Entropia e o endotérmico pelo aumento. Segundo o entendimento (equivocado, do ponto de vista químico) dos licenciandos desse grupo, o processo exotérmico estaria associado a uma “saída” de calor do sistema, conferindo ao mesmo maior organização (as partículas ficariam mais coesas e, conseqüentemente, com menor Entropia). Ao contrário, no processo endotérmico, o sistema absorveria calor, fazendo com que um maior número de partículas se dispersasse no sistema, ocasionando assim uma diminuição no grau de organização do mesmo.

É importante ressaltar que as ideias finais propostas pelos grupos podem ser associadas a *modelos consensuais mistos*, tendo em vista que as diferentes propostas apresentadas ao longo do processo de Modelagem foram sendo articuladas para dar origem ao modelo do grupo, que seria socializado com a turma na aula seguinte. Como exemplo, temos o Grupo 1 que propôs um modelo explicativo relacionado à quebra e formação das ligações químicas, conferindo a essa ideia atributos relacionados à quantidade de ligações envolvidas no processo. O mesmo aconteceu com os demais grupos, tal como destacado a seguir: Grupo 2 – *modelo consensual* associado à quebra e formação das ligações, sendo esse processo relacionado aos choques efetivos entre os reagentes, favorecendo o rearranjo dos átomos; Grupo 3 – *modelo consensual* associado à quebra e formação das ligações, com inversão dos processos associados à liberação ou à absorção de energia, sendo a energia desse processo relacionada ao tamanho das ligações; Grupo 4 – *modelo consensual* associado à Entropia do sistema,

sendo os processos em estudo relacionados ao modelo cinético molecular de partículas; Grupo 5 – *modelo consensual* associado à quebra e formação das ligações, com inversão dos processos associados à liberação ou à absorção de energia, sendo os referidos processos relacionados ao modelo cinético molecular de partículas, sem integração entre uma e outra explicação; e Grupos 6 e 7 – *modelo consensual* associado à quebra e formação das ligações, sendo essa ideia também relacionada ao modelo cinético molecular de partículas.

Por fim, na aula seguinte esses modelos foram socializados com todos os licenciandos, de modo a ser possível agregar novos atributos ao *modelo consensual* da turma, que emergiu desse processo de externalização e discussão das ideias.

Convém destacar que as diferenças existentes entre os licenciandos quanto ao conhecimento químico envolvido e, ainda, quanto às concepções de ensino e mediação pedagógica subjacente às suas respostas, favoreceram a emergência de um *modelo consensual* próximo do conhecimento científico estabelecido e, ainda, pedagogicamente relevante.

4. AULA 6: INVESTIGANDO AS POSSIBILIDADES DE MEDIAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO EM SALA DE AULA DURANTE A SOCIALIZAÇÃO DOS MODELOS

Nessa aula buscou-se permitir aos licenciandos uma melhor compreensão do processo de Modelagem vivenciado, a partir da socialização e discussão com a turma dos modelos elaborados para explicar a energia envolvida nas transformações químicas. A partir dessas ideias, propôs-se o *modelo consensual* da turma que, baseado em Gilbert, Boulter e Elmer (2000), pode ser caracterizado como *modelo curricular*, ou seja, aquele ensinado nas aulas e que representa uma forma simplificada dos *modelos científicos*. Tal modelo emergiu com as contribuições trazidas pelos grupos ao longo da socialização das ideias, contemplando assim as etapas de *expressão dos modelos e identificação da abrangência/limitações* dos mesmos.

A seguir, a presente aula será dividida em nove partes, respeitando a sequência em que os eventos aconteceram. Isso favorecerá a apresentação e discussão dos

modelos propostos por cada grupo, além de permitir uma análise preliminar das ações articuladas pelos licenciandos e pelo professor na condução da aula.

- **PARTE 1 – Explicação pelo professor da atividade de socialização dos modelos.**

Inicialmente, o professor buscou manter a narrativa das aulas anteriores, resgatando brevemente o propósito da atividade de Modelagem realizada. Nesse momento foi ressaltada a importância dos modelos como recursos para a mediação do conhecimento científico em sala de aula, considerando a perspectiva sócio-histórico-cultural de Vygotsky e sua relação com o processo de aprendizagem. Destacou ainda que os modelos propostos para explicar os processos termoquímicos tornam-se instrumentos psicológicos, sobretudo quando lhes são atribuídos significados por meio da interação social fomentada nas atividades. Foi apontada também a importância de se elaborar um *modelo consensual* da turma, a partir das contribuições trazidas pelos demais grupos. Essas questões podem ser verificadas na fala introdutória do professor:

- (1) ((Professor)): [...] *quando você tem o modelo/ ele se torna um instrumento para mediar essa relação estabelecida entre você o aluno e o conhecimento/ para que depois esse conhecimento seja internalizado/ porque/ primeiramente/ o conhecimento/ ele é socializado/ e a partir da socialização a gente internaliza esse conhecimento/ [...] quando você constrói modelos/ tem a possibilidade de discutir com o outro/ de maneira mais efetiva/ mostrando o significado daquilo que você pensa/ e buscando explicações que/ a princípio/ só pela fala/ são extremamente complicadas/ porque você precisa mostrar ideias que são representadas por meio de processos/ e que/ a fala por si só se torna um recurso limitado para tentar explicar isso daqui/ então na aula de hoje por exemplo/ nós teremos o processo de socialização dos modelos/ desenvolvidos para explicar os processos endotérmicos e exotérmicos/ conforme a gente já havia apresentado nas últimas aulas/ e depois nessas explicações tentaremos conceber um pouco/ essa ideia de absorção e liberação de calor nos processos termoquímicos/ como explicar?/ como é que um modelinho como esse aqui do Grupo 1 [aponta para o referido modelo concreto]/ me permite explicar/ um processo endotérmico e exotérmico?/ ou isso não me permite explicar?/ por meio desse modelo/ eu consigo trazer alguma coisa de concreto para o aluno entender como se processam essas transformações químicas?/ então são questões que eu quero que vocês pensem/ questões que primeiro/ vocês vão pensar enquanto um professor/ uma professora/ que está à frente de uma turma/ e que precisa explicar isso a eles/ [...] vamos ter bastante*

atenção para que a gente possa criticar os modelos/ ver os atributos de cada um dos modelos que são interessantes/ para que nesse momento da socialização/ a gente consiga pensar novas propostas com o grupo/ para que a gente possa também reformular os nossos modelos e depois propor um modelo consensual/ [...]

O professor destacou o caráter social do conhecimento, apontando que nas atividades de Modelagem, o sentido que delas emergem são negociados discursivamente. Isso desloca a exclusividade do discurso verbal durante o processo de ensino, em direção a uma orquestração de múltiplos modos de comunicação, tal como discutido nos trabalhos de Cappelle (2014) e Silva Oliveira (2013). Na sequência a essa apresentação inicial, os modelos elaborados pelos grupos foram socializados com a turma. Para tal, os licenciandos utilizaram diferentes modos para comunicar suas ideias, buscando integrar os *modelos concretos* à fala, simulações, gráficos e gestos, de modo a dar mais dinamicidade às propostas apresentadas. Isso permitiu analisar os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados entre os sujeitos que interagiram em um dado contexto sócio-histórico-cultural, utilizando para isso a comunicação verbal, visual e gestual. Assim, com a possibilidade de se articular tais interações multimodais em sala de aula, os licenciandos buscaram compartilhar as diferentes ideias discutidas durante as etapas de *elaboração* e *expressão* dos modelos.

- **PARTE 2 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 1: L1G1 e L3G1 estavam ausentes²².**

Os licenciandos apresentaram a mesma ideia proposta na discussão com o professor durante a aula anterior. Reconheceram algumas limitações no modelo elaborado e demonstraram novamente as dificuldades para se explicar o processo endotérmico. Isso pode ser verificado na sequência transcrita a seguir:

²² A aula 6 aconteceu no mesmo dia em que parte dos licenciandos dessa turma faria prova de *Física III*. Assim, dos vinte e sete licenciandos, cinco estavam ausentes. Todos aqueles que não compareceram a aula serão indicados, de modo a ser possível verificar se tal ausência refletiu em alguma dificuldade para se articular as propostas de mediação do conhecimento na avaliação final do processo de Modelagem.

- (2) L2G1: [Explicação para o processo exotérmico] *primeiro/ no reagente/ teríamos duas moléculas de hidrogênio/ e mais essa aqui/ que seria/ uma molécula de/ oxigênio/ aí aqui nós temos três ligações/ essas ligações/ quando elas são rompidas/ absorvem energia/ aí/ o produto seria/ as duas águas/ ou seja/ quatro ligações/ como/ quando forma as ligações/ há liberação de energia/ o saldo/ no caso/ assim/ seria de mais ligações formadas do que rompidas/ logo/ liberaria energia na forma de calor/ por isso o sistema ficaria aquecido/*
- (3) ((Professor)): *ótimo/ então/ o grupo de vocês pensou no número de ligações/ se pensar pelo número de ligações/ a gente tem ligação dupla no oxigênio/ vocês consideraram isso?/*
- (4) L2G1: *não/*
- (5) ((Professor)): *[...] alguém tem alguma contribuição à ideia que propuseram?/*
- (6) L2G6: *a gente pensou nisso/ só que a gente considerou a dupla/*
- (7) ((Professor)): *então o Grupo 6 pensou como o Grupo 1/ no número de ligações/ só que considerando as duplas/ [...] para o processo endotérmico/ o que vocês haviam pensado?/*
[dirigindo-se aos licenciandos do Grupo 1]
- (8) L2G1: *então/ aí a gente pensou no processo inverso/ só que ele não é espontâneo né/ mas a gente colocou é/ a reação de decomposição da água/ só para explicar em relação a esse tanto de ligação que foi formada ou rompida/ aí vai ser o contrário/ então no caso o produto vai ter mais ligações que vão ser rompidas do que formadas/ logo as ligações rompidas/ elas absorvem energia/ então o saldo seria de/ absorção de energia/*

Nesse momento da aula, os licenciandos do Grupo 1 não discutiram a ideia trazida por L2G6, que destacou o fato de o Grupo 6 ter proposto um modelo semelhante ao que havia sido apresentado, com a diferença de que as ligações duplas na molécula de oxigênio foram consideradas. Tampouco foram discutidos os diferentes tipos de ligações e a energia envolvida no rompimento e formação de cada uma delas, aspecto que mereceu atenção do Grupo 6, mas que foi ignorado pelo Grupo 1. Diante dessa situação, o professor preferiu não intervir junto aos licenciandos para explorar melhor essa ideia, deixando para resgatar tais questões na apresentação do Grupo 6. Isso seria mais adequado, tendo em vista que outros atributos discutidos ao longo da aula pelos demais grupos poderiam ser incorporados a essa proposta inicial, na busca por construir o *modelo consensual* da turma. Dessa forma, a aula prosseguiu com a apresentação do Grupo 2.

• **PARTE 3 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 2.**

Os licenciandos do Grupo 2 propuseram um modelo relacionado à quebra e formação de ligações químicas. Para isso, representaram reações distintas para explicar os processos exotérmicos e endotérmicos. No caso do exotérmico, foi utilizada a reação de formação da água [$2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$] e no endotérmico a de formação do HI [$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HI}(\text{g})$]. Para representar a dinamicidade desses processos químicos, os licenciandos usaram os modelos elaborados para simular a movimentação molecular e a ocorrência dos choques efetivos entre os reagentes, o que favoreceria a quebra das ligações químicas. A partir daí, os átomos se rearranjarão para formar novas ligações nos produtos, que se daria com a liberação de energia. O saldo energético final do processo seria a diferença entre a energia absorvida nos reagentes para romper as ligações e a liberada durante a formação das novas ligações.

Os licenciandos desse grupo utilizaram os *modelos concretos* de forma bastante significativa, sobretudo no momento em que eles foram manipulados em sala de aula, com o objetivo de explicitar aspectos do conteúdo estudado e favorecer a articulação das propostas de mediação do conhecimento científico. Isso aconteceu quando representaram a dinamicidade dos processos químicos, simulando movimentos com os modelos para explicar o saldo energético associado às transformações químicas exotérmicas e endotérmicas. A transcrição dos turnos de fala apresentada a seguir mostra a referida discussão:

- (9) L1G2: [...] *o maior problema foi fazer um modelo que explicasse os dois processos de uma maneira semelhante/ [...] a gente procurou dois processos semelhantes/ um endotérmico e um exotérmico/ e aí/ como é que a gente vai explicar esses processos de maneira semelhante/ cadê os nossos* [fala com L3G2, que lhe entrega os modelos]/ *aqui nós temos/ um modelo do gás hidrogênio/ [...] agora vou pedir ajuda do L3G2/ nosso sistema aqui é meio doido/ vamos lá/ olha só/ onde está a energia de uma molécula/ por exemplo o nosso hidrogênio/ ele está parado aqui?/ igual eu estou segurando ele aqui?/ não/ ele está se movimentando* [manipula o modelo, simulando a movimentação molecular]/ *ou seja/ tem energia cinética/ a ligação dele está vibrando* [interrompe a simulação de agitação molecular feita com o modelo e inicia um movimento apenas com as esferas de isopor, em relação à haste feita com massa de modelar que as unem]/ *ou seja/ no caso eu até quebrei ela* [a ligação, feita com massa de modelar]/ [...]

ela vibra/ então tem energia vibracional/ e tem energia rotacional também [faz um novo tipo de movimentação com outro modelo, já que desfez a ligação de um deles ao simular a vibração]/ a molécula não está parada/ [enquanto isso, L3G2 estava fazendo movimentos com um modelo ao lado de L1G2]/ aí/ como seria nosso modelo para explicar a endotérmica ou exotérmica?/ temos o nosso hidrogênio movimentando rodando vibrando/ e tem o nosso oxigênio também/ deixa eu ver o oxigênio aqui L3G2/ já quebrei o hidrogênio todo aqui/ que vibra/ que roda e que gira/ também/ [L3G2 faz os movimentos com o modelo que representa a molécula de oxigênio]/ aí como seria a reação/ tem as moléculas se movimentando/ aí uma hora elas iam se chocar [L1G2 e L3G2 chocam os modelos das moléculas de hidrogênio e oxigênio]/ a quebra acontece/ gastaria uma certa quantidade para/ quebrá-la/ de forma que depois/ formaria uma outra molécula/ com interações diferentes/ a gente mostrou aqui uma interação de cor diferente/ molécula de cor diferente/ e um par de elétrons em cima/ e porque o saldo aqui foi negativo?/ no caso/ foi exotérmica/ na formação dessas novas ligações/ para voltar a energia cinética/ a energia vibracional e rotacional dessa molécula/ é diferente das que estavam antes/ e essa diferença é menor do que zero e/ no saldo total é exotérmica/ no caso contrário/ do nosso// (3s) o hidrogênio/ com o iodo/ [L1G2 segura um modelo e L3G2 outro]/ o mesmo esquema/ ela roda/ ela gira/ ela vibra/ ela está se movimentando/ ela reagiu/ na reação/ quebra/ forma uma nova molécula/ com energia vibracional/ rotacional e interna/ [...] no caso/ o saldo aqui é positivo/ logo a reação é endotérmica/ então absorveu energia do sistema/ no caso da água/ liberou energia/ esse foi o modelo que a gente usou para explicar os dois processos/ o endotérmico e o exotérmico/

(10) ((Professor)): [...] *ok/ alguma contribuição à apresentação deles?* [questionamento direcionado para a turma]// (4s) *bom/ tiveram ideias interessantes/ vamos pensar um pouco nelas/ [...]*

A partir da explicação trazida por L1G2, com a colaboração dos demais componentes do grupo, verificou-se a importância das interações multimodais na construção social do conhecimento, sobretudo para conseguir explicar alguns processos dinâmicos das Ciências. Sem priorizar a multimodalidade parece ser inviável construir significados para os processos termoquímicos, buscando representá-los apenas de forma estática. Isso foi algo que os licenciandos do Grupo 2 parecem ter compreendido quando se depararam com os limites representacionais dos *modelos concretos*, inclusive para representar grandezas tal como calor e energia. Ao verificar essa questão, tomaram consciência da importância de se utilizar diferentes estratégias

enunciativas e recursos visuais ou gestuais que pudessem transformar os objetos concretos em modelos para descrever os processos químicos.

- **PARTE 4 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 3.**

A discussão apresentada pelos licenciandos desse grupo destacou a possibilidade de mediar o conhecimento a partir de uma proposta, a princípio, incompatível com o *modelo curricular* (quebra e formação das ligações químicas, associando esse processo ao tamanho das ligações). Apesar disso, o modelo apresentado conseguiu explicar, de forma limitada, os processos termoquímicos em estudo. A maior ressalva é que o modelo se vale de uma ideia que materializa a energia nas ligações químicas, dando um caráter substancialista à proposta explicativa.

Nesse sentido, é oportuno mencionar que tal modelo foi criado com o objetivo de simplificar os processos termoquímicos em estudo e facilitar o entendimento dos estudantes no Ensino Médio. Assim, ele poderia se relacionar a uma etapa elementar e simplificada do processo de construção do conhecimento, passando depois por discussões que permitiriam o aprofundamento dessa ideia. Para justificar os argumentos apresentados anteriormente, segue parte da transcrição com os turnos de fala referentes à socialização do modelo proposto por esse grupo:

(11) L1G3: [...] *a gente fez a formação da água/ exotérmico/ aí a gente partiu/ duas moléculas de H₂/ uma de O₂/ formando duas de água/ aí a gente considerou/ que o palito/ ele é a ligação entre os dois átomos/ e ele/ contém/ a energia da molécula/ então/ o palito basicamente é a energia que a molécula contém/ aí/ o que acontece/ para formar duas moléculas de água/ a gente tem que quebrar/ as ligações do hidrogênio e do oxigênio/ então/ parte aí/ como é fácil a quebra do palito/ a gente vê que é uma reação espontânea e que/ como o palito/ simboliza a energia/ quando a gente quebra/ para formar essas duas novas ligações/ [mostra para a turma os modelos prontos para representar as moléculas de água]/ a gente vai ter uma/ liberação de energia/ porque tem uma sobra de palito/ entendeu?/*

(12) ((Professor)): [...] *essa sobra de palitos/ é proveniente da diminuição no tamanho da ligação?/*

(13) L3G3: *é como se fosse/ [...] a energia é o comprimento de ligação/*

(14) L2G3: [...] *o que a gente quer mostrar é que sobraram palitinhos aqui/ então/ a gente quer mostrar é como se tivesse liberado energia/*

(15) L3G3: [...] *o processo inverso/ no caso/ é como se nós fornecêssemos energia/ para a molécula de água/ mas esse processo não é espontâneo/ porque/ não é possível/ não é tão fácil/ juntar*

os palitos/ porque os palitos na hora de serem quebrados é muito mais fácil/ então é muito mais espontâneo/ agora o processo inverso/ que é/ aumentar o comprimento da ligação/ ali/ é um processo mais difícil/ a gente teria que fornecer muita energia para a molécula de água/ então o processo não seria espontâneo/ [...]

(16) L1G3: *é/ mas/ no caso/ é totalmente o inverso/ a gente quer mostrar para o aluno que aqui/ as ligações são menores/ e para a gente formar as ligações maiores/ a gente vai ter que unir os palitinhos/ aí quando a gente une/ está gastando energia para formar as outras ligações/*

(17) ((Professor)): *para esse modelo/ vocês buscaram ideias de processos termoquímicos e estudos da termodinâmica/ ou foi basicamente uma forma de explicar/ que vocês criaram de maneira bastante lúdica?/*

(18) L3G3: *é/ foi bastante lúdico/ porque/ nós queríamos passar para os alunos/ tirar aquelas dúvidas/ né/ deles/ mas de forma/ bem/ assim/ com uma linguagem bastante voltada para o Ensino Médio/ nada disso de falar de Entropia/ nada de conceito muito além/ porque senão/ ao invés de facilitar a compreensão do aluno/ nós iríamos dificultar/ [...]*

(19) L1G3: *eu acho que a gente/ assim/ a discussão que a gente teve/ foi/ no caso da Entalpia/ para o aluno/ aquele salto de energia representa basicamente um número/ um valor/ e com esse modelo a gente mostra/ olha/ está sobrando/ a gente está absorvendo/ então é uma forma fácil de explicar/ mas claro/ assim/ no primeiro momento/ para o aluno ter contato/ de liberação/ de absorção de energia/ eu acho que ficou bom/*

No contexto formativo aqui discutido, é importante refletir sobre a relevância dessas propostas criativas em atividades que contemplam a construção social do conhecimento, tendo em vista que a ideia apresentada pelos licenciandos não pode ser relacionada ao desconhecimento da teoria por parte deles. Pelo contrário, ela pode ser associada a uma tentativa de facilitar o acesso ao conteúdo estudado, utilizando para isso analogias que, naturalmente, são limitadas. Tais limitações foram reconhecidas pelos licenciandos desse grupo, que justificaram o referido modelo como sendo uma possibilidade de, em um primeiro momento, favorecer a compreensão dos estudantes no Ensino Médio. Além disso, cabe ressaltar que a proposta de Modelagem pressupõe a articulação do potencial criativo, sobretudo no momento em que se constroem os modelos, o que pode justificar a apresentação de uma ideia como essa.

No entanto, como se verificou no turno [11], a liberação de energia nos processos exotérmicos é explicada pela quebra de ligações e, nos turnos [15] e [16], o gasto de energia em processos endotérmicos está relacionado à recomposição das

ligações (palitos menores formando palitos maiores). Ou seja, o modelo proposto pelo grupo vai de encontro ao conhecimento químico estabelecido.

Assim, as atividades de Modelagem colocam o professor no dilema entre fomentar o processo criativo entre os estudantes e a necessidade em convergir os modelos explicativos produzidos com os modelos cientificamente validados. Nesse momento do processo, o formador opta pela primeira opção. Revisitando os dados e o processo formativo em análise, observa-se que as discussões dessas contradições teriam favorecido uma reflexão tanto sobre o conhecimento químico, quanto das formas de uma possível mediação pedagógica desse conhecimento.

- **PARTE 5 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 4.**

Durante a apresentação e discussão dos modelos na turma, os licenciandos desse grupo demonstraram não ter clareza da distinção entre os processos físicos e químicos, tendo em vista que os modelos propostos por eles se baseavam na utilização de processos físicos para explicar os aspectos termoquímicos em estudo. Nesse sentido, a dissociação do KNO_3 foi relacionada ao processo endotérmico e a dissolução da amônia em água ao exotérmico. A explicação para esses processos se baseou na ideia geral de Entropia, sendo esse conceito associado apenas ao grau de desordem do sistema, que se relaciona, nesse caso, à quantidade de partículas dispersas no mesmo, tal como explicado na descrição da aula anterior.

Considerando a dificuldade dos licenciandos em articular novas ideias, optou-se por apresentar apenas a parte final da transcrição desse grupo, sem retomar a discussão dos exemplos relacionados aos processos físicos utilizados para explicar a energia envolvida nas transformações químicas. Além disso, durante a socialização do modelo elaborado pelo Grupo 6, os integrantes do Grupo 4 levantaram o debate sobre a distinção entre os processos físicos e químicos, partindo das contribuições trazidas pelos demais grupos ao longo da aula. Dessa forma, considera-se mais adequado priorizar essa discussão posterior, sobretudo por julgar que ela traz maiores elucidações ao modelo proposto pelos licenciandos do Grupo 4. Assim, será destacada parte da transcrição com as ideias relacionadas à proposta de mediação do

conhecimento. Isso aconteceu quando o professor solicitou aos licenciandos que fosse apresentada uma forma de explicar esse conteúdo aos estudantes:

- (20) L1G4: [...] *falar para eles* [estudantes do Ensino Médio] *que ocorre liberação ou não de energia*/ [...] *pode mostrar a partir desse modelo* [manipula o modelo concreto para representar o íon amônio – NH_4^+]/ *colocar outras reações/ no quadro mesmo/ escrever outras reações para os nossos alunos/ a gente chegou até a pensar aqui/ mas não era uma coisa assim que a gente poderia fazer e mostrar para o aluno/ olha/ aqui aquece ou absorve/ entendeu/ só que eu acho que a partir desse modelo você pode colocar essas outras equações químicas no quadro/ mostrar a variação na Entalpia/ fazer uma relação/ é/ analogia/ uma comparação/*
- (21) ((Professor)): [...] *como se explica esse processo de liberação?/ essa liberação é oriunda de onde?/ de que processo?/ como?/*
- (22) L1G4: *então/ a liberação ocorre por causa das/ é/ quando você quebra uma ligação/ você absorve energia/ quando você forma ligação/ você libera energia/ então/ o que acontece/ quando você está fazendo/ é/ uma reação química/ por exemplo/ vamos pensar aí mesmo/ na dissociação da amônia* [confunde dissociação com decomposição]/ *não na transformação dela/ por exemplo/ você tem NH_3 / você tem/ é/ pensar na estequiometria/ você tem dois NH_3 eu acho/ três/ não sei/ aí você primeiro vai quebrar/ essas ligações/ né/ seria lá quando a gente tem* [interrompe a fala e faz um gesto descrevendo o gráfico termoquímico, indicando no espaço o topo da energia de ativação do sistema]/ *aí durante essa quebra/ você tem um aumento da energia/ você absorve energia/ só que aí depois/ você vai formar mais ligações/ vai formar a ligação do H_2 / e vai formar a ligação do N_2 / e aí essas ligações que você vai formar/ vão liberar mais energia do que você teve que absorver para quebrar elas/ por isso que no final libera energia/ o processo é exotérmico/*

No que se refere à explicação energética para a quebra e formação das ligações químicas, a ideia apresentada pelo grupo se mostra compatível com os aspectos teóricos e operacionais associados a esse processo. Entretanto, foi incorreto relacionar a decomposição da amônia a um processo exotérmico. Isso porque a reação expressa pelo equilíbrio $2 \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$ apresenta um valor de $\Delta H^\circ = + 92,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$, indicando que esse processo é endotérmico²³. Assim, talvez fosse mais adequado utilizar uma reação genérica para explicar o processo de quebra e formação das ligações, de modo a evitar a associação incorreta com o saldo final de algum processo. Cabe reconhecer, entretanto, que durante a aula os licenciandos não tiveram acesso a

²³ Dado retirado de Rangel, R. N. (2006). *Práticas de Físico-Química*. 3ª ed., São Paulo: Edgard Blücher.

fontes de informações (livros, apostilas, tabelas termodinâmicas, internet) que os permitisse consultar os valores para a variação de Entalpia. Assim, fizeram uma extrapolação direta a partir de experiências anteriores relacionadas, provavelmente, às aulas práticas que tiveram durante as disciplinas do curso, e que se vinculava a eventuais percepções físicas de alguns processos, sobretudo aqueles associados à dissolução dos sais de amônio em água, que são endotérmicos.

- **PARTE 6 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 5: L1G5 e L2G5 estavam ausentes.**

A discussão apresentada por L3G5, único licenciando do grupo presente nessa aula, teve a contribuição de colegas dos Grupos 4 e 7. Esses licenciandos apresentaram atributos relacionados à energia de ativação e outras variáveis que influenciam os processos termoquímicos, tais como Entalpia, Entropia, Energia Interna e Energia Livre de Gibbs. Cabe destacar que não houve um envolvimento efetivo entre os integrantes desse grupo durante a elaboração do modelo e discussão da atividade, tal como aconteceu com os demais grupos. As ideias socializadas com a turma por L3G5 podem ser verificadas nos turnos de fala transcritos a seguir:

- (23) L3G5: [...] *no processo exotérmico libera calor/ porque as energias/ as ligações quebradas têm maior energia/ então para formar as outras ligações/ não gastaria toda a energia/ então libera/ e no endotérmico/ para formar as ligações do produto/ é como se o reagente não tivesse energia suficiente e tivesse que pegar do meio/ é por isso que o sistema esfria/ na verdade/ foi desse jeito que eu aprendi/ como o L2G5 nem o L1G5 estão aqui para defenderem a ideia deles/ então fica isso mesmo/*
- (24) ((Professor)): *vocês pensaram diferente/ né?/*
- (25) L3G5: *é/ eu estou olhando o negócio do L2G5 aqui [se refere à folha com a atividade realizada pelo referido licenciando]/ mas eu não entendi nada/ L2G5 também pensa só por ele/*
- (26) ((Professor)): [...] *agora/ quando você pensa na relação de quebra e formação de ligações/ você consegue enxergar algum problema nos processos endotérmicos?/ por exemplo para explicar os processos endotérmicos?/*
- (27) L3G5: *pois é/ não acho que seria viável formar uma ligação que você tem que pegar energia para formar ela/ isso não é espontâneo/ se não é espontâneo/ porque ocorre?// (3s) isso é que eu não sei/*

- (28) L4G7: [...] *tem processo endotérmico que é espontâneo/ [...] porque realmente igual L2G4 falou/ tem autores que falam que é um processo químico/ outros falam que é um processo físico/ mas tudo bem/ vamos tratar como processo físico/ é espontâneo/ porque/ a questão aí de/ absorver energia/ é energia de ativação [faz um movimento com a mão de baixo para cima representando a energia de ativação em um gráfico termoquímico]/ você precisa de uma energia de ativação maior/ para a reação ocorrer/ mas ela é espontânea/*
- (29) L3G4: *e essa questão de ser espontânea ou não/ você olha o saldo energético também né/ de antes e depois/ para falar se é ou não espontâneo/*
- (30) ((Professor)): *então L3G4 está trazendo um subsídio interessante/ porque/ para falar de saldo energético/ nós temos que pensar na energia dos reagentes/ energia dos produtos/ pela Lei de Hess/ a diferença da energia final dos produtos/ menos a inicial que é a dos reagentes/ eu tenho o saldo energético do processo/ que é o que a gente chama de variação da Entalpia/*
- (31) L3G4: *é sim/ essa é a energia de ativação/ que nem a L4G7 falou/*
- (32) ((Professor)): *mas a energia de ativação entra no processo?/ essa diferença?/*
- (33) L3G4: *não/ a energia não/ [...]*
- (34) L4G7: *para a questão de absorver energia/ para a reação ocorrer/ essa energia que é absorvida/ você leva em conta a energia de ativação/ você precisa de uma energia maior para a reação começar a ocorrer/ agora/ não é só Entalpia que está envolvida/ a Entropia também está envolvida/ para a Energia de Gibbs ser positiva né? [fala direcionando para L1G7]/*
- (35) L1G7: *menor do que zero/*
- (36) L4G7: *menor do que zero/ eu sempre confundo isso/ para a Energia Livre ser menor do que zero/ para ser espontânea/*
- (37) ((Professor)): *ótimo/ está vendo como a gente entra em um nível de complexidade muito maior/ isso é uma questão interessante/ porque/ quando a gente vai tentar explicar para os alunos esse tipo de relação/ nós temos um problema muito sério/ porque Entalpia/ Entropia/ Energia Livre de Gibbs são coisas que tem um grau de complexidade extremamente elevado/ para um aluno do Ensino Médio/ por isso que nós temos que pensar em ideias que caracterizam o processo de forma simples/ e mostrar para os alunos que/ com toda a complexidade desse processo/ em alguns momentos a gente vai ter limitações/ a gente não consegue com um modelo explicar tudo/ não é mesmo?/*

L3G5 apresentou a ideia geral que predominava entre os integrantes dos demais grupos até aquele momento da aula: quebra e formação das ligações químicas. Esse modelo foi considerado o que melhor poderia descrever os processos termoquímicos em estudo. Entretanto, a explicação apresentada no turno [23] foi

equivocada, considerando que a quebra das ligações químicas demandaria absorção de energia e a formação liberaria energia. No entanto, esse aspecto não foi comentado pelo professor ou por outros licenciandos. Além disso, não foram consideradas as ideias discutidas pelos demais integrantes do Grupo 5 ausentes na aula, sobretudo aquelas relacionadas ao *modelo cinético molecular*, e da relação desse com o conceito de calor nos processos químicos. Isso confirmou a pouca integração das ideias, que pode ser justificada pela dificuldade de entrosamento no grupo durante as aulas.

No turno [29], L3G4 associou a espontaneidade dos processos químicos à Lei de Hess. Tal associação foi incorreta, considerando que a espontaneidade dos processos químicos se relaciona à variação da Energia Livre de Gibbs. Dessa forma, com as contribuições de integrantes dos grupos 4 e 7, a discussão se deslocou para a questão da espontaneidade dos processos químicos, sem consenso algum ao final e sem uma discussão mais qualificada a esse respeito. Diante dessa situação, o professor optou por não intervir, o que se justifica pelo fato de que tais conceitos demandam um aprofundamento que não se faz necessário para o nível de instrução ao qual se destinavam os modelos propostos: o Ensino Médio.

No caso de L3G5, que relacionou de forma incorreta o processo de quebra das ligações à liberação de energia e a formação à absorção, o professor deixou para intervir somente ao final da aula, quando foi discutido o *modelo consensual* da turma. Nessa ocasião, os licenciandos tiveram a possibilidade de esclarecer eventuais equívocos sobre a referida ideia. A imparcialidade do professor nesse momento buscou permitir que os demais licenciandos (grupos 6 e 7) expressassem suas ideias sem a influência de uma orientação teórica mais diretiva. Tal atitude permitiu verificar a compreensão dos licenciandos sobre a teoria em estudo, de modo a ser possível avaliar uma possível origem para esses equívocos, que se apresentam de forma recorrente entre os estudantes do Ensino Médio e, agora, verificado também entre os futuros professores de Química. A constatação desses equívocos foi uma surpresa para o professor formador, considerando o período do curso ao qual a disciplina se destina. Esse ponto será retomado posteriormente, na discussão das questões de pesquisa, com os dados da avaliação final do processo.

- **PARTE 7 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 6: L3G6 estava ausente.**

Os licenciandos desse grupo iniciaram a socialização das ideias ressaltando a dificuldade encontrada para elaborar um modelo simplificado e que conseguisse explicar os processos termoquímicos como um todo, sendo acessível aos estudantes do Ensino Médio. Eles consideraram que o ensino de conceitos complexos, tal como os relacionados ao calor, energia, Entalpia e Entropia, demandaria um alto grau de abstração dos estudantes, não devendo se reduzir a explicações restritas apenas a representação dos processos por meio de *modelos concretos*. Os objetos concretos, entretanto, só assumem a função de modelos quando a eles são atribuídas relações, por meio da linguagem e de outros modos semióticos. Novamente aqui, verifica-se a importância da *multimodalidade*, tal como apontado por Kress (2010) e outros trabalhos que consideram a perspectiva multimodal no ensino de Ciências (Capecchi, 2004; Jaipal, 2010; Silva Oliveira, 2013; Cappelle, 2014).

Para discutir o processo exotérmico em questão, foi pensado em um modelo baseado na formação da água, de modo a ser possível utilizá-lo posteriormente para a explicação de outras transformações químicas. Como atributo principal desse modelo, as características energéticas envolvidas foram associadas às ligações químicas que compunham os reagentes e o produto da reação. As ligações simples (H-H e O-H) foram consideradas “*mais fortes*” (associação feita à ligação σ) e as duplas “*mais fracas*” (associação feita à ligação π). Assim, o composto formado (H_2O), mesmo tendo somente ligações “*mais fortes*” (simples), assume um “*patamar de estabilidade*” a partir do momento que libera parte da energia para o meio, durante a formação de novas ligações. É importante ressaltar também que o processo de quebra das ligações foi corretamente associado à absorção de energia e o de formação à liberação de energia. Os licenciandos do Grupo 1 apresentaram a mesma ideia, mas consideraram a dupla ligação com sendo apenas uma. Além disso, não pensaram na energia envolvida em cada ligação e no fato de algumas delas serem “*fortes*” e outras “*fracas*”. Essa discussão pode ser verificada nos trechos transcritos a seguir:

- (38) L1G6: [...] *eu tive uma dificuldade muito grande/ em tudo/ para mim/ explicar isso para alguém que não esteja no nível da gente/ universitário/ já ficou difícil/ então/ pessoalmente/ foi uma tarefa muito complicada/ a gente conseguiu discutir/ L2G6 já trabalhou com os meninos de Ensino Médio há mais tempo/ ela tinha uma experiência maior/ daí a gente propôs/ para o exotérmico/ acho que foi o que a maioria fez/ tirando o das meninas ali [aponta para os licenciandos do Grupo 4]/ foi a formação da água/ a gente pensou na formação em relação à quantidade de ligações/ só que aí a gente considerou a ligação dupla do oxigênio/*
- (39) ((Professor)): *certo/*
- (40) L1G6: *e ao considerar a ligação dupla do oxigênio/ a gente propôs que as ligações simples são mais fortes que as ligações duplas/ então aqui você vai ter/ uma ligação simples/ e uma ligação dupla/ e todas as ligações que são formadas/ são simples/ então você sai de uma ligação mais fraca/ para uma ligação mais forte/ mas por que isso então não absorveria energia/ já que ela é mais forte?/ porque ela vai para um patamar de estabilidade maior/ se ela vai para um patamar de estabilidade maior/ libera mais energia/ então/ a partir do momento que libera mais energia/ essa reação vai ser/ exotérmica/ ok?/ falei alguma besteira?/*
- (41) ((Professor)): *libera mais energia de onde?/*
- (42) L1G6: *da formação da ligação/ a gente propôs/ a todo momento que/ na quebra [faz gesto com as duas mãos indicando aspas para a palavra quebra]/ das ligações/ há uma absorção/ e na formação da água/ há uma liberação/ esse saldo energético/ essa diferença de energia/ que vai falar se o processo é endo ou exo/ neste caso é exo/*

Em relação ao processo endotérmico, tal como o Grupo 4, os licenciandos deste grupo também optaram por pensá-lo a partir da dissociação de compostos iônicos em água. Com o exemplo do KI, tentou-se explicar as relações energéticas inerentes às transformações químicas endotérmicas, utilizando para isso o conceito de Entropia. Na sequência, foi sugerida uma analogia relacionada ao grau de liberdade das partículas no sistema, de modo a facilitar a compreensão do processo químico. Parte dessa discussão pode ser verificada nos turnos de fala transcritos a seguir:

- (43) L1G6: *para explicar o endo/ a gente propôs uma dissolução/ do KI em água/ também em relação às ligações/ [pega os modelos entregues por L2G6] aqui você tem o iodo e o potássio/ iodo e o potássio/ então a água vai solvatar/ e tira/ daí vai ficar positivo/ porque tem uma densidade positiva aqui e negativa/ e aqui é o contrário [faz gestos apontando para o polo positivo e negativo no modelo que representa a molécula de água]/ daí ele vai dissolvendo/ então você quebra as ligações mais fortes/ que seriam ligações iônicas do sal/ para formar ligações mais fracas/*

- (44) L4G6: *interações/*
- (45) L1G6: *interações/ obrigado/ são interações mais fracas que vão ser estabelecidas/ mas por que isso é válido?/ por que isso é espontâneo?/ isso é espontâneo porque você/ aumenta a área de movimentação [faz gesto de aspas novamente]/ a gente não queria usar o termo direto Entropia/ mas você faz com que a molécula/ com que o átomo/ que está vibrando/ cadê o negócio [procura o modelo para continuar a explicação]/ ele tem uma pequena área de movimentação/ e a partir do momento que ele está solto/ ele tem uma maior movimentação/ por isso que é espontâneo/ porque você aumenta/ as possibilidades de movimentação [...]/*
- (46) L2G6: *a gente até fez na nossa folhinha/ um jeito de explicar Entropia que a gente aprendeu com a monitora de Físico-química/ e a gente acha muito didático/ tipo assim/ ela faz um quadrinho dividido em dois/ um retângulo/ partido no meio/*
- (47) ((Professor)): *quer fazer no quadro? [L2G6 se levanta]/ mostra para a gente L2G6// (8s)*
- (48) L2G6: *[já em frente ao quadro] ela faz assim/ tipo assim/ esse é o seu sistema/ aí você pode ter aqui/ uma molécula/ um átomo/ um íon/ qualquer coisa/ então/ quando você só tem uma molécula um átomo um íon/ ele pode ter dois estados possíveis/ ou ele está desse lado/ ou ele está desse lado aqui/ do seu recipiente/ do seu sistema lá [faz no quadro o desenho apresentado nas imagens a seguir]/*



- (49) L2G6: *[...] e se você tiver duas diferentes/ aí quais são as possibilidades?/ ou as duas podem estar deste lado/ ou as duas podem estar deste lado/ ou pode estar/ a fechadinha aqui/ a aberta aqui/ ou o contrário/ e aí já aumentou para quatro microestados possíveis/ quatro possibilidades de organização/ e aí vai aumentando/ com três/ quatro/*
- (50) ((Professor)): *e isso a gente pode fazer uma relação com o quê?/*
- (51) L1G6: *com a Entropia/ só que/ como Entropia é um conceito difícil para a gente/ [...] muito complexo/ que não precisa ser abrangido para que o aluno entenda isso/ ele percebe que se a molécula está aqui [pega o modelo elaborado e começa a manipulá-lo]/ isso daqui está se movimentando como um todo/ vamos supor/ que ele está lá/ quando você joga ele na água/ ele quebra/ a partir do momento que ele quebrou/ gera mais um/ daí são quatro/ são seis/ vai*

aumentando/ então/ há um maior grau de movimentação/ você não precisa falar que é Entropia/ eu acho desnecessário falar de Entropia no colegial/

(52) ((Professor)): *de fato/ é um conceito bem complexo para você levar para o aluno/ mas por exemplo/ quando se pensa aqui na dissolução/ nós conseguimos levar esse conceito por meio de uma comparação/ de uma analogia para os processos químicos?/ é a mesma pergunta que eu fiz para o Grupo 4/*

(53) L2G6: *consegue/*

(54) L1G6: *com certeza/ por que não?/*

Nesse momento, inicia-se a discussão relacionada à possibilidade de associar o processo físico de dissociação iônica a uma determinada transformação química. Sobretudo quando se considera o exemplo apresentado do íon amônio (NH_4^+), formado durante o equilíbrio que se estabelece no processo de dissolução da amônia em água, de acordo com a seguinte equação: $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$. Essa discussão pode ser verificada nos turnos de fala apresentados a seguir:

(55) L2G6: *[...] uma dissolução pode ser endotérmica ou exotérmica/ e elas também são formadas de interações com a água/ então não deixa de ter rompimento de ligações/ e formação de novas ligações/ inclusive a gente falou/ rompe a ligação iônica e forma-se interações do tipo dipolo com a água/ eles já vão ter estudado isso/*

(56) L1G4: *quando você classifica um processo químico/ ou físico/ você fala/ o fenômeno físico é aquele que é reversível/ e o processo químico é o irreversível/ eu acho isso um erro/ porque a gente não trabalha com equilíbrio químico depois?/ (2s) então equilíbrio químico é o quê?/ são reações químicas reversíveis/ então como você pode simplesmente classificar em químico e físico falando em reversibilidade ou não reversibilidade?/*

(57) L2G6: *ô professor/ inclusive/ você classifica um processo como endotérmico exotérmico/ não só uma transformação química/ uma dissolução também é classificada dessa maneira/ é um conceito maior/ então acho que você tenta exemplificar com os dois/ tanto com reações químicas/ quanto com soluções/*

(58) L1G6: *o negócio é explicar o processo né/ não é explicar a transformação/ a transformação é parte/ entendeu?/ utiliza do processo/*

(59) ((Professor)): *qual é a diferença de uma transformação química propriamente dita/ quando você pensa na estrutura submicroscópica da matéria/ comparada com o processo que nós chamamos de processos físicos?/*

(60) L1G6: *as substâncias são as mesmas/ as ligações/ a única coisa que vai ser modificada/ são as interações no próprio composto/ isso no processo físico/*

- (61) L1G4: *é mudança de propriedade né/ essa que é a questão/*
- (62) ((Professor)): *as propriedades/ que formam novas substâncias/ numa transformação química/ ok/ mas pensem em uma coisa/ em uma transformação química/ acontece algo importante/ que é o rearranjo de átomos/ a interação dos reagentes permite que haja o que com as ligações?/ quebra das ligações/ e formação de novas ligações que dá origem a outros compostos/ não é isso mesmo?/*
- (63) L1G4: *então/ mas na dissolução do KI e do nitrato de potássio/ não tem quebra de ligações?/*
- (64) ((Professor)): *na verdade temos um cristal iônico/ então vamos colocar isso aqui no quadro que é interessante a gente pensar nessa situação [professor se levanta e vai até o quadro]/ nós vamos ter um cristal iônico/ geralmente uma rede cristalina [professor desenhando no quadro]/ essa rede cristalina/ ela tem uma interação do tipo íon dipolo/ acho que isso não é difícil de ninguém compreender/ [...] vamos supor que seja o iodeto de potássio [escreve no quadro KI]/ então olha/ K^+ aqui [escreve K^+ alternadamente nas arestas do cubo]/ I^- [Acrescenta I^- nas demais arestas]/ bom/ é claro para todo mundo que nós temos uma rede cristalina/ existe uma interação desses íons/ que é um tipo de interação interatômica/ de nome/ íon dipolo/ então eles vão formar dipolos/ porque tem dois polos/ positivo negativo/ negativo positivo/ positivo negativo/ e assim vai/ [professor desenha no quadro a imagem representando o modelo para a rede cristalina do KI – Figura 07]/*

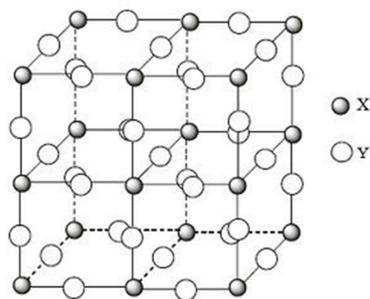
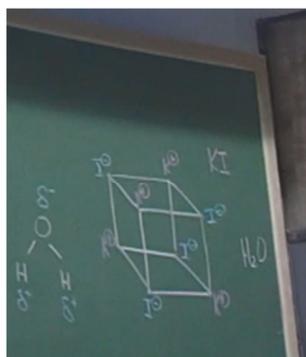


Figura 07. Foto do desenho feito pelo professor no quadro e de um modelo para representar a disposição dos íons K^+ (X) e I^- (Y) na rede cristalina. Crédito da imagem: <http://www.fisica.ufmg.br/foptica/exercicioFOp2-2005.html> (Acessado em 29/11/2013).

- (65) ((Professor)): *eles vão ter uma interação/ que vai ser rompida/ quando se coloca esse composto em um solvente polar/ por exemplo [vai ao quadro novamente e escreve a fórmula estrutural da água]/ a água/ ela tem uma característica interessante/ porque a água cria aqui/ um dipolo positivo/ e aqui em cima um dipolo negativo/ dada a diferença de eletronegatividade que nós temos entre o oxigênio e o hidrogênio/ o que vai acontecer/ é que quando a água se aproxima dos íons que estão dispostos ali naquela estrutura/ ela vai fazer o processo que nós conhecemos como solvatação/ todo mundo está acompanhando comigo essa ideia?/ essa*

solvatação/ enfraquece a interação que existe íon-íon/ fazendo com que ela fique tão fraca ao ponto de ser separada/ e começa então a interagir com o sistema/ dando a possibilidade dele se estabilizar/ é claro que há tendência de se estabilizar naturalmente/ pois se houve uma interação de um com o outro/ eles vão tentar formar um sistema que é mais estável/ ok?/ então é isso que iria acontecer em uma transformação química?// (4s) na transformação química eu tenho a quebra de ligações/ que são ligações efetivas que existem entre os átomos/ para a formação de um novo composto/ o que não acontece aqui/ porque não há formação de um novo composto/ eu tenho ali o KI/ só que o KI não está preso em uma estrutura cristalina/ e sim dissociado/ mas ele continua sendo KI/ ele não reagiu com a água [...]/

(66) L1G4: [...] *mas quando você for falar de um composto molecular dissolvido em água/ você teria a formação de novas ligações/ no caso/*

(67) ((Professor)): *quando nós temos um composto molecular/ vamos pegar o HCl/ ali nós temos um processo que a gente chama de ionização/ né/ também nós temos uma estabilização de íons em um sistema/ você tem a separação/*

(68) L1G4: *no caso da amônia/ por exemplo/ igual o NH_4^+ /*

(69) ((Professor)): *aí você tem/ é/ a associação de um H^+ a amônia/ ao par de elétrons não ligantes/*

(70) L2G4: *dissociação não é físico então/*

(71) ((Professor)): *a dissociação é um processo físico/*

(72) L1G4: *não é/ por causa da amônia/ da formação da ligação/ na verdade a gente não tem como provar isso/ né/ mas a gente aprende que tem a formação da ligação do NH_4^+ /*

(73) ((Professor)): *existe/ com o par de elétrons não ligantes/*

(74) L1G4: *sim/ mas há a formação da ligação/ e é um processo de dissolução/ envolve uma ligação/ então é um processo químico [risos]/*

(75) ((Professor)): *é um processo físico/ não é?/*

(76) L1G6: *é um processo físico-químico/ [várias pessoas conversando entre si nesse momento]/ amônia hidratada/*

Os turnos de fala apresentados anteriormente demonstram que, durante a socialização dos modelos, houve uma expressiva interação entre os licenciandos, com a circulação de ideias e relevantes contribuições ao processo de construção social do conhecimento. Esse efetivo debate foi favorecido pelas intervenções do professor, apresentando um discurso de autoridade. Essa atitude, evidenciada nos turnos [62] e [65], foi diferente do que aconteceu na condução das discussões ocorridas com os grupos 1, 3 e 5, quando o professor preferiu não se posicionar frente as ideias de alguns licenciandos, trazendo para a sala de aula o ponto de vista da Ciência.

Na sequência, foi apresentada por L1G7 uma importante informação experimental relacionada à difração de Raio X, quando destacou-se que esse método analítico permite identificar as quatro ligações N-H no íon amônio. Assim, baseado nos dados experimentais, começou a definir se esse processo de dissolução seria físico ou químico, tendo em vista a caracterização da nova ligação e, conseqüentemente, a formação de um novo composto. Optou-se por não apresentar tal discussão aqui, considerando que não será feita uma análise pontual dela.

- **PARTE 8 – Socialização do modelo elaborado pelos licenciandos do Grupo 7.**

Os licenciandos do Grupo 7 iniciaram a discussão dos modelos propondo explicar o processo exotérmico também por meio da reação de formação da água. Foi sugerido que os próprios estudantes do Ensino Médio manipulassem os modelos, de modo a quebrar os palitos e formar as novas ligações que dariam origem ao produto, tendo a oportunidade de observar o quão dinâmico é esse processo que envolve o rearranjo dos átomos. Isso pode ser constatado no turno de fala transcrito a seguir:

(77) L1G7: [...] *a ideia seria que eles fizessem esse processo que a gente está fazendo aqui/ de mostrar a quebra das ligações/ e aí depois/ a gente usaria as mesmas bolinhas/ só que com palitinhos novos/ porque vão ser ligações que vão ser formadas/ né/ para poder formar as moléculas de água/ né/ duas moléculas de água/*

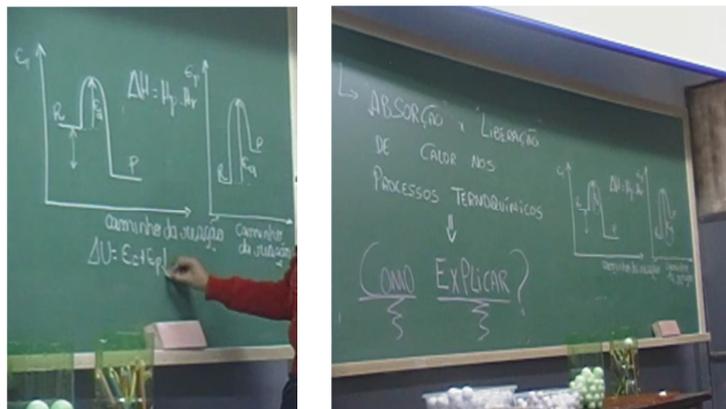
Durante a discussão, ressaltou-se que a magnitude das ligações deveria ser considerada sob o ponto de vista quantitativo (com valores definidos) e não apenas qualitativo. Foi destacada também a energia necessária para quebrar as ligações e a liberada na formação das mesmas. Além disso, propôs-se utilizar um gráfico para mediar essa explicação junto aos estudantes. Assim, o modelo elaborado para o processo exotérmico seria o mesmo apresentado pelos demais grupos (quebra e formação das ligações), com a complementação do gráfico durante a explicação dos processos termoquímicos. Em seguida, o conceito de Entalpia foi associado ao de energia potencial, que apresentaria relação com o comprimento da ligação (proximidade entre os átomos). Isso pode ser verificado nos turnos transcritos a seguir:

(78) ((Professor)): *essas ligações podem ser idênticas às anteriores?/*

- (79) L1G7: *não/ elas não são idênticas/*
- (80) ((Professor)): *por que?/*
- (81) L4G7: *a gente não sabia qual era maior/ qual era menor/*
- (82) L1G7: *pois é/ essa foi uma dúvida do grupo/ né/ a gente falou assim/ ah/ mas como a gente representa a ligação do oxigênio/ é maior ou menor que a ligação do hidrogênio?/ com relação à ligação da água/ elas não são iguais porque/ são átomos diferentes/ então a gente não sabia/ para o grupo ficou assim/ é/ a gente precisaria em algum momento/ eu não sei se seria o caso do Ensino Médio/ mas/ em algum momento a gente precisaria de número/ porque não tem como você prever o tamanho dessas ligações só teoricamente/ é muito difícil/*

Ao representar no quadro o gráfico termoquímico para o processo exotérmico, L1G7 ressaltou que a energia dos reagentes é maior que a do produto, sendo negativo o saldo energético do processo. Isso indicaria que parte da energia havia sido liberada para o ambiente, de modo a obter um produto mais estável energeticamente (menor energia pressupõe maior estabilidade). Apontou-se também que não é somente a Entalpia que rege a espontaneidade dos processos químicos. Há que se considerar a Entropia do sistema, tal como apresentado na discussão a seguir:

- (83) L4G7: *[...] nós não conseguimos fazer o modelo sem a complementação do gráfico/ no caso do exotérmico/ que L1G7 vai desenhar ali/ é basicamente o que todo mundo falou mesmo/ só que a gente colocaria o gráfico/ para complementar// (15s) a gente falaria que a energia/ a Entalpia está relacionada com a energia potencial/ como ela pode ser demonstrada no modelo?/ com relação ao comprimento da ligação que a gente não sabe/ qual é maior qual é menor/ mas no caso de dúvida/ para esclarecimento da energia potencial/ pode estar relacionado com a proximidade dos átomos/*
- (84) L1G7: *vou fazer o outro aqui [fala para L4G7, se referindo ao desenho de outro gráfico no quadro]/ aí a gente pensou o seguinte/ que/ como o processo/ é exotérmico/ a energia dos reagentes é maior que a energia dos produtos/ tá certo?/*
- (85) ((Professor)): *tá certo/*



(86) L1G7: [continua a explicação utilizando o quadro] *então tem um saldo energético aqui/ a gente teria que usar a expressão ΔH é a energia dos produtos menos a energia dos reagentes/ né/ como a energia dos produtos nesse caso aqui/ ela é menor que a energia dos reagentes/ então esse ΔH aqui/ no total seria negativo/ né/ aí a gente mostraria que a energia necessária para romper as ligações seria menor do que a energia liberada para formar os produtos/ aí a explicação da temperatura/ que foi uma outra conclusão que a gente chegou/ é que aí/ ficaria um conceito mais complicado/ que é o conceito de Energia Interna [representada no quadro pela letra U]/ mas a gente não saberia se isso seria interessante de ser mostrado no Ensino Médio/ mas Energia Interna é sempre a soma da energia cinética mais a energia potencial [equação representada na figura anterior: $\Delta U = E_c + E_p$]/ como esse caso aqui/ a energia potencial do sistema está diminuindo/ em função dos produtos que são mais estáveis em relação aos reagentes/ a energia cinética do sistema teria que aumentar/ porque esse ΔU é sempre constante pela Primeira Lei da Termodinâmica/ então/ a temperatura do sistema teria que aumentar/ em função do aumento da energia cinética/ e no processo endotérmico/ o contrário/ no caso endotérmico/ nós não pensamos em uma reação específica/ nós pensamos em uma reação genérica/ e aí nós mostraríamos que/ a energia necessária/ para poder quebrar essas ligações vai ser muito maior que a energia liberada ao serem formados os produtos/ né/ em relação à espontaneidade desse processo/ a gente tinha pensado em falar para os alunos que não é ponderado simplesmente pela Entalpia/ então não é só a Entalpia que rege a espontaneidade de um processo/ aí nós teríamos que introduzir o conceito de ΔS /*

(87) L4G7: *eu acho que o nosso modelo ficou muito complexo/*

(88) L1G7: *só que/ a dificuldade foi/ como explicar isso aqui/ né/ L4G7?/*

(89) L4G7: *é/*

(90) L1G7: *de forma que eles entendam/*

(91) ((Professor)): *vale a pena explicar Entropia no Ensino Médio?/*

(92) L4G7: *acho que vale [L4G7 e L1G7 falam ao mesmo tempo]/*

- (93) L4G7: *o problema é o jeito/*
- (94) L1G7: *[...] a dificuldade do nosso processo de construção desse modelo foi como a gente introduziria Entropia/ de forma que eles pudessem compreender/ de forma que não ficasse/ é desordem/ por isso/ a gente pensou assim/ a Entropia/ como os outros grupos já falaram/ é influenciada por vários fatores/ o número de partículas/ temperatura/ volume do sistema/ várias coisas/ como a gente mostraria isso para eles?/ tem uma explicação/ que eu gosto/ mas eu não sei se isso completaria o conceito/ as meninas mostraram uma que eu achei muito interessante/ porque você pode relacionar até com o que eu estava falando/ com o dominó/ porque parece um dominó/ você pode levar um dominó/*
- (95) ((Professor)): *talvez seja uma boa analogia/*
- (96) L1G7: *é/ você pode levar o dominó para dentro da sala de aula/ porque o dominó é colorido/ as bolinhas são diferentes/ então/ entendeu?/ mas isso eu pensei agora/ que elas mostraram isso [se refere à analogia proposta pelos licenciandos do Grupo 6]/*

Para explicar o conceito de Entropia, foi proposta inicialmente uma analogia com a utilização das peças do jogo *Dominó*, em uma relação explícita à analogia discutida pelos licenciandos do Grupo 6, considerando o aspecto físico do desenho apresentado. Entretanto, essa ideia foi substituída por outra analogia, discutida pelo professor de Físico-Química em uma das aulas dessa disciplina, com a modificação dos atributos comparativos apresentados inicialmente por ele. Cabe destacar que essa discussão teve a contribuição de L2G6, sobretudo no momento em que L1G7 reafirma a importância de se quantificar valores para obter o ΔH das transformações químicas em estudo. Isso porque quando as relações energéticas envolvidas nesses processos são tratadas apenas no âmbito qualitativo, L1G7 julga que o conteúdo fica muito superficial e pouco elucidativo para os estudantes. Isso pode ser constatado nos turnos de fala transcritos a seguir:

- (97) L4G7: *você ia falar da analogia do prédio/*
- (98) L1G7: *é/ a analogia do prédio/ a analogia que o professor de Físico-Química fez para a gente/ é a seguinte/ você tem um prédio/ com vários andares/ né/ aí você tem pessoas que vão morar nesse prédio/ aí/ você tem pessoas jovens/ com mais energia e tal/ tem pessoas/ é/ com menos energia/ mais velhas/ enfim/ até mesmo porque pode ter pessoas idosas com mais energia também/ mas/ pessoas com energias diferentes/*
- (99) L1G6: *essa analogia se associava ao poder aquisitivo/ não foi?/*

- (100) L1G7: *foi?/ então tá/ nós conversamos/ eu modifiquei o modelo dele então/ a gente pensou desse jeito/ não foi L4G7?/*
- (101) L4G7: *você me falou na questão de energia/*
- (102) L1G7: *energia/ então/ as pessoas/ com/ mais energia vão ter disposição para poder subir/ vamos supor que o prédio não tenha elevador/ então elas vão ter disposição para poder subir/ é/ as escadas e morar em apartamentos mais altos/ né/ em andares mais altos/ e as pessoas que não vão ter essa disposição/ vão ter que morar nos andares mais baixos/ então isso/ relacionaria a energia/ que as partículas do sistema possuem/ com o fato de elas poderem estar em estados mais altos/ que seriam os apartamentos/ ou em estados mais baixos/ que seriam os apartamentos no andar de baixo/*
- (103) ((Professor)): *então/ como isso seria relacionado/ a Entalpia/ Entropia?/*
- (104) L1G7: *relacionado à Entropia/ então/ porque aí é o seguinte/ quanto mais energia tem o sistema/ no caso/ seria a energia cinética que estaria relacionada diretamente com a temperatura/ mais as moléculas poderiam estar ocupando os apartamentos mais altos/ estaria com mais Entropia/ entendeu?/ o sistema estaria com mais Entropia/ só que aí entra a seguinte questão/ a Entropia é só função da temperatura?/ não é/ então a gente cai naquela questão que você quando conversou com a gente/ é/ questionou/ a gente colocou para você/ o quanto é difícil generalizar o modelo/ porque/ [L4G7 começa a falar] pode falar/*
- (105) L4G7: *na minha opinião/ eu acho que só para explicar para o aluno/ igual L3G5 falou/ o aluno já entende/ se você pegar o modelo e falar que/ no caso do exotérmico/ você gasta energia para quebrar/ e na hora de formar/ libera muito mais/ e no endotérmico/ você absorve energia do meio/ para ocorrer a quebra/ porque você precisa de muita energia para quebrar/ porque não esquenta o sistema/ porque você está usando a energia que está absorvendo/ ela não está ficando ali/ aumentando a temperatura/ ela está sendo gasta/ para separar as ligações/ então a que forma/ libera do mesmo jeito/ só que a quantidade que liberou nessa para formar/ foi menor do que a quantidade que precisou absorver para quebrar/ eu acho que o aluno entende só de explicar assim/*
- (106) L2G6: *eu acho que assim eles entendem mesmo/ e muito bem/ inclusive pelo que eu observo a maioria das escolas ensina dessa maneira/ eu acho que a única coisa que ele não consegue aprender com esse tipo de explicação/ é tipo assim/ ele vê uma reação/ vê o ΔH lá/ vê não sei o quê/ ele consegue descrever/ falar desse balanço energético e tudo/ mas ele não consegue/ se ele pegar uma reação nova/ sem o ΔH / pensar na possibilidade/ prever/ será que essa reação é endo ou é exo?/*
- (107) L1G7: *a gente tinha pensando nessa questão/ e a gente tinha colocado para o professor/ que fica muito difícil/ é/ você trabalhar isso aqui em um primeiro momento e depois não falar de números/ porque você tem que depois dar para o aluno essa possibilidade dele prever o ΔH de determinadas reações que eles não conhecem/*

- (108) L2G6: [...] *a questão que eu estou falando é pensar sobre o fenômeno/ tipo assim/ elaborar hipóteses/ pensar sobre o fenômeno mesmo/ eu estou vendo que está rompendo esse tipo de ligação/ agora/ não acontece/ quando você ensina assim/ esse balanço energético/ já tem um número lá te indicando esse balanço/ você faz uma análise mesmo assim/*
- (109) L1G7: *mas a análise numérica seria depois/ entendeu?/ isso não é pensamento do grupo/ isso é pensamento meu/ eu acho que chega um momento que fica extremamente difícil você não colocar números/*
- (110) L1G4: [...] *eu acho que como L4G7 falou/ para explicar o saldo da Entalpia/ mostrar essa diferença de quebra e formação é o suficiente/ agora/ mostrar/ porque os dois processos são espontâneos é que foi o problema/ aí que está a dificuldade/*

A discussão apresentada anteriormente permite verificar inúmeras ideias propostas pelos licenciandos na busca por construir um modelo explicativo que fosse acessível aos estudantes do Ensino Médio. Constatou-se, durante as interações discursivas estabelecidas em sala de aula, um conflito natural de ideias, na busca por propor modos adequados para a mediação do conhecimento científico. Entretanto, os licenciandos perceberam que a articulação de uma ideia simplificada, capaz de contemplar os atributos dos processos termoquímicos em sua totalidade, é impossível. As discussões em torno dos modelos permitiram aos licenciandos reflexões importantes frente às possibilidades de construção e mediação do conhecimento. Sobretudo quando se consideram os embates de ideias que foram gerados a partir dos diferentes pontos de vista apresentados, o que permitiu uma avaliação crítica dos modelos elaborados e a busca por utilizar outros recursos, tal como as analogias.

De acordo com Smolka, Goes e Pino (1998), o conflito é impulsionado pela interação social, sendo resultante de um confronto entre as ideias apresentadas por diferentes sujeitos, o que lhe confere uma dimensão interpessoal (conflito sociocognitivo) no processo de formação individual da consciência. Tal conflito favorece o processo de aprendizagem, que pode ser caracterizado como a interconversão progressiva dos diferentes recursos mediacionais e habilidades, deflagrado no ambiente externo por processos que desencadeiam o desenvolvimento interno. Essa interconversão é a possibilidade de reconstrução interna de uma operação externa, tendo em vista que a aprendizagem é um processo social e

culturalmente mediado. Isso foi verificado durante o processo construtivo vivenciado pelos licenciandos em que, segundo Pino (2005, p. 112): “[...] *na conversão das relações sociais em relações intrapessoais, o elemento que permanece é a significação dessas relações, tanto no plano social quanto no pessoal [...]*”.

Por fim, é importante destacar que a interação do grupo esteve polarizada entre L1G7 e L4G7. Os demais licenciandos se mostraram tímidos frente às discussões realizadas durante as aulas de Modelagem e no momento final de socialização dos modelos. Entretanto, dada a eloquência das ideias expressas pelos licenciandos que assumiram a apresentação e discussão dos modelos, o professor não julgou necessário naquele momento fazer intervenções que trouxessem os demais integrantes do grupo para as interações que foram sendo estabelecidas na aula.

- **PARTE 9 – Conclusão da atividade de Modelagem realizada nas aulas.**

A aula prossegue para o seu fechamento com a seguinte discussão realizada pelo professor:

(111) ((Professor)): [...] *perceberam como a riqueza no trabalho com modelos nos permite socializar conhecimentos e a partir desses conhecimentos a gente ir vendo/ eu concordo/ eu não concordo/ eu sei que muitas ideias eram apresentadas/ e muitos de vocês não concordavam com elas/ porque processavam na sua cabeça uma outra forma de pensar/ uma das coisa que mais me chamou atenção/ quando finalizamos com a apresentação do Grupo 7/ foi que para a gente ter a explicação de um processo/ quando se coloca uma explicação química no quadro e o aluno vê aquilo como algo parado/ e vocês mostraram para mim/ que/ quebra ligação/ forma ligação/ e o modelo permite você mostrar para o aluno que ali teve um processo/ que molécula não é uma coisa paradinha/ que transformação química/ ela acontece por meio de interações/ quebra de ligação/ formação de ligação/ então você tem processos que são dinâmicos/ isso daí para mim ficou claro/ com a apresentação de todos vocês/ por outro lado/ ficou muito claro para mim que os modelos que vocês colocaram/ quer ver?/ me empresta um pouquinho/ [vai até o Grupo 7 e pega um modelo]/ os modelos são recursos extremamente limitados/ com isso daqui você não consegue explicar tudo/ isso é apenas uma ideia para explicar processos que dão oportunidade para você extrapolar por meio de outras vias/ por exemplo/ por meio de uma relação matemática que é expressa pela Lei de Hess/ ou por meio de um gráfico/ [aponta para os gráficos desenhados no quadro por L1G7]/ então/ o que L1G7 colocou aqui foram aportes complementares ao seu modelo/ a sua ideia/ que permitiram*

- entender algumas coisas/ olha uma coisa interessante/ que eu percebi aqui/ vocês estão vendo a energia de ativação do processo exotérmico/ a energia de ativação do processo endotérmico [aponta para os gráficos no quadro]/ o que a gente pode mostrar para os alunos com aquilo?/*
- (112) L1G6: *que os dois absorvem/ mas o endo absorve muito mais que o exo/*
- (113) ((Professor)): *isso/ que as reações endotérmicas são muito mais difíceis de acontecer do que as reações exotérmicas/ [...] mas para que ela aconteça espontaneamente/ outros fatores estão envolvidos/ sobretudo as questões que relacionam à Entalpia/ à Entropia de um sistema/ à Energia Livre de Gibbs/ coisas que/ o aluno pode até saber que existe/ mas ele nunca vai ter um conceito matemático/ [...] eu achei muito interessante/ porque L1G7 conseguiu lançar mão de uma coisa que falava de energia interna/ relacionando Energia Interna com Energia Potencial/ né/ então chamou a Entalpia de Energia Potencial e associou a ela a Energia Cinética/ que foi bem destacado pelo Grupo 2/ quando eles por exemplo mostraram que a molécula não está parada/ que as ligações tem aquele movimento/ aquela vibração/ a rotação/ a translação/ né/ os movimentos que a gente tem de tesoura/ bending/ [...] que são movimentos das moléculas/ então tem muitas possibilidades de você explicar um fenômeno/ [...] agora teve uma outra questão/ que eu quero só perguntar para vocês/ que foi quando a aluna olhou/ está na folha [atividade]/ quando a aluna olhou no sistema/ o professor falou que o processo é exotérmico/ ela falou que não pode ser exotérmico/ sabe porque não pode ser exotérmico?/ no exotérmico o calor não está sendo liberado?/ como o calor está sendo liberado se lá dentro está quente?/ ela pensou o seguinte/ está acontecendo a reação exotérmica ali/ se esquentou o sistema é porque o calor entrou lá dentro/ pois não tinha calor lá/ como ele esquentou?/ o que vocês pensam sobre isso?/*
- (114) L1G4: *isso é uma coisa que eu também não sei explicar/ mas acho que eu tentaria/ você está vendo o sistema/ está sentindo o calor dentro do sistema?/ ou você está fora do sistema?/*
- (115) L2G4: *é você que está absorvendo o calor?/*
- (116) L1G4: *e está sentindo o calor fora do sistema/ entendeu?/ eu acho que eu tentaria fazer esse questionamento para ela/ você está dentro do sistema? [...]/*
- (117) L3G2: *uma coisa que você estabelece quando há troca de calor é que ela é entre sistema e vizinhança/ e o que ela percebe não é a do sistema/ é da vizinhança/ está passando/ mesmo quando está frio/ como ele absorve calor da vizinhança/ a vizinhança vai esfriar/ por isso que a gente sente/ é/ gelado/ eu acho que nessa parte da Termoquímica o aluno tem que entender bem os conceitos do que é um sistema fechado/ isolado/ aberto/ o que é vizinhança/ aí/ o que é vizinhança/ meu sistema/ minha reação/ mas a vizinhança é o quê?/ é o que está imediatamente em contato [...]/*
- (118) L4G7: *na minha cabeça isso realmente esquentou/ porque/ se você está formando/ ali você tinha energia antes/ está liberando energia/ está esquentando/ porque está liberando em*

forma de calor/ então vai esquentar/ agora porque esfria/ porque está retirando energia em forma de calor para a reação ocorrer/ ele está usando essa energia/ ele está gastando ela de outra forma/ vai resfriar porque está usando essa energia/

(119) ((Professor)): *mas quando eu falo então/ de liberação/ eu não estou dizendo que a energia saiu do sistema?/*

(120) L4G7: *sim/ mas/*

(121) L1G6: *mas ela não tinha falado de saldo energético antes/*

(122) L4G7: *eu percebo que isso aquece sim/ você está liberando energia em forma de calor/ você vai ter ali energia no meio/*

(123) ((Professor)): *[...] semana que vem a gente vai discutir na parte escrita que vocês vão fazer para mim [se refere à avaliação final]/ pensar um pouquinho nessas relações/ porque isso para os alunos é muito complicado mesmo/ sabe por que?/ porque é muito mais fácil pegar a ideia do calor como se fosse uma coisa física que entra e sai do sistema/ do que pensar que o calor é relacionado a um processo de quebra e formação de ligações que dá no final um saldo energético/ como a L1G6 acabou de dizer/ então como o aluno não entende [pede ao licenciando do Grupo 7 mais um modelo]/ o processo de quebra das ligações/ para formar uma nova ligação/ e que a quebra e a formação pressupõem absorção e liberação de calor/ ele utiliza um conceito que é mais fácil/ liberou foi embora/ absorveu/ entrou/ [...] então vamos pensar nessas relações/ na semana que vem a gente arremata essas discussões com as reflexões que vocês colocaram/*

(124) L2G6: *[...] você coloca essas mil questões/ e a gente vai embora sem uma resposta/ tipo assim eu não estou reclamando não/*

(125) ((Professor)): *ótimo você ter falado/*

(126) L2G6: *depois da primeira aula que você colocou essas questões/ eu tive que dar aula lá na Escola X desse assunto [se refere à Escola na qual fazia Estágio]/ e eram seis experimentos para verificar isso/ eu fiquei morrendo de medo de ter aluno me perguntando desse jeito/*

(127) ((Professor)): *quando aparecem essas perguntas/ sempre nós vamos lançar mão de modelos para explicar o processo/ é o que vocês fizeram aqui/ mostrar que tem a quebra e a formação das ligações/ a gente pensa nesse processo/ se o aluno perguntar para você assim/ mas se o sistema libera energia/ o sistema está esquentando/ mas a energia não tinha que sair?/ aí que vai entrar agora com a nossa próxima reflexão/ porque o aluno tem uma ideia do calor/ que é uma visão substancialista/ o calor como matéria/ que entra e sai do sistema/ uma visão trazida da História das Ciências/ por exemplo com a ideia do flogisto/ que era o calor como matéria/ proposta por Sthal/ e a ideia do calórico de Lavoisier/ foi exatamente um passo superior a teoria do flogisto/ e essas ideias são muito fáceis de serem entendidas/ e ideias que são incorporadas pelas estruturas nossas/ porque são ideias muito simples/ é muito mais fácil/ o calor foi liberado/ reação exotérmica/ libera calor/ do que dizer/ libera calor/ então saiu/ mas*

na verdade o calor está no sistema/ é a relação que acabou de ser dita/ sistema-vizinhança/ o calor está ali/ então/ se ele foi liberado no sistema/ ele está aquecendo o sistema/ por isso que eu coloco a mão/ o sistema está quente/ o béquer está quente/

(128) L2G6: *depois é dissipado/*

(129) ((Professor)): *exatamente/ ele é dissipado por meio de trocas/ mas a reação aconteceu onde?/ dentro do sistema/ agora/ o aluno não pensa nisso/ porque/ ele pensa naquilo que o professor falou/ ipsi literis/ foi liberado/ então/ o calor foi embora/ papapapapa saiu [faz gestos com os dedos juntos]/ como se o calor tivesse perninhas/ tatatatata/ saísse dali/ né/ e fosse embora/ ele não pensa nas relações de troca/ a reação aconteceu dentro do sistema/ as trocas térmicas/ ou de absorção ou de liberação que são provenientes/ das quebras e formações de ligações/ é o que dá origem aos processos termoquímicos/ [...] o saldo final/ que eu indico como endotérmico ou exotérmico/ vai permitir que tenha então uma dissipação de calor pelo sistema/ ou uma absorção de calor/ o que vai me dar uma percepção de frio/ ou quente/ [...]*

Inicialmente, verifica-se que o professor arrematou a discussão apresentada pelos grupos indicando o *modelo consensual* da turma (quebra e formação das ligações químicas), que coincidiu com o *modelo curricular*. No turno [113], o discurso de autoridade do professor se fez presente com explicações que buscavam descrever os movimentos moleculares, demonstrando assim a importância de se utilizar diferentes modos semióticos para representar a dinamicidade desse processo. Tal possibilidade representacional se associa à manipulação dos *modelos concretos*, a utilização de gestos e outros movimentos com partes do corpo. Por meio dessas ações, se torna possível inferir que o conhecimento científico é predominantemente multimodal, tal como discutido por Jaipal (2010).

Isso evidencia, uma vez mais, a importância da multimodalidade no processo de construção de significados em sala de aula, com destaque para aqueles que foram sendo estabelecidos em torno dos modelos propostos. Essa afirmativa se baseia no fato de que tais recursos fomentaram a mediação semiótica e social ao mesmo tempo. Isso foi verificado, de forma expressiva, na apresentação do Grupo 2, com as interações multimodais estabelecidas entre L2G2 e L3G2, sendo elas orquestradas por L2G2, na busca por descrever os aspectos dinâmicos relacionados aos processos químicos. Sem o uso de *modelos concretos*, não é possível representar as transformações químicas em estudo, nem fomentar as ações externas entre os

sujeitos, que se deram em torno das propostas para mediar o conhecimento científico em sala de aula, utilizando para isso as principais etapas do processo de Modelagem.

Em relação à conclusão dessas atividades pelo professor, no turno [123] verifica-se que a discussão voltou para uma questão específica da atividade impressa (Apêndice V): a dificuldade em associar a classificação das transformações químicas à percepção física desses processos (aquecimento/resfriamento). Isso se relaciona a compreensão do calor/energia como algo material, que entra e sai do sistema, tal como verificado nos trabalhos de Anderson (1990) e Duit (1987). No fechamento da aula, o professor atribuiu uma maior importância a essa situação recorrente entre os estudantes do Ensino Médio, tal como apontado por Souza e Justi (2012), e que pareceu não ser de fácil entendimento para alguns dos licenciandos participantes desta pesquisa. Destaca-se aqui, por exemplo, o caso de L2G6, que expressou claramente uma dificuldade em mediar essa situação no turno [126].

Assim, a questão energética relacionada aos processos termoquímicos (absorção de energia para quebrar as ligações químicas e liberação na formação) não foi priorizada nesse momento final. Dessa forma, é necessário reconhecer a importância de o professor ter dado maior atenção a tal questão conceitual no fechamento das atividades, considerando que a associação energética incorreta entre os processos de quebra e formação das ligações foi recorrente entre alguns licenciandos ao longo das aulas e, ainda, na síntese final dos grupos 3 e 5.

Como será apresentado e discutido no próximo capítulo, a falta desse entendimento conceitual repercutiu na avaliação final do processo. Entretanto, cabe ressaltar que a ausência de uma abordagem apropriada dessa situação se justifica pela extrapolação do tempo da aula, que já havia chegado ao seu final e quando essa discussão se fez oportuna, os licenciandos começaram a sair da sala para se direcionarem às outras aulas ou compromissos que teriam em seguida.

Por fim, considerando as atividades desenvolvidas nas aulas de *Instrumentação para o Ensino de Química II*, será realizada no início do próximo capítulo uma análise geral do processo formativo vivenciado pelos licenciandos, tendo como base a revisão bibliográfica discutida no início do trabalho. Isso trará subsídios para, na sequência,

construir uma análise mais detalhada dos eventos aqui apresentados, sobretudo no momento em que se discutirão as três questões de pesquisa, propondo um diálogo delas com os dados oriundos das aulas e da avaliação final do processo de construção social de modelos.

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE GERAL DO PROCESSO FORMATIVO E DISCUSSÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA

1. APRECIÇÃO GERAL DA MODELAGEM E DAS PROPOSTAS DE MEDIAÇÃO APRESENTADAS

Antes de iniciar a discussão das três questões de pesquisa, é oportuno apresentar uma análise panorâmica do processo formativo descrito no capítulo anterior. Isso porque no momento de construção e socialização dos modelos, os licenciandos tiveram a possibilidade de desenvolver habilidades, tal como fariam em um processo análogo de mediação do conhecimento em sala de aula do Ensino Médio. Para que isso se efetivasse, foi necessário criar um ambiente dinâmico que favorecesse a interação entre os pares, tendo em vista que o conhecimento não se explica como um simples ato do sujeito, do objeto e nem da relação resultante da interação entre sujeito/objeto. O conhecimento se estabelece como resultado da relação dialógica, mediada semioticamente, entre o sujeito e o objeto, em uma mediação social, uma vez que os recursos semióticos são recursos de origem social, cujos significados podem ser construídos na interação e negociação com outros sujeitos (Rego, 2009).

Segundo Wertsch (1997), a ação mediada envolve um diálogo entre o agente (quem realiza a ação) e os meios ou recursos utilizados durante o processo de construção de significados (por exemplo, os gestos, os desenhos, os *modelos concretos* etc.). Sob essa perspectiva, para saber quem executa a ação (licenciandos com modelos elaborados a partir dos materiais concretos disponibilizados pelo formador) ou quem fala em um diálogo (intervenções do professor durante a realização das atividades e licenciandos defendendo a legitimidade dos seus modelos), é preciso considerar não apenas o sujeito isolado, mas também o recurso mediacional empregado por eles para sustentar o agir ou o falar. Na visão de Wertsch (1997), toda ação humana geralmente envolve o uso de recursos mediacionais para se atingir um determinado fim e são eles que dão forma à ação mediada. Como consequência, o foco de análise proposto é o sujeito agindo com os recursos mediacionais, ao invés de simplesmente o indivíduo.

Wertsch (1999) destaca ainda que o recurso mediacional só pode ser considerado enquanto tal quando o agente faz uso dele para executar uma ação, caracterizando assim a tensão irreduzível estabelecida entre o agente e o recurso. No contexto deste trabalho, isso foi constatado quando os licenciandos recorreram aos modelos para explicar a energia envolvida nas transformações químicas, tal como será discutido na terceira questão de pesquisa, apoiando-se nos dados obtidos na avaliação final do processo de Modelagem.

Cabe ressaltar também que, no desenvolvimento das atividades, o conceito de modelo ficou limitado ao uso dos objetos materiais manipulados durante a representação dos fenômenos químicos. Essa restrição foi ocasionada pelos materiais disponibilizados em sala de aula (esferas de isopor, palitos de madeira, massa de modelar e lápis de cor) e a um certo descuido na comunicação entre o professor e os licenciandos, situações que os induziram a pensar nos modelos apenas como algo concreto. Assim, teria sido oportuna uma intervenção do professor discutindo o significado mais amplo dos modelos, que não se restringe apenas aos materiais concretos que deram suporte às representações propostas pelos grupos. Essa limitação, entretanto, não comprometeu o desenvolvimento da sequência didática, nem das propostas de mediação apresentadas pelos licenciandos, visto que todas elas buscavam explicar os processos termoquímicos em estudo. Para isso, foi necessário utilizar diferentes modos de representação, que emergiram das dinâmicas interativas articuladas em sala de aula e se associaram aos *modelos concretos* que foram sendo construídos e debatidos nos grupos.

A partir das ideias discutidas na socialização dos modelos, aquele que melhor explicava a energia envolvida nas transformações químicas, e que se relacionava ao *modelo curricular*, foi considerado o *modelo consensual* da turma. Esse modelo pode ser caracterizado como *multimodal*, pois descreve as transformações químicas como processos dinâmicos, que ocorrem com a quebra e a formação das ligações químicas. O saldo final associado ao rearranjo dos átomos permite caracterizar o processo como endotérmico ou exotérmico. Na Tabela 02, elaborada com base nos dados transcritos no Capítulo 5, estão descritos os modelos apresentados pelos sete grupos.

Tabela 02. Modelos apresentados pelos licenciandos durante a socialização das ideias na turma.

Socialização dos modelos	Materiais utilizados para elaborar os modelos concretos	Transformações químicas representadas com auxílio dos modelos concretos	Atributos complementares aos modelos propostos
Grupo 1	Palitos de madeira e esferas de isopor.	Formação da água (processo exotérmico) e decomposição da água (processo endotérmico).	Saldo energético do processo associado à quantidade de ligações rompidas e formadas. Considera as ligações duplas nas moléculas de oxigênio como sendo simples. Não leva em conta a intensidade das ligações e presume, implicitamente, que todas elas teriam a mesma magnitude.
Grupo 2	Esferas de isopor e massa de modelar.	Formação da água (processo exotérmico) e formação do HI (processo endotérmico).	Energia vibracional e rotacional associadas às ligações. Energia cinética associada às moléculas. Rearranjo dos átomos no processo.
Grupo 3	Palitos de madeira, esferas de isopor e massa de modelar.	Formação da água (processo exotérmico) e decomposição da água (processo endotérmico).	Energia associada ao tamanho dos palitos, que representam as ligações químicas. Sobra de palitos indica a liberação de energia e a junção deles a absorção. Destaque para a espontaneidade dos processos exotérmicos e dos gastos energéticos adicionais nos processos endotérmicos.
Grupo 4	Palitos de madeira, esferas de isopor e massa de modelar.	Dissolução da amônia em água (processo exotérmico) e dissolução do KNO_3 em água (processo endotérmico).	Entropia associada ao processo de dissolução, com a consequente quebra/formação das ligações/interações químicas.
Grupo 5	Palitos de madeira e esferas de isopor.	Não representaram reações específicas. A explicação foi dada de forma geral.	Saldo energético do processo explicado pela quebra e formação das ligações químicas, que continha essa energia. Ideia associada ao armazenamento da energia na ligação.
Grupo 6	Palitos de madeira, esferas de isopor e massa de modelar.	Formação da água (processo exotérmico) e dissociação iônica do KI (processo endotérmico).	Quantidade de ligações rompidas e formadas. Considera a força das ligações e das interações intermoleculares. Comparação entre os processos de dissolução e as transformações químicas. Explicação da estabilidade dos processos por meio do conceito de Entropia.
Grupo 7	Palitos de madeira, esferas de isopor e massa de modelar.	Formação da água (processo exotérmico). Não propôs uma reação específica para o processo endotérmico.	Considera o comprimento das ligações e as relações quantitativas para expressar o saldo energético dos processos. Utilização de gráficos termoquímicos. Busca de analogias para o conceito de Entropia.

Em relação à condução do processo de Modelagem, o professor procurou levantar questionamentos que permitissem aos licenciandos reavaliar as ideias propostas, além de tomarem consciência das eventuais limitações de seus modelos. É importante ressaltar também que o professor buscou valorizar e discutir as ideias apresentadas, de modo que os licenciandos pudessem reconhecer a validade do processo de elaboração coletiva do conhecimento, podendo assim avaliar criticamente os modelos que não se adequavam à proposta explicativa.

Durante a atividade de construção social de modelos para explicar o armazenamento de informações no interior de um Chip (Apêndice IV), no momento em que o professor questionou sobre a importância de se vivenciar os desafios inerentes ao processo de Modelagem, L3G1 ressaltou em sua resposta que: “[...] *a gente percebeu a dificuldade que é para os alunos/ assim/ mesmo quando a gente teve dificuldade para entender os modelos/ é/ para o átomo/ os modelos químicos né/ imagina se a gente chegar na sala de aula e pedir para um aluno propor um modelo que explique/ sei lá/ o átomo/ [o aluno] não vai ter a mínima ideia do mesmo jeito que a gente não tinha a mínima ideia aqui/ foi muito difícil*”.

A mesma dificuldade para ensinar aos estudantes do Ensino Médio, que foi apontada por L3G1 durante a discussão realizada na Aula 4, também foi demonstrada pelos licenciandos do Grupo 5, sobretudo durante a proposta para explicar os processos endotérmicos:

- (1) L3G5: [...] *se eu estou com dúvida/ como eu vou tirar a dúvida dos meninos?/*
- (2) L1G5: *A gente nunca viu essa dúvida na aula / né/ L3G5/*
- (3) L3G5: *nunca perguntei por que era exotérmico ou era endotérmica não/*
- (4) ((Professor)): *you falou uma coisa importante/ se você tem essa dúvida/ como você vai tirar essa dúvida do menino?/*
- (5) L1G5: *por que esfria?/ eu nunca perguntei isso não [...]/*

Os turnos transcritos anteriormente demonstram que atividades dessa natureza permitiram aos licenciandos refletir sobre a complexidade que perpassa o processo de construção do conhecimento científico em sala de aula, não sendo algo elementar tal como propõe o modelo de *transmissão-recepção*.

O mesmo aconteceu com L1G6 e L2G6, quando começaram a discutir sobre a realização da Atividade 5 (final da Aula 4). Nesse momento, L1G6 reconheceu o quão desafiador seria ensinar esse conteúdo aos estudantes do Ensino Médio, tal como destacado nos seguintes turnos de fala:

- (1) L1G6: [...] *descobri que eu não sei ensinar o aluno de Ensino Médio/*
- (2) ((Professor)): *você não sabe explicar/*
- (3) L1G6: *isso para um aluno de Ensino Médio/*
- (4) L2G6: *nem para mim mesma eu estou conseguindo explicar mais/*
- (5) L1G6: *não/ eu tenho isso muito claro para mim/ mas acho que o meu conceito é muito difícil para explicar para qualquer outra pessoa/ depois disso eu acho que eu complico as coisas/*

Diante dessa situação, o professor questionou sobre o objetivo dos modelos no contexto de ensino. L1G6 respondeu que seria para facilitar a explicação, como foi abordado anteriormente. Entretanto, reconheceu a limitação em usar um modelo mais simples para discutir um tema com tamanha complexidade. Diante dessa situação, é necessário considerar a discussão apresentada por Harré (2004) e Chamizo (2013), de que um modelo tem sempre um objetivo específico, que deve ser claro para o seus usuários, sobretudo no contexto de ensino. Assim, não são os objetos em si que definem os modelos, mas os usos e as relações que se estabelecem a partir deles. Isso pode ser verificado com o *modelo multimodal* aqui discutido, que pressupõe a articulação de diferentes modos por parte dos seus usuários para permitir a significação dos processos termoquímicos.

Essa complexidade inerente ao ato de ensinar também foi verificada no momento em que se percebeu que alguns conceitos químicos são discutidos no Ensino Médio sem a devida fundamentação (como calor, energia ou Entalpia) e outros são evitados por serem considerados complexos (como Entropia e Energia Livre de Gibbs). Dessa forma, as atividades de Modelagem apresentaram o potencial para auxiliar os licenciandos a lidarem com essas dificuldades relacionadas à construção conceitual em sala de aula. Sobretudo quando eles se depararem com questionamentos dos estudantes que necessitem ser pensados com base em conteúdos pouco explorados no Ensino Médio, propondo assim ações para mediar o conhecimento.

2. DISCUSSÃO DAS QUESTÕES DE PESQUISA PROPOSTAS

Na sequência, serão discutidas as três questões de pesquisa propostas, utilizando para isso trechos de interação nas aulas, apresentados no capítulo anterior, e os dados da avaliação final, respondida por escrito pelos licenciandos na Aula 7 da sequência de ensino. É importante esclarecer que os dados da avaliação final não estarão dispostos em uma seção específica, pois algumas das questões apresentadas não constituem objeto de investigação do presente trabalho. Dessa forma, na discussão das questões de pesquisa, algumas das situações formalmente avaliadas serão identificadas, de modo a ser possível fazer uma análise das mesmas, buscando estabelecer um diálogo com as propostas de mediação do conhecimento desenvolvidas em sala de aula.

De acordo com Romão (2003), só se beneficia da avaliação quem se faz sujeito do processo formativo, articulando por meio desse instrumento a possibilidade para refletir sobre as situações vivenciadas ao longo do processo de instrução. Assim, a avaliação do processo de ensino foi realizada uma semana após o término das atividades de Modelagem. O instrumento utilizado teve o objetivo de verificar como os licenciandos articulariam algumas das situações trabalhadas nas aulas de *Instrumentação para o Ensino de Química II* quando estas fossem transpostas para uma sala de aula da educação básica, onde o conhecimento científico deveria ser mediado pelo professor.

Para se pensar nessa discussão à luz da sequência didática utilizada na disciplina, os dados da avaliação foram organizados de forma a possibilitar uma compreensão das propostas de mediação social e semiótica apresentadas pelos licenciandos, tendo em vista a dinâmica de construção coletiva do conhecimento estabelecida em sala de aula. Isso foi possível por conta de, na avaliação, os licenciandos terem sido incentivados a propor e justificar o uso de recursos mediacionais e estratégias a serem utilizadas em salas de aula do Ensino Médio, frente a problemas específicos de ensino e aprendizagem da Termoquímica.

2.1. PRIMEIRA QUESTÃO DE PESQUISA

- *Considerando as ações propostas para mediar o conhecimento científico em uma eventual situação de ensino, como as limitações e as potencialidades dos modelos foram discutidas pelos licenciandos durante as aulas e na avaliação final do processo?*

A presente questão de pesquisa será discutida com base nas propostas para a mediação do conhecimento químico por meio dos modelos, nos dados de interação coletados durante as aulas e nas repostas dos licenciandos às questões 3 e 5 da avaliação final (Apêndice VI). A escolha dessas duas questões como norteadoras da presente discussão se baseia nos objetivos que elas buscaram atingir ao final do trabalho com modelos e Modelagem, além das habilidades mediacionais possíveis de serem avaliadas a partir delas, como foi apresentado no Quadro 03 do Capítulo 4.

É necessário destacar que, por meio da discussão das atividades de Modelagem, os licenciandos tiveram a oportunidade de compreender que os *modelos concretos*, por si só, não são capazes de contemplar todos os atributos do objeto ou fenômeno modelado. Essa compreensão foi favorecida pelas discussões realizadas durante as Aulas 1, 2 e 3, nas quais foram apresentadas atividades teóricas e práticas relacionadas à utilização de modelos no ensino (Apêndices I, II e III). Por outro lado, nas Atividades 4 e 5, a ênfase no uso de materiais concretos durante a discussão de conceitos abstratos, como o calor e a energia envolvida nas transformações químicas, acabou por restringir o sentido da palavra “modelo”, tal como vinha sendo utilizado pelos licenciandos e pelo professor. A partir de então, quase sempre que falavam em modelos, os licenciandos se referiam aos objetos concretos que serviam de suporte à atividade de Modelagem.

Na apresentação dos licenciandos, foram abordadas eventuais limitações dos *modelos concretos* para explicar os fenômenos termoquímicos, sobretudo aqueles caracterizados como endotérmicos, que necessitam incorporar outros atributos a sua explicação, além da quebra e formação das ligações. Dentre esses atributos, destacou-se a Entropia, que foi discutida pelos licenciandos dos Grupos 4, 5 e 7. Os licenciandos dos Grupos 3 e 6 também destacaram a possibilidade de trabalhar com a ideia de

Entropia. Entretanto, avaliaram que esse conceito seria complexo para os estudantes do Ensino Médio, buscando assim modelos que explicassem, de forma mais simplificada, os processos termoquímicos em estudo.

Cabe destacar também outras limitações apontadas, tal como a de os *modelos concretos* serem representações estáticas. Assim, os licenciandos do Grupo 2 sugeriram uma simulação para explicar a energia envolvida nos processos químicos e representaram as transformações manipulando os materiais disponibilizados. A proposta dos licenciandos do Grupo 7 também teve um destaque nesse sentido, considerando que eles articularam diferentes recursos, tal como a manipulação dos modelos e a utilização do quadro para desenhar e discutir dois gráficos termoquímicos. Apesar disso, muitas vezes, os estudantes, e mesmo o professor, se referiam aos objetos concretos quando falavam em modelos, como se os demais elementos utilizados para representar e explicar um fenômeno não fizessem parte dele.

A conscientização dos licenciandos sobre a ação docente pode ser caracterizada aqui como um processo intersubjetivo, que implicou no diálogo e na produção de sentidos partilhados coletivamente durante as aulas. Por meio da tomada de consciência da complexidade que perpassa o ato de ensinar, os licenciandos tiveram a oportunidade de pensar em abordagens de ensino capazes de favorecer a discussão do conteúdo e a construção de significados em sala de aula, utilizando para isso interações multimodais (Kress, 2010; Cappelle, 2014). Isso foi destacado de forma mais evidente pelos grupos 2, 3, 6 e 7, sobretudo no momento em que buscaram construir modelos e propor estratégias que tornassem a explicação dos processos termoquímicos acessíveis aos estudantes do Ensino Médio.

Nesse sentido, os modelos elaborados parecem ter permitido aos licenciandos atribuir novos significados às estratégias de mediação do conhecimento propostas, com destaque para o uso dos diferentes recursos multimodais. Isso ficou evidenciado no momento em que o professor buscou retomar e concluir algumas das ideias apresentadas durante a aula de socialização dos modelos, dirigindo-se ao quadro para discutir os gráficos termoquímicos desenhados por L1G7. No turno [113] do capítulo anterior, destacou-se nesses gráficos a diferença na energia de ativação (E_a) do

processo exotérmico e endotérmico. Como a E_a do processo endotérmico é maior que a do exotérmico, o professor concluiu com a turma que aquele seria muito mais difícil de ocorrer espontaneamente, considerando a demanda energética inicial para desencadear a reação. Sem a visualização do gráfico, essa questão conceitual não seria posta em evidência.

Além disso, para avaliar se um dado processo ocorre espontaneamente, é necessário considerar outras variáveis, tal como a Energia Livre de Gibbs, a Energia Interna e a Entropia do sistema. Essas grandezas, que são expressas por meio de relações matemáticas (*modelos científicos*), não poderiam ter os seus principais atributos representados pelos *modelos concretos*. Diante dessa situação, os licenciandos se viram forçados a utilizar outros recursos para mediar o conhecimento junto aos estudantes do Ensino Médio, lançando mão de modelos mais elementares e ações multimodais que conseguissem, num primeiro momento, elucidar alguns aspectos teóricos a serem contemplados no conteúdo estudado. O modelo que melhor atendia a esse anseio foi o de quebra e formação das ligações químicas, sendo possível demonstrar o dinamismo desse processo por meio da manipulação deles.

Como visto, alguns modelos propostos continham incorreções conceituais. No caso dos grupos 1 e 3, os erros parecem ser decorrentes da opção dos grupos por elaborar propostas criativas, porém simplistas, buscando serem acessíveis a estudantes de Ensino Médio. Apesar desse esforço para mediar o conhecimento químico, que levou em consideração eventuais dificuldades de entendimento dos estudantes no Ensino Médio, houve pouca discussão com os licenciandos dos equívocos que tais simplificações podem acarretar na aprendizagem dos conteúdos químicos.

Considerando o exposto anteriormente, é importante que o professor esteja capacitado para apontar as limitações das diferentes representações, discutindo-as sempre em sala de aula, de modo a permitir que os estudantes compreendam essas restrições e analisem criticamente os modelos utilizados nas Ciências. Para isso, se faz necessário considerar a natureza representacional dos mesmos, a qual busca o isomorfismo e a similaridade, de modo a ser o mais fiel possível ao objeto ou processo

descrito. Nessa perspectiva, não se tem o *modelo de algo*. O que se tem é uma *representação parcial* de algum objeto, processo ou fenômeno específico. Tal ideia deve ser amplamente discutida com os professores de Química em cursos de formação inicial e continuada, de modo que eles estejam capacitados a utilizarem esses recursos mediacionais em sala de aula, considerando suas potencialidades e limites (Wertsch, 1997). Isso tendo em vista que, para Vygotsky (2009), a formação e o desenvolvimento dos conceitos científicos pressupõem a existência de três elementos psicológicos fundamentais: (i) a formação de relações entre os sistemas conceituais; (ii) a tomada de consciência da própria atividade mental; e (iii) o desenvolvimento de uma maior familiaridade do sujeito com os objetos (modelos), o que lhe permite estabelecer novas inferências a partir deles. De acordo com Pino (2005), esses recursos mediacionais são:

[...] formados pelas produções resultantes da atividade mental do homem sobre *objetos simbólicos* (ideias), com o uso de meios *simbólicos* (diferentes tipos de linguagem), cuja exteriorização (comunicação aos outros) se faz por intermédio de *formas* materiais de expressão (fala, escrita, formas sonoras, formas gráficas, formas estéticas etc.). Numa grande parte destas produções, a criação da *forma* material exige uma atividade com o uso de meios técnicos – de maneira análoga ao que ocorre com a produção técnica. [...] o produto é um objeto material com uma *forma* de expressão simbólica. (Pino, 2005, p. 92-93)

A ideia apresentada anteriormente por Pino (2005) dialoga com a discussão feita por Kress (2010), que atribui ao ensino de Ciências o caráter multimodal. Essa busca por construir significados, que se concretiza de forma dinâmica nas ações orquestradas pelo professor, pode ser compreendida a luz do processo de Modelagem aqui descrito, em que os licenciandos se esforçaram para elaborar *modelos multimodais*, capazes de favorecer uma possível mediação do conhecimento científico em sala de aula. Nesse sentido, Nogueira (2013) ressalta que:

Produtos da cultura e da vida no trabalho, este conjunto de produções culturais – objetos materiais, técnicos e simbólicos – intermedeiam a atividade docente. Como instrumentos técnicos e semióticos, estes objetos podem atuar, simultaneamente, como instrumento psicológico, dirigido a si mesmo e aos outros (Vigotski, 1995), à atividade de ensinar e à atividade de aprender. (Nogueira, 2013, p. 134)

Considerando a sequência didática proposta, serão discutidos agora os resultados da questão 3, na qual foi apresentado aos licenciandos um pequeno trecho que fazia parte da atividade realizada em sala de aula, em que estudantes hipotéticos do Ensino Médio propunham os seguintes questionamentos relacionados aos processos termoquímicos em estudo: (i) *Como o sistema pode ter resfriado se ele não foi colocado na geladeira?*; (ii) *Como o sistema pode ter esquentado se ele não foi submetido ao aquecimento?*; (iii) *Qual a origem do calor proveniente da reação entre o ácido sulfúrico e o açúcar?*; e (iv) *Como pode ser possível acontecer uma transformação química endotérmica, se durante o processo o sistema absorve energia do meio? Teoricamente, ao absorver energia do meio o sistema não ficaria menos estável? Isso não representaria uma incoerência?*

Considerando o exposto anteriormente e o trabalho com Modelagem desenvolvido nas aulas, os licenciandos foram questionados sobre como os objetos disponíveis favoreceram a dinâmica estabelecida em sala de aula e a proposição das explicações para os processos termoquímicos discutidos. De acordo com as respostas apresentadas, obteve-se o seguinte resultado:

- dezesseis licenciandos apontaram que os objetos permitiram construir modelos que ajudaram a visualizar a quebra/formação das ligações químicas e a relação energética envolvida nesse processo, auxiliando na explicação dos fenômenos em estudo e de toda a sua complexidade/abstração (respostas que priorizavam a mediação semiótica);
- nove disseram que o uso dos objetos favoreceu o desenvolvimento de uma aula dinâmica e interativa, além de permitir a inserção dos estudantes no processo de construção coletiva das Ciências e dos modelos (respostas que priorizavam a mediação social).

Os outros dois licenciandos disseram que: (i) os objetos permitiram uma explicação apenas parcial e limitada dos processos (L3G4); e (ii) com os objetos foi possível identificar os tipos de ligações formadas – simples ou dupla (L3G6). Ambos apontaram aspectos que ressaltavam a mediação semiótica em suas respostas, mas foram consideradas insuficientes para tal.

Dentre as respostas apresentadas pelos licenciandos, destacam-se a seguir algumas consideradas mais representativas, tendo como critério para essa seleção a clareza e a relevância das ideias expressas. Para facilitar a posterior análise, elas foram separadas em dois grupos, a saber:

1) Respostas que priorizaram a mediação semiótica.

A construção de modelos facilita o entendimento, visto que possibilita-nos enxergar o raciocínio abstrato de forma mais simplificada. Além disto, foi possível perceber o quanto é difícil propor um modelo que explique corretamente o fenômeno. Isto pode ajudar muito quando estivermos em sala de aula apresentando um modelo ou ajudando os alunos a construir seus próprios modelos. (L3G1)

[...] com relação aos processos exotérmicos e endotérmicos, uma das dificuldades dos alunos relaciona-se com o jeito dos mesmos pensarem em calor como sendo uma substância, que pode sair do sistema se ele esfria, ou entrar caso aqueça. O uso de objetos cotidianos (esferas de isopor, massa de modelar, palitos, lápis de cor), permite uma visualização mais efetivas destes processos, por exemplo, por meio da quebra de ligação. (L4G1)

Os objetos foram usados como modelos que representassem basicamente os átomos e suas ligações. Desse modo, é possível apresentar ao aluno uma alternativa que auxilie na compreensão de processos tão abstratos, já que não são palpáveis, e ajude o aluno no reconhecimento e construção de ideias. (L3G2)

Os objetos disponíveis foram utilizados para a construção de modelos que pudessem representar da forma mais correta possível os processos endotérmicos e exotérmicos em uma análise microscópica. Essa atividade é bastante dinâmica, uma vez que os alunos podem tocar nos “átomos”, que são representados por bolinhas, e organizarem os mesmos formando novas substâncias, o que representa uma transformação química. Deve estar claro para o aluno que esta atividade é uma representação. (L1G3)

Os alunos podem “montar” algumas moléculas e para que as moléculas do produto possam ser formadas, é necessário quebrar os palitos (ligações químicas) que unem os átomos. E dessa forma, a energia que sobra é “mandada” para fora do meio, aquecendo este. E para algumas moléculas, a energia das ligações da molécula não é suficiente. Então, a energia que falta provém do sistema, resfriando-o. (L3G5)

Com a utilização dos materiais, o aluno é forçado a refletir e propor explicações para suas próprias observações. Com a construção dos modelos, o aluno consegue “visualizar” a reação, o rompimento e a formação de ligações. (L4G6)

Como os objetos disponíveis não possuem animação própria, ou seja, não aquecem nem resfriam, eles favorecem a explicação do estado de Entropia das moléculas, podendo mostrar agitação, quebra de ligações, o que realmente acontece nas reações endo e exotérmicas. (L2G7)

2) Respostas que priorizaram a mediação social.

A utilização dos objetos disponíveis para a construção de modelos que tentam explicar os processos endotérmicos e exotérmicos permitiu uma aula mais dinâmica, com a participação ativa dos estudantes na mesma e, principalmente, permitiu aos alunos saber fazer Ciências, já que eles construíram o modelo, julgaram se esse modelo explica ou não os fenômenos termoquímicos apresentados e, caso necessário, reformularam o modelo proposto inicialmente. (L2G1)

Os objetos disponíveis seriam bons para a dinâmica e explicação dos fenômenos, para que os alunos montem seus modelos e testem, para observar se eles são válidos ou não e, por fim, a discussão dos modelos montados nos levaria a chegar a um consenso para a explicação do fenômeno. (L1G2)

A maioria dos grupos utilizaram os modelos para explicar esses processos em termos de ligações químicas. Meu grupo falou da Entropia. Alguns conceitos são difíceis de ser trabalhados e interpretados. Os modelos permitem a socialização das ideias e promove discussões que permitem refutar interpretações incorretas e elaborar de forma coerente e, em grupo, possíveis explicações para tais fenômenos. (L2G4)

Pensando na construção de modelos para explicar esses fenômenos utilizando os objetos disponíveis, os grupos discutiram os conceitos que cada um possuía e estes foram reconstruídos. Na socialização das ideias com a turma, percebemos que cada grupo criou modelos diferentes e trouxe explicações diferentes para os fenômenos estudados, o que enriqueceu ainda mais a dinâmica. (L2G6)

Os objetos disponíveis favoreceram a dinâmica à medida que foi proposta a realização do trabalho em grupo. Em grupos, os alunos teriam que interagir para juntos encontrarem um modelo que melhor explicasse os fenômenos termoquímicos apresentados. (L3G7)

A partir das respostas apresentadas anteriormente, constatou-se que alguns licenciandos atribuíram ao processo de Modelagem a possibilidade de se desenvolver uma aula dinâmica e interativa, o que poderia favorecer a inserção dos estudantes no processo de construção coletiva das Ciências (L1G2, L3G7, L2G4) e na socialização dos modelos com a turma (L1G2, L2G4, L2G6).

Sobre a mediação semiótica, L3G1 destaca a importância de os *modelos concretos* permitirem a simplificação das ideias, favorecendo assim a aprendizagem dos conteúdos que apresentam um considerável nível de complexidade. Essa concepção dialoga com o conceito de *modelos de ensino* proposto por Gilbert e Boulter (1995), segundo o qual tais modelos são frequentemente usados no ensino de Ciências com o objetivo de ajudar os estudantes a compreender aspectos do que se deseja ensinar. Apesar de serem simplificações em relação ao *modelo científico* ou de representarem apenas alguns atributos do mesmo, eles devem preservar os principais aspectos conceituais do *modelo científico* correspondente, de forma a ser coerente com o mesmo. Esse ponto foi destacado por L3G1, quando reconheceu em sua resposta que “[...] foi possível perceber o quanto é difícil propor um modelo que explique corretamente o fenômeno”, ou seja, que consiga ser fiel aos atributos do processo modelado. Nesse sentido, L4G1, L3G2, L4G6 e L2G7 apontam que os *modelos concretos* facilitaram a visualização de um importante aspecto conceitual para explicar as transformações químicas, que se refere à quebra e formação das ligações, favorecendo assim a compreensão da dinamicidade inerente a esse processo. Isso se

torna possível com o uso de ações multimodais orquestradas pelo professor durante a manipulação dos modelos em sala de aula.

Algumas respostas e ações dos licenciandos nas aulas demonstraram um melhor entendimento sobre a limitação dos *modelos concretos* utilizados no ensino de Ciências, sobretudo quando eles foram construídos/manipulados durante a atividade de Modelagem. Esse aspecto foi destacado pelos integrantes do Grupo 2, que representaram as ligações químicas com massa de modelar, buscando assim permitir a visualização dos movimentos de contração e estiramento que ocorrem. Entretanto, eles tiveram dificuldade em manipular os modelos para representar as moléculas de hidrogênio e oxigênio, considerando que as ligações se rompiam com facilidade, já que a massa de modelar não se aderiu adequadamente às esferas de isopor. Mesmo sendo limitados, alguns licenciandos reconheceram que os *modelos concretos* auxiliaram na visualização de entidades/fenômenos abstratos (L3G1, L3G2 e L1G3), ajudando a desconstruir possíveis concepções substancialistas para o calor (L4G1).

L1G3 enfatizou em sua resposta que os materiais concretos foram utilizados apenas como representações e isso deve estar claro para os estudantes, a partir das intervenções e discussões realizadas pelo professor durante a aula. Além disso, é importante destacar que, nessa e em outras ocasiões, algumas palavras foram grafadas pelos licenciandos entre aspas, indicando que elas, ou a expressão a qual se associavam, não representavam literalmente a ideia expressa. Isso porque, tal como os modelos, a linguagem também apresenta restrições, de modo que todos nós somos reféns dessas limitações no momento de se comunicar determinada ideia. Como exemplo, é possível citar a resposta apresentada por L1G3, quando diz que “[...] os alunos podem tocar nos ‘átomos’, que são representados por bolinhas [...]”. Na verdade, a ideia expressa se relacionava a tocar/manipular os *modelos concretos* que são utilizados para representar os átomos. Além desse exemplo, vale a pena destacar também a resposta apresentada por L3G5, quando escreveu que “os alunos podem ‘montar’ algumas moléculas [...]” e, na sequência, complementa com a ideia de que “[...] a energia que sobra é ‘mandada’ para fora do meio, aquecendo este [...]”. Para evitar a expressão de uma ideia substancialista para o calor/energia, teve-se o cuidado

de utilizar entre aspas a palavra *mandada*, considerando as discussões apresentadas em sala de aula pelo professor sobre as concepções substancialistas para o calor. Tais concepções se relacionam, em certa medida, ao modo de enunciar essa ideia, com a utilização de expressões do tipo: calor que *entra* e *sai* do sistema, energia *armazenada* na forma de calor etc. Todos esses termos podem remeter a concepções substancialistas para o calor, sobretudo quando eles não são discutidos pelo professor, tendo em vista o contexto processual e dinâmico relacionado aos fenômenos em estudo (Souza & Justi, 2011).

L4G6 também utilizou aspas no momento que escreveu “[...] *o aluno consegue ‘visualizar’ a reação, o rompimento e a formação de ligações*”. O uso dessa demarcação pode ser indício de que esse licenciando conseguiu compreender a complexidade inerente ao processo de construção do conhecimento em sala de aula, com destaque para o cuidado que o professor deve ter no uso das múltiplas linguagens, recursos e ações possíveis de serem articulados nesse espaço. Isso foi observado também durante as aulas de construção e socialização dos modelos, quando determinados licenciandos realizaram gestos de aspas com os dedos, tal como aconteceu na socialização dos modelos pelo Grupo 6, quando o professor questionou para L1G6:

- (1) ((Professor)): *libera mais energia de onde?/*
- (2) L1G6: *da formação da ligação/ a gente propôs/ a todo momento que/ na quebra [faz gesto com as duas mãos indicando aspas para a palavra quebra]/ das ligações/ há uma absorção/ e na formação da água/ há uma liberação/ esse saldo energético/ essa diferença de energia/ que vai falar se o processo é endo ou exo [...]/*

Nesse momento, cabe ressaltar que a expressão gestual ou escrita relativa ao uso de aspas para demarcar alguma palavra não fez parte das orientações e discussões do professor durante as aulas. Elas emergiram a partir da consciência dos próprios licenciandos de que alguns termos deveriam ser utilizados com a cautela necessária para que os estudantes compreendam seus sentidos, de modo a não favorecer o desenvolvimento de conceitos incompatíveis com o ponto de vista científico. O mesmo acontece com as representações concretas e gestuais utilizadas, que necessitam de

uma compreensão clara do professor para que os seus atributos sejam discutidos e elucidados em sala de aula.

Esse ponto será abordado a seguir, com os dados da avaliação (Questão 3 – Item B), em que foi questionado aos licenciandos quais as vantagens e desvantagens em se utilizar os modelos na explicação dos processos termoquímicos. Em relação às vantagens, tem-se a seguinte distribuição de respostas:

- dezenove apontaram que favoreceu a visualização e a manipulação em nível macroscópico do processo submicroscópico (quebra e formação das ligações), podendo simplificar a compreensão da energia envolvida, o que privilegia a mediação semiótica;
- sete disseram que favoreceu a interação dos estudantes com os demais colegas e com o professor durante o processo de construção do conhecimento, o que privilegia a mediação social (L3G3, L2G4, L1G5, L1G6, L4G6, L3G7 e L5G7);
- um deles não apontou vantagens na utilização dos modelos para explicar os referidos processos termoquímicos (L3G6).

Sobre as eventuais desvantagens, tem-se o seguinte panorama de respostas:

- vinte licenciandos destacaram a limitação dos modelos na explicação de alguns atributos dos processos representados, não expressando com fidelidade o real;
- quatro ressaltaram que eles permitem estabelecer generalizações incorretas, favorecendo o desenvolvimento de concepções alternativas (L1G1, L2G2, L2G5 e L1G6);
- três licenciandos não apresentaram desvantagens (L3G1, L3G2 e L3G6).

Dentre as respostas apresentadas, destacam-se as mais representativas:

Os modelos têm a vantagem de explicar, em nível macroscópico, algo que acontece em nível submicroscópico. Outra vantagem dos modelos é mediar a construção do conhecimento pelo próprio aluno. Eu acho que se o professor não deixar claro que as bolinhas utilizadas servem como analogia ao átomo, o aluno pode pensar que átomo é uma bolinha que tem cor, daí essa seria uma das desvantagens do uso do modelo. (L2G1)

A principal vantagem no uso da Modelagem é o fato de tornar palpável alguns fenômenos que são invisíveis a olho nu. Além de ser um ótimo jeito de inserir o estudante no processo da formação de conhecimento científico. E as desvantagens são: todo modelo tem sua falha, ou seja, o professor tem de deixar claro que qualquer modelo, apesar de explicar bem um fenômeno, ainda tem seu erro. O processo de Modelagem é demorado e muitas vezes o tempo é um fator crucial para finalização de uma aula. (L1G2)

[...] coloca o aluno na condição de ter que elaborar o modelo em grupo, sendo desenvolvidas habilidades de trabalho em equipe, argumentação, levantamento de hipóteses. As desvantagens são que os alunos podem criar uma falsa ideia do tamanho real dos átomos e que a modelagem deste conteúdo envolva alguns pré-requisitos bem consolidados, como o de ligações químicas e reações em geral. (L2G2)

Os modelos são úteis para explicar a quebra e a formação das ligações, mas só o uso desses modelos não é suficiente para explicar todos os detalhes que envolvem um processo termoquímico, pois, por exemplo, através dos modelos não foi possível explicar o conceito de energia de ativação. (L2G3)

Com a utilização dos modelos, têm-se as seguintes vantagens: facilita a compreensão do aluno, auxilia o professor na explicação desses processos, visto que se trata de um assunto complexo para alunos do Ensino Médio, onde eles fazem questionamentos relevantes e de difícil explicação sem auxílio de modelos. Já como desvantagem, tem-se que o modelo não é algo que explica totalmente o conceito científico, ele tem falhas e que pode fazer com que o aluno tenha uma compreensão errônea, caso o professor não comunique aos alunos. (L3G3)

Penso que nenhum modelo atenda, explique satisfatoriamente os fenômenos observados. Cabe ao professor extrair os pontos positivos de cada um e, se possível, explicitar as falhas e ir lançando mão de modelos que permitam melhores explicações. Caso não sejam discutidos corretamente, tais modelos podem levar os alunos a interpretações errôneas, sendo essa uma das desvantagens do uso do modelo. (L2G4)

Vantagens: O aluno vê como se sucede uma reação química, através do rearranjo de átomos. Desvantagens: O aluno pode pensar que para um átomo se ligar a outro é necessário um palitinho entre eles. Por ser modelos coloridos, ele pode pensar que determinado átomo é daquela cor. (L3G5)

As vantagens estão relacionadas com o fato de que o modelo torna o fenômeno mais concreto, na medida em que o aluno pode “ver” as ligações que são formadas e rompidas entre os átomos. Além disso, podem perceber a quantidade de partículas que havia inicialmente e ao final (o que pode auxiliar na construção do conceito de Entropia). A desvantagem está no fato de que este modelo não nos permite explicar todo o fenômeno. Como todo modelo ele tem as suas limitações. (L2G6)

Como vantagem, o aluno é estimulado a propor suas explicações, construir seus próprios modelos que explique suas observações. Como desvantagem, sabemos que modelos são limitados, eles explicam nossa observação até certo ponto. Então cabe ao professor mediar a atividade, questionando os alunos sobre seus modelos. (L4G6)

As vantagens de se utilizar um modelo são, que fica mais fácil de visualizar o que está acontecendo, fica mais fácil de testar hipóteses e é muito menos complexo que o real. Mas o modelo não explica tudo e na maioria das vezes não é possível fazer generalizações a partir de um modelo. (L1G7)

Vantagens: facilita a compreensão e o processo de ensino e aprendizagem, além de promover a interação entre os alunos e com o próprio professor. Desvantagens: todos os modelos têm suas limitações, então é o papel do professor saber mediar até que ponto o modelo traz contribuições positivas e até que ponto ele está incorreto. (L3G7)

Os modelos motivam o aluno a participar de forma ativa, ou seja, ele mesmo pode construir e fazer modificações. Ajuda, portanto, na visualização do fenômeno químico. A desvantagem está na associação, por parte do aluno, em entendê-lo como cópia perfeita da “realidade”. Por exemplo: Em um modelo com bolas de isopor, pensar que os átomos têm as mesmas formas esféricas e coloridas de tais bolas. (L5G7)

Após se envolverem com as atividades de Modelagem, alguns licenciandos conseguiram realizar uma avaliação crítica do processo de construção e uso de modelos como possibilidade de mediação do conhecimento, tal como evidenciado nas respostas transcritas anteriormente. Nesse sentido, eles perceberam as limitações da proposta que são fundamentais de serem pensadas quando um professor do Ensino Médio planeja atividades dessa natureza. Dentre as limitações, L1G2 destacou o tempo utilizado no desenvolvimento das atividades de Modelagem, tendo em vista que esse fator poderá ser um empecilho para o desenvolvimento do trabalho na Escola. Isso porque o processo de construção do conhecimento utilizando a Modelagem demanda muito mais tempo do que o processo tradicional de ensino, baseado na *transmissão-recepção* de informações. Assim, o fator tempo pode ser um complicador para aplicar essas atividades em uma situação real de sala de aula. Além disso, L2G3 e L1G7 destacaram que os *modelos concretos*, por si só, são incapazes de contemplar todos os atributos da entidade ou do processo modelado. De forma semelhante, L2G1, L3G5 e L5G7 apontaram as limitações relacionadas ao modo de representar as ligações químicas e os átomos. Isso demonstra que todo recurso mediacional apresenta possibilidades e limitações (Wertsch, 2007), demandando uma discussão em sala de aula. Em tais discussões, o professor deverá articular estratégias enunciativas e didáticas que favoreçam o aprimoramento dos modelos com ampliação de seu poder explicativo. Isso pode ser feito com ações multimodais associadas à manipulação dos *modelos concretos* que são utilizados para explicar processos dinâmicos, tal como aquele envolvendo o rearranjo dos átomos com liberação ou absorção de energia nas transformações químicas.

Por outro lado, cabe ressaltar que alguns licenciandos também reconhecem aspectos importantes nas atividades de Modelagem, com destaque para as respostas de L2G2 e L5G7. Ambos apontam que essas atividades favorecem o desenvolvimento de habilidades intra e interpessoal junto aos estudantes, tais como o trabalho em grupo, o compartilhamento de novos conhecimentos e o desenvolvimento da argumentação em torno de questões científicas. Além disso, o processo se mostra desafiador, o que pode motivar os estudantes a se envolver com as atividades

propostas. Dessa forma, L3G3, L2G4, L4G6 e L3G7 destacaram que os modelos favorecem o processo de mediação social e semiótica orquestrado pelo professor, por meio de aulas dinâmicas. Isso permite aos estudantes desenvolver uma compreensão mais apurada da função que os modelos assumem no contexto das Ciências, entendendo com mais clareza os limites e as potencialidades dos mesmos.

Além disso, ao tomarem consciência das limitações dos *modelos concretos*, foi possível aos licenciandos utilizar diferentes ações multimodais juntamente com essas representações. É necessário reconhecer que todos esses recursos e ações apresentaram o potencial de favorecer a mediação pedagógica em sala de aula, dando aos licenciandos a possibilidade de reavaliarem as estratégias enunciativas propostas para articular o conhecimento junto aos estudantes do Ensino Médio. Contribuíram também para se ter uma maior clareza sobre a função dos modelos utilizados nas Ciências e a importância deles na busca por construir significados em sala de aula, tendo em vista as muitas funções dos modelos utilizados no processo de ensino e aprendizagem da Química. Dentre essas funções destacam-se a possibilidade de os modelos favorecerem a comunicação e atuarem como agentes que simplificam uma teoria (Justi, 2010). Essas vantagens foram ressaltadas na resposta de L3G3.

Com base nas transcrições apresentadas no Capítulo 5, é possível considerar que os dados provenientes das aulas apontam para um entendimento dos usos dos modelos por parte dos licenciandos. Isso foi verificado na discussão inicial estabelecida com o Grupo 6 (parte final da Aula 4), quando o professor questionou qual o objetivo dos modelos. L1G6 respondeu prontamente que era o de facilitar as explicações. Além disso, na Aula 5 a consciência sobre a função representacional dos modelos foi verificada quando o professor questionou ao Grupo 2 sobre as diferentes cores relativas a massa de modelar utilizadas para representar as ligações. L2G2 destacou que *“a questão é explicar/ na hora de explicar/ quando estiver fazendo o modelo falar/ olha/ tem o problema tal tal tal/ a ligação não vai cor/ isso aqui é um modelo [...]”*.

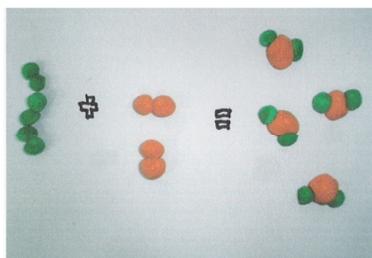
Verificou-se ainda que alguns licenciandos utilizaram modelos que, a princípio, não eram compatíveis com a conceituação química, considerando que eles destacavam a ideia de energia contida nas ligações químicas e liberada quando as

mesmas eram quebradas. É o que se pode ver, por exemplo, na apresentação feita por L3G5 do seu modelo²⁴: “[...] *no processo exotérmico libera calor/ porque as energias/ as ligações quebradas têm maior energia/ então para formar as outras ligações/ não gastaria toda a energia/ então libera/ e no endotérmico/ para formar as ligações do produto/ é como se o reagente não tivesse energia suficiente e tivesse que pegar do meio/ é por isso que o sistema esfria/*”. O esclarecimento desse equívoco passa pela discussão da natureza elétrica das ligações químicas e dos processos energéticos a elas associados, como feito pelo Grupo 7, ao evocar o gráfico de poço potencial. Outra possibilidade é a de manipular os *modelos concretos*, de modo a ser possível discutir a relação energética envolvendo o rearranjo dos átomos durante as transformações químicas, tal como foi feito pelos licenciandos do Grupo 2.

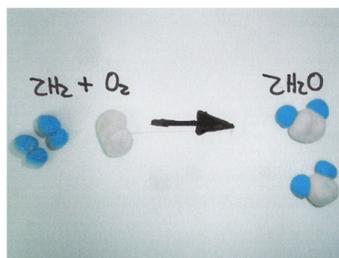
Isso confirma a importância de se utilizar a multimodalidade para compreender o caráter processual das transformações químicas, evitando assim caracterizar o calor como algo material ou sendo o produto de uma reação. A ideia material associada à energia da ligação foi representada no modelo proposto pelo Grupo 3, que relacionou a sobra de palitos à energia liberada no processo. Os pedaços de palitos remanescentes eram provenientes da diminuição no tamanho das ligações formadas nos produtos. É necessário considerar aqui que, a princípio, não existe incoerência em representar ligações químicas com materiais concretos, desde que seja explicitada essa limitação no momento em que se discute o modelo utilizado, tendo o cuidado com os significados que a linguagem superficial e pouco refletida podem criar junto aos estudantes.

Na questão 5 da avaliação, foram apresentadas duas fotos de modelos elaborados por estudantes do Ensino Médio para descrever a reação de formação da água. O enunciado destacou que o processo era exotérmico, sendo caracterizado pelo $\Delta H < 0$. Seguem as fotos dos referidos modelos.

²⁴ A referida ideia não pode ser associada ao *modelo consensual* do Grupo 5, pois durante a apresentação ficou claro que os licenciandos do grupo haviam trabalhado isoladamente, sem chegar a um acordo.



MODELO 01



MODELO 02

Considerando as discussões realizadas durante as aulas de *Instrumentação para o Ensino de Química II*, foi solicitado aos licenciandos que avaliassem os modelos, destacando aspectos positivos e negativos presentes nas representações propostas pelos estudantes. As respostas foram agrupadas em categorias, que se encontram nas Tabelas 03 e 04 a seguir.

Tabela 03. Categorias referentes aos aspectos positivos e negativos relacionados ao Modelo 01 (M1), de acordo com a avaliação dos licenciandos.

Modelo 01	Categoriais / Código (X_{M1})	Quantidade de Licenciandos
	Não destacaram aspectos positivos / A_{M1}	16
Aspectos positivos	Representaram os elementos/átomos com cores e tamanhos diferentes / B_{M1}	5
	Permite visualizar e discutir a formação de novas ligações na reação química / C_{M1}	3
	Apresentou a geometria correta das moléculas de O_2 e H_2O / D_{M1}	1
	Destacou a reação do hidrogênio com o oxigênio para formar a água / E_{M1}	2
	Não destacou aspectos negativos / F_{M1}	1
Aspectos negativos	Relacionou o processo químico a uma equação matemática, dando a entender que reagentes e produto seriam iguais / G_{M1}	10
	Favoreceu uma possível associação dos átomos a bolinhas com cores e tamanhos variados / H_{M1}	2
	Faltou explicar e representar a energia envolvida no referido processo químico / I_{M1}	4
	Não representaram o balanceamento correto da reação / J_{M1}	10

Tabela 04. Categorias referentes aos aspectos positivos e negativos relacionados ao Modelo 02 (M₂), de acordo com a avaliação dos licenciandos.

Modelo 02	Categoriais / Código relacionado (X _{M2})	Quantidade de Licenciandos
Aspectos positivos	Não destacou aspectos positivos / A _{M2}	3
	Representaram os elementos/átomos com cores e tamanhos diferentes / B _{M2}	5
	Permitiu visualizar e discutir a formação de novas ligações na reação química / C _{M2}	6
	Modelo coerente, respeitando a estequiometria do processo / D _{M2}	10
	Pode ser utilizado para explicar fenômenos termodinâmicos / E _{M2}	1
	Utilizaram simbologias próprias das equações químicas / F _{M2}	2
Aspectos negativos	Não destacaram aspectos negativos / G _{M2}	16
	Faltou explicar e representar a energia envolvida no processo químico / H _{M2}	6
	Favoreceu uma possível associação dos átomos a bolinhas com cores e tamanhos variados / I _{M2}	2
	Não permite que o estudante visualize as ligações formadas (simples ou duplas) / J _{M2}	1
	Apresentou elementos de uma equação matemática / K _{M2}	1
	Não representou a colisão entre as moléculas / L _{M2}	1

Dentre as repostas apresentadas, destacam-se as seguintes, acompanhadas pelos respectivos códigos de categorização das respostas:

O primeiro modelo tem o aspecto positivo de ter representado os elementos hidrogênio e oxigênio de cores e tamanhos diferentes, evidenciando que o aluno percebe que são elementos diferentes. No entanto, como aspectos negativos, vejo: representou com sinal de igual a seta que indicaria a formação dos produtos. Dessa forma, parece que o reagente é igual ao produto. Além disso, o aluno representou ao invés de quatro moléculas de hidrogênio, seis elementos hidrogênio grudados uns aos outros, o que é incorreto. No segundo modelo, o estudante representou as moléculas dos reagentes e produto corretamente, representou os elementos hidrogênio e oxigênio com cores e tamanhos diferentes. Achei o modelo proposto por esse segundo estudante bem correto, só faltou referir a energia na transformação. (L2G1) – B_{M1} e G_{M1} / B_{M2} e H_{M2}.

O segundo modelo é o que melhor explicou o processo, já que no primeiro é representada uma molécula de H_2 por 6 átomos (esferas) e duas moléculas de O_2 . Além do modelo demonstrar que o aluno não compreende o significado da equação química, deixa claro que ele não possui o conceito de conservação de massa, visto que existe maior número de átomos de hidrogênio no produto do que nos reagentes. O segundo modelo, como eu já havia dito, explica de forma simples e correta o que acontece, apesar de não demonstrar o que acontece do ponto de vista energético, assim como no primeiro. (L3G1) – A_{M1} e J_{M1} / D_{M2} e H_{M2} .

Ambos os modelos mostram que os alunos conseguiram ver “o que ocorre”, muito embora não tragam nada que reflita “como ocorre”. É possível inferir que os modelos foram propostos por alunos que estão em diferentes estágios de aquisição da linguagem química (o primeiro aborda a reação como operação matemática, o segundo já faz uso de seta e equações). O primeiro modelo ainda traz uma falha na proporção que limitaria o professor a retomar esta ideia de modelo feito pelo aluno para discutir a lei das proporções definidas, por exemplo. (L2G2) – A_{M1} e G_{M1} / F_{M2} e G_{M2} .

A utilização desses modelos não auxilia na explicação da reação de combustão, que tem como característica a liberação de calor. Nele não é representado o saldo energético e nem se podia notar a quebra e formação de ligações diferentes, que caracterizam a reação e podem explicar o fenômeno termoquímico. Entretanto, pode-se usar tal modelo para ajudar os alunos na observação dos reagentes e produtos da reação, ou seja, na ocorrência da transformação química, além de auxiliar no estabelecimento da estequiometria da reação. Sem, no entanto, tentar explicar a variação da Entalpia com esse modelo. (L3G2) – C_{M1} e I_{M1} / C_{M2} e H_{M2} .

Os dois mostram moléculas de oxigênio maiores que as de hidrogênio, o que é coerente. A primeira representação parece não compreender a transformação química, descreve apenas uma equação química em que o princípio de Lavoisier é desconsiderado, pois há “criação/aparecimento” de dois átomos de hidrogênio nos produtos. A segunda representação é coerente com o princípio de Lavoisier e as proporções de Proust e parece compreender o processo de transformação química; ambos desconsideram as energias envolvidas. (L1G6) – B_{M1} e I_{M1} / B_{M2} e H_{M2} .

No modelo 1 não são colocados as quantidades estequiométricas. Além disso, os símbolos + e igual dão a impressão que a reação é uma equação matemática. No modelo 2 foram colocadas as quantidades estequiométricas. Nos dois modelos, as moléculas são representadas com tamanhos diferentes, o que é muito interessante. (L1G7) – B_{M1} e J_{M1} / B_{M2} e G_{M2} .

Ao analisar as respostas, constata-se que os licenciandos discutiram aspectos relevantes dos modelos propostos, apresentando críticas bem fundamentadas a essas representações, muitas das quais deveriam ser abordadas em sala de aula. L2G1 e L1G7, por exemplo, ressaltaram as relações estequiométricas e as diferenças físicas dos modelos para representar os átomos de oxigênio e hidrogênio (cores e tamanhos distintos), evidenciando que os estudantes perceberam em ambas as situações que são representações de elementos com características diferentes. Além disso, L2G1 destaca a ausência da representação para o saldo energético final do processo, expresso pela variação de Entalpia. L3G1 concluiu que os estudantes responsáveis por elaborar o Modelo 01 apresentavam lacunas teóricas relacionadas à ideia de conservação das massas (Lei de Lavoisier). Isso abre a possibilidade para que o professor, a partir dessa representação equivocada, retome tais conceitos, por meio

de ações que envolva a mediação social (interações discursivas fomentadas a partir das ideias representadas) e semiótica (uso dos modelos para explicar uma teoria).

L2G2 apontou o caráter estático das representações propostas pelos estudantes no momento que expressa o seguinte entendimento sobre elas: *“Ambos os modelos mostram que os alunos conseguiram ver ‘o que ocorre’, muito embora não tragam nada que reflita ‘como ocorre’”*. Além disso, demonstrou a importância de os estudantes compreenderem com clareza as simbologias utilizadas para representar as equações químicas, tal como o sinal de adição presente entre os reagentes e a seta no sentido do produto. Isso poderia ser feito a partir das intervenções do professor, sobretudo com a manipulação dos modelos, o que daria a possibilidade dos estudantes compreenderem a dinamicidade do processo em estudo e o sentido das representações associadas a ele. L3G2 apontou para a importância de os modelos serem manipulados no momento em que se mencionasse a impossibilidade dos mesmos explicarem, por si só, como ocorre a quebra e a formação das ligações. Isso deveria ser feito imprimindo ação a essas representações, que se fazem multimodais no momento de construção de significados em sala de aula, de modo a esclarecer a dinâmica que envolve o rearranjo dos átomos e as relações energéticas associadas a esses processos.

Na aula 5, quando o professor discutiu com L2G5 sobre a representação das transformações químicas, esse licenciando destacou a importância de se demonstrar a dinamicidade do processo. Tal situação foi observada no momento em que o professor questionou o motivo dos modelos que representavam as moléculas dos reagentes não terem sido utilizados para demonstrar o rearranjo dos átomos e a formação do produto. Isso pode ser constatado nos turnos de fala transcritos a seguir:

- (1) L2G5: *a gente procurou representar a reação química no todo/ aí então/ a gente já mostrou os reagentes prontos e os produtos prontos/*
- (2) ((Professor)): *e aqui você mostrou o quê?/ o que está na mão do L1G5?/*
- (3) L2G5: *mostrou a quebra das ligações e a formação das ligações/*
- (4) ((Professor)): *então aqui você mostrou um processo/*
- (5) L2G5: *mostrou o processo/*
- (6) ((Professor)): *qual é a vantagem de usar um processo/ como vocês representaram/ quebrando e formando/ e mostrar a reação pronta/ como foi pensado a princípio?/*

(7) L2G5: *a vantagem de usar o processo é que você/ vê/ como se deu a evolução das ideias/ você se insere no processo quando enxerga como ele está acontecendo para dar o resultado final/ essa é a vantagem do processo/ quando ele está pronto não/ quando ele está pronto/ você aceita ele/ como um modelo pronto para explicar algumas reações [...]/*

Na sequência, foi colocado o seguinte questionamento aos licenciandos (item B da questão 5): *Nos modelos apresentados pelos alunos, não há qualquer referência à energia envolvida no processo descrito. Como você avalia esta ausência? Ao analisar as respostas, tem-se que:*

- dez licenciandos apontaram a limitação dos modelos em abranger todos os aspectos relacionados às transformações químicas, devendo ser apresentada uma explicação complementar;
- nove licenciandos ressaltaram que os estudantes, provavelmente, não compreenderam ou não se atentaram para os aspectos energéticos e termoquímicos envolvidos no processo, sendo assim impossível representá-los;
- três apontaram a limitação dos modelos, associada ao não entendimento dos aspectos energéticos e termoquímicos envolvidos no processo (L2G2, L3G2 e L2G7);
- dois apresentaram outros exemplos, chamando a atenção para possíveis simbologias que pudessem representar a energia envolvida no processo químico (L2G4 e L3G5);
- três apresentaram respostas não conclusivas (L4G2, L3G4 e L3G7).

Dentre as respostas dos licenciandos, destacam-se as seguintes:

Eu acredito que os alunos não se referem à energia envolvida no processo descrito, devido ao fato de não compreenderem como ocorre uma reação química. Muitos alunos não sabem de onde surge o calor que é liberado ou formado durante a reação química. Cabe então ao professor mediar o aluno na construção desse conhecimento. (L2G1)

Pode ser que o aluno entenda o que ocorre do ponto de vista energético ou mesmo que não tenha se dado conta da importância dessa representação. Acho que cabe ao professor nesta situação questionar e levá-lo a pensar sobre a energia envolvida no processo. (L3G1)

A não representação da energia liberada no fenômeno estudado pode ser justificada pelo fato de, talvez, os alunos não terem conhecimento de onde vem essa energia ou quem sabe de como representá-la no modelo proposto. Avalio que a ausência desta referência seria a porta de entrada para a discussão destes conceitos em sala de aula. (L1G2)

A ausência da representação da energia demonstra a dificuldade que os alunos têm de entender de fato o que é energia. Como energia não é algo material que tem forma, eles não conseguem representar através de modelos e nem mesmo relacionar que as moléculas possuem quantidades diferentes de energia. (L1G3)

Depende do que o professor quer trabalhar, transformação química, conservação de massa... Caso queira falar de energia, pode discutir com os alunos e elegerem uma simbologia para representar a energia e acrescentarem à representação. (L2G4)

A falha reside no próprio modelo. O modelo mostra algumas relações importantes, como a proporção, porém é limitado quanto ao aspecto energético. Dessa forma, vejo esse modelo como insuficiente para se trabalhar satisfatoriamente os processos termoquímicos. (L2G5)

O modelo não é adequado para o estudo da transferência de calor, devido à diferença de temperatura. Por meio do modelo, poderia se realizar uma discussão acerca das ligações formadas e quebradas, seu caráter, o número de microestados obtidos. Avalio tal ausência como compreensível e previsível, dado a dificuldade de se trabalhar o conceito de calor por meio de modelo. (L3G6)

Avalio de forma positiva, pois representar a energia através do modelo seria dizer que a energia tem alguma forma. A energia envolvida nos processos é um saldo entre as energias dos produtos e reagentes. Portanto, não caberia colocá-lo no modelo. (L1G7)

Por meio das respostas apresentadas, constatou-se que os licenciandos parecem compreender a importância que o professor assume frente ao processo de mediação do conhecimento científico em sala de aula. Nesse sentido, cabe ao professor explicar sobre o calor envolvido nas transformações químicas, utilizando para isso os *modelos multimodais* como recursos para facilitar a visualização e representar a dinamicidade inerente às transformações químicas. Enfatizam ainda que, durante essa discussão, se faz necessário chamar a atenção dos estudantes para o fato de que os modelos, como representações estáticas, não são capazes de contemplar a energia relacionada ao processo químico em estudo. Dessa forma, L2G1, L3G1 e L1G2 apontaram que o professor deve discutir com a turma a função dos modelos, destacando que eles carecem de explicações complementares, de modo a contemplar uma maior quantidade de atributos do fenômeno modelado, tal como discutido por Harré (2004).

Sobre uma possível representação da energia envolvida no processo químico, L2G4 ressaltou a importância de o professor eleger algum tipo de simbologia que se relacione ao saldo energético final. Entretanto, é importante que o professor discuta e avalie criteriosamente as repercussões dessa simbologia em sala de aula e, conseqüentemente, suas implicações para o processo de aprendizagem. Nesse sentido, foi destacado em diferentes respostas que a não representação da energia

pelos estudantes favorece uma ampla discussão sobre o uso e os limites dos modelos nas Ciências. Isso pode ser feito ao abordar as transformações químicas em estudo, ressaltando que esses processos apresentam grandezas associadas a eles que são difíceis ou improváveis de serem representadas concretamente, tal como o calor e a energia. Essa ideia foi destacada nas respostas de L1G3, L3G6 e L1G7, que apontaram a limitação em representar de forma material a energia envolvida nos processos químicos. Importante destacar ter sido essa a solução apresentada pelo grupo 3. Assim, podemos inferir que a atividade de socialização de modelos permitiu a L1G3 reavaliá-la criticamente.

Em relação às diferentes possibilidades para expressarem as ideias, os licenciandos recorreram com frequência a gestos, simulações, gráficos, fórmulas, desenhos e analogias, de modo a tentar expor o pensamento e articular os conceitos em estudo com a maior clareza possível. Tal fato foi observado ao longo de toda a transcrição apresentada no Capítulo 5, destacando que esses recursos e ações multimodais exerceram um papel relevante (e insubstituível) na comunicação e no processo de produção, negociação e estabilização de significados (Kress, 2010; Silva Oliveira, 2013; Cappelle, 2014). Nesse sentido, os gestos que acompanham a simulação proposta pelos licenciandos do Grupo 2, as analogias discutidas nos grupos 6 e 7 e os gráficos utilizados pelo Grupo 7 foram recursos multimodais articulados em sala de aula juntamente com o uso dos *modelos concretos*, buscando favorecer a mediação do conhecimento nesse espaço e a construção de significados.

Essa articulação multimodal se fez necessária, considerando que os *modelos concretos*, por si só, apresentam restrições de natureza representacional, de modo a ser imprescindível utilizar a fala e outros modos gestuais para expressar a dinamicidade dos processos termoquímicos, favorecendo assim o seu entendimento.

Entretanto, mesmo sendo limitados, os *modelos concretos* são fundamentais para o processo de construção do conhecimento científico, considerando que, além de serem parte do alicerce das Ciências, eles têm o potencial para ajudar a desenvolver habilidades que extrapolam os saberes dessa área (Maia, 2009). Isso pode ter favorecido a construção de uma percepção mais estruturadora sobre o conhecimento

científico por parte dos licenciandos, tal como discutido por Halloun (2007), considerando que as ideias articuladas nas atividades de Modelagem se apresentam muito mais como resultado de uma relação dialógica do que como um produto final desse processo. Processo esse que se relacionaria estritamente aos *modelos concretos* elaborados, desconsiderando o que envolveu a comunicação deles.

No presente trabalho, a elaboração dos modelos (representações concretas) e a comunicação deles no grupo e para a turma (discussão/socialização) foram etapas da Modelagem que favoreceram aos licenciandos avaliar a adequação das propostas para a mediação em sala de aula, além de permitir uma melhor compreensão das dinâmicas relacionadas à produção do conhecimento científico (Justi, 2006). Ao longo das aulas, foi possível a alguns licenciandos compreender a importância atribuída a todo o processo formativo, que buscou priorizar ações e estratégias com o foco na construção social de conhecimento e de significados em sala de aula. Isso foi verificado nas discussões apresentadas pelos grupos 2, 3, 6 e 7, sobretudo quando eles propuseram construir modelos e estratégias explicativas passíveis de entendimento por estudantes do Ensino Médio.

Por fim, Kress et al. (2001) destacam que os significados construídos em sala de aula não dependem apenas das potencialidades e limitações dos recursos utilizados, tais como os modelos. Os significados dependem, sobretudo, do modo como esses recursos e as interações em torno deles são orquestrados pelo professor ao longo da aula. Dessa forma, os professores seriam os principais responsáveis pelo acesso dos estudantes aos conceitos e à cultura científica, sobretudo a partir do uso integrado de imagens, da manipulação de *modelos concretos* e do discurso. A integração desses diferentes modos semióticos é fundamental para a efetividade do processo de significação articulado em sala de aula. Tal afirmação se baseia no fato de os diferentes recursos utilizados se tornarem instrumentos psicológicos à medida que lhes são atribuídos significados por meio da interação social mediada pelo professor. Isso pode favorecer a interconversão desses recursos em conhecimento dos sujeitos, considerando que *ensinar Ciências* se relaciona à possibilidade de oportunizar a construção de significados por meio de atividades e recursos que alicerçam a dinâmica

de produção, comunicação e legitimação de novos conhecimentos, como propõe o trabalho com Modelagem.

2.2. SEGUNDA QUESTÃO DE PESQUISA

- *De que forma as propostas de mediação social e semiótica articuladas ao longo do processo de Modelagem podem ter contribuído para que os licenciandos desenvolvessem habilidades conceituais?*

Para discutir a referida questão de pesquisa, recorreu-se aos dados coletados durante as aulas de Modelagem e às respostas apresentadas nas questões 4 e 6 da avaliação final. Com os dados da questão 4 buscou-se avaliar parte do conhecimento conceitual dos licenciandos, considerando que nem toda teoria foi contemplada nela. Em relação à questão 6, a análise centrou-se no desenvolvimento de habilidades relacionadas às propostas de mediação do conhecimento científico em sala de aula.

Sobre a questão 4, destacou-se no seu enunciado que o flúor (F_2) e o hidrogênio (H_2) são substâncias gasosas à temperatura ambiente que reagem explosivamente, produzindo o fluoreto de hidrogênio (HF), com um saldo energético final de 537 kJ.mol^{-1} . A partir destas informações, solicitou-se no item B que fosse proposta uma explicação (em nível submicroscópico) para o saldo energético final desse processo, caracterizando-o como endotérmico ou exotérmico. De acordo com as respostas apresentadas, tem-se o seguinte panorama, que será exemplificado na sequência:

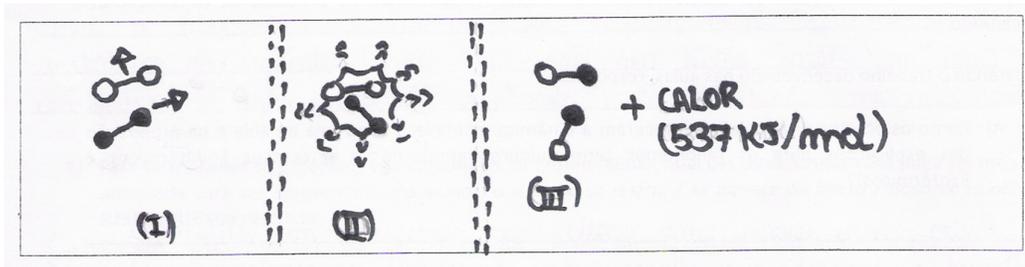
- dezenove licenciandos apresentaram explicações baseadas apenas no processo de quebra e formação das ligações químicas (*modelo consensual* da turma), sendo que sete estavam corretas e doze incorretas;
- três apresentaram explicações baseadas no número de ligações quebradas nos reagentes e formadas nos produtos, apontando aspectos relacionados à força ou polaridade das mesmas (L1G1, L2G2 e L2G6) – atributos esses destacados no modelo proposto pelo Grupo 6;
- dois apresentaram explicações utilizando atributos que seriam complexos para os estudantes do Ensino Médio compreenderem, pois se baseavam em conceitos termodinâmicos e nas respectivas relações matemáticas estudadas

apenas no Ensino Superior (L3G6 e L3G7) – resgatando atributos dos modelos discutidos durante as aulas;

- dois tiveram suas explicações baseadas em aspectos que envolviam a variação de energia entre os reagentes e os produtos, utilizando-se para isso o conceito de Entalpia e o saldo energético final, com o uso de termos que evocavam concepções substancialistas para o calor e/ou energia (L1G3 e L2G4);
- um não conseguiu explicar de forma plausível o processo químico em questão (L3G5).

Dentre as respostas apresentadas, destacam-se as seguintes:

[Explicação baseada na imagem reproduzida a seguir] *Em (I) é possível perceber o movimento aleatório das moléculas no estado gasoso. A esse movimento é associado uma quantidade de energia (energia cinética). As moléculas ainda possuem energia potencial associada as suas ligações (devido às vibrações). Quando ocorre o choque entre essas partículas, sua energia cinética fornece a energia necessária para que as ligações se rompam (mostrado em II). Quando ocorre o rompimento das ligações, os átomos tendem a se rearranjar em produtos mais estáveis, ou seja, com menor energia. Desse modo, resta um saldo energético que não foi consumido na formação dos produtos e é liberado na forma de calor.* (L3G2) – Explicação correta, baseada no processo de quebra e formação das ligações.



O número de ligações antes e depois é o mesmo, o número de moléculas também. Assim, para explicar que o fenômeno é exotérmico, deveremos pautar a explicação nas diferentes energias envolvidas em ligações químicas distintas. Falaria que a ligação do F_2 possui energia diferente do H_2 e ambos possuem energia de ligação diferente do HF . Sendo a energia liberada para formar 2 HF maior que a energia absorvida para romper a ligação de 1 F_2 e 1 H_2 , o processo é exotérmico. (L1G4) – Explicação correta, baseada na quebra e formação de ligações químicas distintas.

O processo é exotérmico. São rompidas duas ligações simples e são formadas duas ligações simples. No entanto, essas ligações que são rompidas e formadas têm características diferentes e, portanto, energias diferentes. As ligações rompidas, por exemplo, são apolares, enquanto as que são formadas são polares tendo, portanto, uma energia de ligação maior. (L2G6) – Explicação baseada no número e nas características das ligações rompidas nos reagentes e formadas nos produtos.

O processo é caracterizado como exotérmico e em um processo exotérmico a energia dos reagentes é maior que a dos produtos, pois nos reagentes temos duas moléculas diferentes que podem ocupar uma maior quantidade de microestados de energia diferentes. Já o produto é uma única molécula e, sendo assim, tem uma menor quantidade de microestados energéticos para ocupar. (L3G7) – Explicação baseada em conceitos termodinâmicos estudados apenas no Ensino Superior (microestados energéticos/Entropia).

Se há um saldo energético final é porque há produção de calor (liberação). Durante a transformação química, há um rearranjo das ligações. As ligações entre H_2 e F_2 são rompidas (processo endotérmico) e as ligações entre H e F são formadas (processo exotérmico). No cálculo da variação de Entalpia (ΔH), a energia produzida durante a formação das ligações nos produtos é maior. Logo, a variação de Entalpia é negativa. (Encontrado na maioria dos livros didáticos). (L2G4) – Explicação coerente para o saldo energético final, utilizando para isso termos que evocam ideias substancialista – calor/energia como produtos de uma reação.

Exotérmico. O hidrogênio se liga fortemente ao flúor, que é um átomo com eletronegatividade alta, por isso o saldo energético é alto. (L3G5) – Não explica o saldo energético final do processo.

De acordo com as respostas apresentadas anteriormente, é possível verificar que L3G2 e L1G4 relacionaram o saldo energético final aos processos de quebra e formação das ligações químicas, utilizando a ideia do *modelo consensual* proposto na turma. L1G4, por sua vez, analisa inicialmente essa quebra e formação em função do número de ligações envolvidas, além da quantidade de moléculas presentes no início e no fim do processo (associação indireta à Entropia do sistema). É importante destacar que a ideia discutida pelos licenciandos do Grupo 4 durante o processo de Modelagem se relacionava ao conceito de Entropia, sendo proposto inicialmente que o processo exotérmico estava associado à diminuição da Entropia e o endotérmico ao aumento. Com a resposta apresentada por L1G4, constata-se que essa ideia foi reavaliada ao longo do processo de Modelagem, demonstrando assim a compreensão do *modelo consensual* discutido na turma pelo referido licenciando.

L2G6 também recorreu ao *modelo consensual*, propondo que a questão energética estaria relacionada à polaridade das ligações. Para justificar essa ideia, ele afirmou que as ligações polares possuem maior *energia de ligação*. Para chegar a essa constatação, que dialoga com a ideia do modelo apresentado inicialmente pelo Grupo 6, o referido licenciando parece ter se baseado nos valores das *energias de ligação* associadas ao processo químico discutido na presente questão avaliativa (item C). Entretanto, cabe ressaltar que a ideia de uma maior energia associada às ligações polares não pode ser generalizada para outros casos, pois os valores das energias de ligação são calculados experimentalmente e disponibilizados em tabelas Físico-Químicas, aonde se constata que os valores de uma ligação apolar nem sempre será menor que a de uma polar, pois dependerá dos elementos químicos que estabelecerão essas ligações.

L3G7 apontou uma relação coerente entre a Entalpia dos reagentes e dos produtos ($H_r > H_p$), que pode ser apresentada pela Lei de Hess ($\Delta H = H_p - H_r$) para caracterizar o saldo final do processo. Além disso, utilizou ideias não usuais no Ensino Médio para explicar tal fenômeno, como a de microestados de energia, que se associa ao conceito de Entropia de um determinado sistema.

L2G4, único licenciando que já atuava formalmente como professor, também apresentou uma explicação coerente para o saldo energético final (baseada no *modelo consensual* da turma). Entretanto, utilizou para isso termos que evocam concepções substancialistas (“*produção de calor*” e “*energia produzida*”), associando implicitamente o calor e a energia como sendo produtos da reação. Ele inclusive ressaltou em sua resposta que essa ideia é encontrada na maioria dos livros didáticos, confirmando assim a importância da articulação da linguagem, por meio das interações discursivas em sala de aula, e do uso de modelos na explicação desses processos, tal como discutido por Souza e Justi (2011). Assim, uma cuidadosa abordagem apresentada pelo professor em sala de aula pode evitar que os estudantes se apropriem dessas concepções substancialistas.

Em relação aos doze licenciandos que apresentaram respostas incorretas, cabe ressaltar que eles discutiram ideias incompatíveis com a teoria, demonstrando confusão conceitual, pouco domínio do conteúdo presente na questão ou interpretação incorreta do enunciado, sobretudo quando o mesmo coloca que o processo ocorre de forma explosiva, sendo assim exotérmico. Essas constatações podem ser comprovadas com as seguintes respostas:

Para que uma reação química ocorra, é necessário haver um choque efetivo entre as moléculas dos reagentes, no caso em questão, entre as moléculas do flúor (F_2) e do hidrogênio (H_2). Durante a colisão, as ligações das moléculas dos reagentes são rompidas (liberando energia) e as ligações do produto (HF) são formadas (absorvendo energia). Como a energia liberada foi maior do que a energia absorvida, o saldo energético de Entalpia ($\Delta H = \Delta H_p - \Delta H_r$) foi negativo ($\Delta H < 0$) e assim o processo é caracterizado como exotérmico. (L2G1)

Trata-se de um processo exotérmico, pois libera grande quantidade de energia, sendo uma reação explosiva. As energias envolvidas nas ligações entre dois átomos de flúor e dois átomos de hidrogênio são maiores que a energia envolvida na ligação formada entre flúor e hidrogênio. Por isso, grande quantidade de energia é liberada na quebra das ligações F-F e H-H e uma quantidade menor de energia é absorvida para a formação das ligações H-F. Logo, o saldo energético é de 537 KJ/ mol. (L3G1)

Este é um processo endotérmico, no qual ocorre a absorção de calor do meio durante o processo reacional. Para que a reação ocorresse, foi necessário quebrar as ligações de H_2 e F_2 . Essa quebra libera

energia, mas não a energia suficiente para a formação do ácido fluorídrico (HF), por isso o sistema reacional, para promover a reação, absorve calor do meio no qual está inserido, de forma que, ao realizar tal absorção de energia, resfria o meio. (L4G2)

O processo é exotérmico, uma vez que o próprio enunciado da questão retrata a explosividade da reação, o que nos conduz a concluir sobre uma liberação de energia. Microscopicamente, ocorre quebra de ligações químicas provenientes da reação. Essa quebra libera uma enorme quantidade de energia. (L2G5)

Para que as moléculas dos reagentes reagissem, houve uma aproximação delas com ocorrência de um choque efetivo que fez com que as ligações químicas iniciais (H-H e F-F) fossem rompidas através de uma grande absorção energética do meio; ao saírem do estado intermediário, as novas ligações químicas formadas liberam energia para o meio, mas o saldo energético da transformação química observada é positivo, logo, classifica-se como endotérmica. (L1G6)

Considerando o processo reacional por etapas, temos: 1º) O sistema absorve energia do ambiente para atomizar H e F; 2º) O H se liga ao F liberando energia; e 3º) A energia gasta no rompimento das ligações H₂ e F₂ é maior que a energia liberada na formação do HF, tendo um saldo de energia positivo ou 537 kJ/mol. Portanto, o sistema é caracterizado como endotérmico. (L4G7)

L2G1, L3G1, L4G2 e L2G5 abordaram incorretamente a relação energética estabelecida no processo de quebra e formação das ligações químicas, apontando de modo equivocado que há liberação de energia na quebra das ligações e absorção na formação. Tal ideia foi constatada, também nas aulas, por meio das ações dos licenciandos ao longo do processo de construção dos modelos. Por exemplo, ela foi caracterizada pelos gestos realizados por L2G1 durante a discussão do modelo com o professor na Aula 5, expressa na transcrição a seguir: *“tiveram mais ligações sendo formadas/ então liberou mais [faz gesto com as duas mãos, movimentando ambas de modo a demonstrar que algo foi liberado no espaço]/ do que absorveu”*. Diferente da resposta apresentada por L2G1 na avaliação final do processo, durante a aula L2G1 associou corretamente a liberação de calor à formação das ligações químicas. Isso pode ser confirmado com base na fala e nos gestos que acompanharam a expressão dessa ideia.

A relação energética incorreta, estabelecida por doze licenciandos para explicar o processo de quebra e formação das ligações químicas, vai ao encontro dos resultados apontados por Hapkiwicz (1991). Em sua pesquisa, ele destacou que a ligação química é interpretada pelos estudantes como uma mola estendida que desprende a sua energia no momento que se rompe. Nesse sentido, os estudantes teriam a ideia de que a ligação segura fisicamente os átomos, liberando o conteúdo energético acondicionado nela quando a mesma se desfaz. Para tentar esclarecer essa

dificuldade conceitual, é necessário que o professor utilize um discurso de autoridade em determinados momentos da aula, permitindo aos estudantes compreender o processo energético que envolve a quebra e a formação das ligações químicas.

Nas aulas aqui apresentadas, o discurso de autoridade do professor não se fez presente na maioria dos momentos em que essas associações incorretas apareceram, o que justifica a persistência desses equívocos por alguns licenciandos ($n=12$) na avaliação final do processo. Dezenove licenciandos deram indícios de ter compreendido a dinâmica relacionada ao rearranjo de átomos, que foi representado por meio dos *modelos concretos* (quebra e formação das ligações). Entretanto, somente sete deles demonstraram uma compreensão energética correta do processo, o que permitiria explicar o saldo final das transformações químicas.

Em relação à L1G6 e L4G7, ambos apresentaram uma explicação energética correta para a quebra e formação das ligações. Mas ao final não conseguiram associar corretamente esse processo ao saldo energético da referida transformação química (ΔH). Considerando o indicativo no enunciado de se tratar de uma reação explosiva, ou seja, Exotérmica, o erro cometido pelos licenciandos pode ser explicado por uma desatenção frente ao exposto pela questão.

No item C, foi apresentada uma questão teórica que buscava avaliar o conhecimento conceitual dos licenciandos, sobretudo a partir das discussões que envolveram as atividades de Modelagem e a definição do *modelo consensual*. Assim, o comando da questão forneceu os valores para a energia de ligação **F-F** e **H-H**, solicitando que a partir deles e do ΔH fosse determinada a energia da ligação **H-F**. De acordo com as respostas apresentadas, constatou-se que apenas cinco licenciandos conseguiram realizar os cálculos corretamente (L2G1, L1G4, L1G6, L2G6 e L1G7). Dois dos licenciandos que acertaram (L2G1 e L1G6), no item anterior da questão apresentaram respostas parcialmente incorretas para a explicação qualitativa do processo.

Diante desse resultado, é possível inferir que provavelmente: (i) L2G1 e L1G6 tinham familiaridade com a resolução de exercícios desse tipo; ou (ii) pode ter ocorrido uma desatenção deles quando foram propostas as explicações, tal como discutido

anteriormente para a associação incorreta feita por L1G6 ao processo químico descrito na questão. Em relação aos demais licenciandos, vinte e um apresentaram respostas incorretas e um deixou a questão em branco (L4G6), tal como mostrado no Gráfico 01.

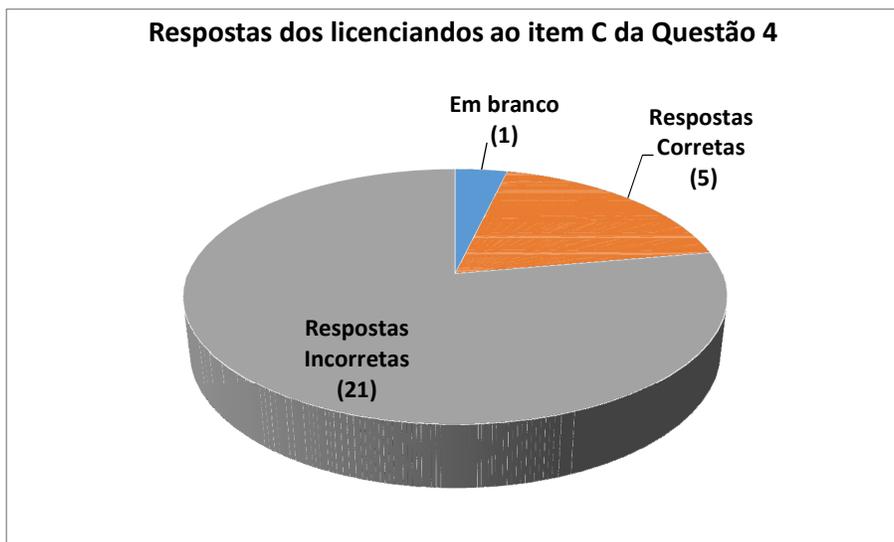


Gráfico 01. Respostas dos licenciandos ao item C da questão 4.

A partir dos resultados obtidos na resolução dessa questão, pode-se concluir que, como as atividades de Modelagem não contemplaram diretamente os aspectos quantitativos, buscando apresentar situações-problema que envolvessem a operacionalização dos cálculos relacionados aos processos termoquímicos, a maioria dos licenciandos demonstraram dificuldades para articular corretamente esse aspecto conceitual. Assim, é importante salientar que a análise dessa questão apresentou um cenário surpreendente para o contexto de formação inicial dos professores de Química, mesmo considerando que os aspectos quantitativos relacionados a esse conteúdo não tenham sido abordados diretamente durante as aulas de Modelagem. Tal fato poderia justificar, em certa medida, os resultados obtidos. Entretanto, os licenciandos naquele momento do curso (todos estavam do 6º período em diante) já haviam cursado disciplinas teóricas e práticas, tal como a Físico-Química, que deveriam fornecer o respaldo necessário para se realizar corretamente o cálculo proposto ou se pensar nesse modelo mais simplificado. A única exceção era a do licenciando L2G4,

que ainda não havia cursado a disciplina de Físico-Química II, considerando que estava atrasado no curso, o que se justificava pela grande carga horária de trabalho²⁵.

Cabe ressaltar também que essa questão apresentou um exercício que pode ser considerado canônico, pois está presente na maioria dos livros didáticos (senão em todos!) voltados ao Ensino Médio. Isso permitiria concluir que os licenciandos, muito provavelmente, já haviam se deparado, naquele momento do curso, com exercícios que apresentassem comandos semelhantes ao que foi colocado na questão, estando aptos a resolvê-lo. Dessa forma, merece destaque a importância que foi dada por L1G7, um dos licenciandos que resolveu corretamente a questão, aos aspectos quantitativos dos processos termoquímicos. Isso foi evidenciado durante a discussão ocorrida na aula, tal como demonstra a transcrição apresentada a seguir:

- (1) L1G7: [...] *ai como eu explico para ele [se refere ao estudante do Ensino Médio] sem quantificar isso/ porque não é direto/ [...] mas eu acho que o qualitativo nem sempre vai/ você entende o que eu estou? [L4G7 diz junto com L1G7: só que o aluno pode questionar entendeu?]/*
- (2) ((Professor)): *ele quer um exemplo concreto/*
- (3) L1G7: *não/ eu estou te dizendo é que/ eu posso dar uma explicação quanti/ qualitativa/ mas que em alguns exemplos não funcionam/ [...] porque ai eu preciso trabalhar com números/ para quebrar tal precisa de tanto/ para formar tal precisa de tanto/*
- (4) ((Professor)): *não/ mas ai não precisa/ você vai mostrar para ele a quebra e a formação/ não precisa nesse momento de quantificar/*
- (5) L1G7: *mas ai em algum momento eu vou precisar quantificar/*
- (6) ((Professor)): *vai/ mas assim/ para explicar o processo a princípio não há necessidade/ quando você quiser um valor preciso/ ai você tem que recorrer às tabelas de energia de ligação/*
- (7) L1G7: *porque a gente estava pensando assim que/ o modelo deveria ser um modelo mais geral/*

Nos turnos demarcados anteriormente, constata-se que L1G7 percebeu a lacuna existente nas discussões que foram realizadas durante as atividades de Modelagem, no sentido de não abordar diretamente os aspectos quantitativos relacionados aos processos termoquímicos. Dessa forma, L1G7 aponta que tais aspectos quantitativos deveriam ser contemplados no momento do ensino, de modo a

²⁵ Na ocasião em que os dados desta pesquisa foram coletados, o referido licenciando atuava na rede particular de ensino das cidades de Viçosa e Ponte Nova, exercendo a função docente no Ensino Fundamental e Médio. No primeiro semestre de 2014, todos os licenciandos participantes desta pesquisa já havia concluído o curso de Química, com exceção de L2G4.

permitir aos estudantes uma maior clareza, sobretudo em relação aos processos de quebra e formação das ligações químicas, o que permitiria obter o saldo final da transformação química. Para que isso acontecesse, seria desejável que o modelo discutido em sala de aula fosse o mais geral possível, tal como enfatizado por L1G7 no último turno de fala transcrito.

Desse modo, as ideias simplificadas que contemplam os referidos processos químicos quase não são discutidas com os licenciandos, tal como o *modelo curricular* utilizado no Ensino Médio para explicar as relações energéticas inerentes aos processos químicos. Isso pode gerar uma lacuna teórica, que repercutirá futuramente quando os licenciandos estiverem em sala de aula. É necessário, então, que os professores responsáveis por conduzir o processo formativo no Ensino Superior busquem articular o discurso de autoridade em momentos oportunos para isso, favorecendo a construção de significados em torno dos modelos propostos. Além disso, os resultados apresentados aqui apontam que as discussões dos diferentes conteúdos não podem se limitar apenas às disciplinas de caráter técnico-científico. Elas devem estar presentes, sobretudo, nas disciplinas de formação pedagógica.

Por fim, serão discutidas as respostas dos licenciandos ao item A da questão 6, na qual foi apresentada a equação de combustão do álcool etílico. Em seguida, questionou-se como eles explicariam a um estudante do Ensino Médio que a queima do álcool *libera* energia, de modo a ser possível compreender o processo químico em questão. Como as respostas ficaram pulverizadas em onze categorias distintas, demonstrando diferentes possibilidades explicativas, elas serão apresentadas na Tabela 05 com a identificação dos licenciandos, de modo a facilitar a posterior exemplificação e análise.

Tabela 05. Categorias referentes às explicações propostas pelos licenciandos no item A da questão 6.

Categoriais	Licenciandos
<i>Explicação baseada na energia envolvida durante o processo de quebra e formação das ligações químicas.</i>	Explicação correta L1G2, L3G2, L1G4, L1G7, L2G7, L3G7.
	Explicação incorreta L2G1, L3G1.
<i>Explicação associada à energia/Entalpia dos produtos e dos reagentes, sem maiores detalhes.</i>	L1G3, L2G5, L3G5, L5G7.
<i>Caracterização do processo de combustão apenas como exotérmico, sem apresentar uma explicação para esse fato.</i>	L2G3, L4G4.
<i>Explicação associada à energia dos produtos, dos reagentes e o saldo final do processo. Propõe utilizar gráficos e cálculos algébricos na explicação.</i>	L4G6, L2G6.
<i>Explicação do processo de combustão a partir da realização de experimentos e considerando o tipo de ligação quebrada e formada.</i>	L2G2, L3G4, L1G5.
<i>Explicação baseada na organização molecular do sistema e na sua Entropia.</i>	L1G1.
<i>Apresentação de questionamentos aos estudantes, buscando verificar se eles compreenderam a relação entre o sistema e a vizinhança.</i>	L3G6.
<i>Explicação baseada apenas nos componentes da combustão (reagentes e produtos).</i>	L3G3.
<i>Explicação baseada na equação de Clapeyron para os gases perfeitos ($PV=nRT$) e no eventual aumento do volume relacionado a combustão.</i>	L1G6.
<i>Explicação baseada na energia como sendo um dos produtos da reação.</i>	L4G2, L2G4.
<i>Explicação baseada apenas na contextualização do conteúdo.</i>	L4G1, L4G7.

Dentre as respostas apresentadas, destacam-se as seguintes:

O álcool etílico é um líquido de uso cotidiano e o oxigênio existe em abundância no meio, de forma que após fornecer uma certa energia inicial, a combustão se processa até o fim de um dos reagentes. O fato de não ser necessário manter a fonte de energia inicial se relaciona à reação liberar energia, que é proveniente do saldo de energia da formação das ligações nos produtos pela diferença de energia de quebra das ligações nos reagentes. (L1G2)

Na combustão do álcool, ocorre liberação de energia na formação de calor. O processo de queima de uma substância é uma reação exotérmica, o que significa dizer que a energia liberada na quebra das ligações dos reagentes é maior do que a energia absorvida na formação das ligações do produto. (L2G1)

A liberação de energia ocorre porque a Entalpia padrão dos reagentes é superior à dos produtos. Além disso, é preciso dar uma “ignição” ao processo, o qual necessita de um comburente para proceder a queima, resultando na liberação de energia. (L2G5)

Eu explicaria inicialmente utilizando o cálculo de Entalpia, mostrando o saldo energético através dos cálculos e de uma representação gráfica. Posteriormente, eu mostraria o processo de como o álcool é utilizado como combustível (a sua queima libera produtos muito energéticos que empurram o pistão e acionam o motor do carro). (L2G6)

Existem algumas situações em nível de pré-requisitos dos alunos que definiriam a abordagem, por exemplo: i) Se o estudante já tivesse compreendido qual era o sistema em estudo, um experimento simples de queima do álcool seria viável; ii) Se as dúvidas do aluno fossem em conceitos básicos, uma modelagem similar à que explicou a carbonização do açúcar seria um bom caminho, acompanhado de animações que completassem as ideias dos tipos de ligações que são quebradas e formadas. (L2G2)

Antes de explicar a liberação de energia, questionaria acerca do que eles entenderam por vizinhança nesse caso. Se pudéssemos medir a temperatura final, estaria relacionada à temperatura do sistema ou da vizinhança? O aumento da temperatura que seria observado não caracterizaria o aumento da temperatura das vizinhanças (um béquer, por exemplo) cedido pelo seu sistema? (L3G6)

Pode-se trabalhar inicialmente a equação dos gases ideais $PV = nRT$ e mostrar que em um ambiente fechado, a pressão e a quantidade de matéria seriam constantes; como há um aumento de volume (4V \rightarrow 5V), deve haver um aumento de temperatura, que está relacionado com a energia cinética do sistema. (L1G6)

Primeiramente, faria entender que assim como a água e o CO_2 , a energia produzida também seria um produto da reação que deveria ser representado no lado direito da reação. E também me utilizaria de acontecimentos do cotidiano para exemplificar a reação, familiarizando assim o fenômeno químico com o dia a dia dos estudantes. (L4G2)

Para que o aluno entendesse essa liberação de energia, primeiro eu faria uma contextualização da matéria, por exemplo, explicaria o funcionamento de um motor de automóvel movido a álcool. Explicaria que a queima do mesmo libera a energia necessária para o motor funcionar. Após uma contextualização, explicaria a energia envolvida no processo de quebra das reações, e o que caracteriza reações exotérmicas. (L4G1)

Considerando as repostas anteriores, é possível inferir que L4G1 e L1G2 apresentaram explicações baseadas na possibilidade de contextualização da referida transformação química. L4G1, por exemplo, propôs discutir o funcionamento de um motor utilizando a equação de combustão do álcool, enquanto L1G2 considerou o fato de o álcool ser um produto de uso comum no dia-a-dia das pessoas. Além disso, chamaram a atenção para a presença, no ar atmosférico, do oxigênio utilizado como comburente. Em relação à resposta apresentada por L4G1, é importante destacar que esse licenciando cometeu um equívoco ao escrever que “[...] explicaria a energia envolvida no processo de quebra das reações”. Na verdade, L4G1 se referiu às ligações rompidas durante o processo químico, para o posterior rearranjo dos átomos e

formação de novas ligações nos produtos. Esse foi, provavelmente, um erro conceitual relacionado à desatenção do licenciando no momento em que ele expressou por escrito tal ideia, considerando que o processo de quebra e formação das ligações químicas foi discutido, de forma recorrente, na aula de socialização dos modelos.

L1G2, por sua vez, apresentou uma explicação geral baseada na energia dos reagentes e dos produtos, sem especificar a relação do saldo final com a absorção/liberação de energia durante o processo de quebra/formação das ligações. Tal como na resposta apresentada na questão 4, L2G1 novamente cometeu o erro conceitual relacionado à energia envolvida na quebra e formação das ligações químicas. Isso demonstra que não houve clareza na compreensão dessa relação por parte do licenciando, reforçando a ideia da energia armazenada nas ligações. Vale novamente destacar aqui a importância que o discurso de autoridade do professor assume em atividades formativas, de modo a esclarecer esses recorrentes equívocos.

L2G2 apresentou uma explicação baseada em possíveis intervenções do professor junto aos estudantes, destacando algumas possibilidades e recursos que pudessem favorecer o processo de mediação do conhecimento científico. Novamente, esse licenciando afirmou a importância de se utilizar simulações (provavelmente computacionais) para favorecer a visualização do processo químico em estudo, tal como foi sugerido por ele durante a Aula 5. L4G2 propôs que a energia fosse representada como um dos produtos da transformação química, sem mencionar as discussões, sobre a substancialização da energia e do calor, realizadas nas aulas que precederam o trabalho com Modelagem, quando se abordou as concepções alternativas dos estudantes. Além disso, sugeriu uma eventual exemplificação/contextualização do processo químico durante a discussão em sala de aula.

A explicação de L2G5 foi associada à diferença de energia entre os produtos e os reagentes (Lei de Hess), sem propor discutir a fórmula associada a esse processo ($\Delta H = H_p - H_r$). L1G6 baseou sua explicação em um modelo matemático para descrever o fenômeno, utilizando para isso a equação dos Gases Ideais. Entretanto, é importante apontar que L1G6 cometeu um equívoco ao escrever que há um aumento no volume do sistema de 4V (reagentes) para 5V (produtos). Ao final do processo, esse aumento

acontecerá de 3V para 5V, considerando que o álcool no estado líquido não faria parte dessa relação.

L3G6 sugeriu apresentar alguns questionamentos para articular o processo de mediação social do conhecimento em sala de aula, propondo uma interação que poderia ser do tipo interativa/dialógica ou interativa/autoridade (Mortimer & Scott, 2003). Por meio de questionamentos, os estudantes e o professor têm a oportunidade de debater ideias, apresentar argumentos favoráveis ou contrários, questionar, considerando sempre os diferentes pontos de vista. Isso caracteriza uma abordagem comunicativa do tipo interativa/dialógica. Se o professor, entretanto, conduzir os estudantes por uma sequência de perguntas e respostas, com o objetivo de estabelecer um ponto de vista específico das Ciências, a abordagem é caracterizada como interativa/autoridade. Assim, a proposta apresentada vai depender de como o professor mediará essas ações em sala de aula e de como os estudantes entenderão os questionamentos, de modo a discuti-los ou não. Tal proposta foi apontada por L1G4, destacando em sua resposta que o professor “[...] *poderia também perguntar ao aluno como é possível o carro funcionar a base de álcool* [apresenta a intenção de provocar uma interação possível de ser caracterizada como do tipo interativa/dialógica]. *Após isso, [o professor] falaria sobre as energias envolvidas na quebra e formação de ligações químicas* [interação que seria do tipo interativa/autoridade]”.

Considerando a relevância dessa discussão, é importante destacar que a construção dos significados em sala de aula se dá a partir da negociação estabelecida entre os envolvidos em uma determinada atividade, o que acontece com o uso de diferentes recursos mediacionais. Nesse sentido, as abordagens comunicativas propostas por Mortimer e Scott (2003), e articuladas em diferentes momentos durante a construção social do conhecimento científico, favoreceram a análise do processo de mediação social e semiótica proposto pelos licenciandos e a influência dessas ações durante a orquestração das atividades desenvolvidas em sala de aula. Isso foi verificado nas interações estabelecidas entre professor-licenciandos e licenciandos-licenciandos. A partir das atividades realizadas, foi possível constatar inicialmente nos grupos 5, 6 e 7 (final da Aula 4) a predominância da abordagem *Interativa/Dialógica*,

em que os licenciandos e o professor debateram ideias gerais, levantaram questionamentos e dúvidas, de modo a considerar os diferentes pontos de vista. Na aula seguinte, o professor apresentou aos licenciandos de todos os grupos alguns questionamentos, com o objetivo de discutir/problematizar os modelos propostos e estabelecer o ponto de vista das Ciências, caracterizando assim uma abordagem do tipo *Interativa/Autoridade*.

Em diferentes momentos da socialização dos modelos, o professor assumiu a abordagem do tipo *Não-interativo/Dialógico*. Isso aconteceu quando ele, sem estabelecer uma interação direta com os estudantes, avaliou e discutiu distintos pontos de vista, ressaltando diferenças e similaridades nos mesmos. Verificou-se tal situação no momento final da aula de socialização dos modelos (Parte 9), quando o professor concluiu as atividades de Modelagem buscando discutir as ideias apresentadas em torno do *modelo consensual* da turma.

Cabe apontar também que a abordagem menos evidente nos dados foi a do tipo *Não-interativo/Autoridade*, em que o professor, sem estabelecer interação direta com os licenciandos, traz o ponto de vista das Ciências. O predomínio dessa abordagem não dialoga com a proposta de Modelagem, que pressupõe a circulação das ideias na sala de aula, retirando o foco do professor como único detentor das informações a serem transmitidas. Entretanto, os dados apontam que o discurso de autoridade deveria ter sido utilizado pelo professor de forma mais efetiva, sobretudo no momento em que foram constatadas lacunas teóricas. Isso permitiria aos licenciandos tomar consciência dos equívocos conceituais cometidos, buscando articular modelos que pudessem ter coerência em suas propostas explicativas.

L2G6 apresentou uma explicação baseada na possibilidade de se utilizar modelos matemáticos e gráficos, que podem ser considerados importantes recursos para a mediação do conhecimento, seguida de uma possível contextualização do processo de combustão do álcool.

Considerando a discussão apresentada anteriormente, é possível resgatar Pino (2005) quando o mesmo ressalta que a natureza instrumental e semiótica da atividade em sala de aula confere à ação humana a capacidade de transformar o objeto

(modelos, gráficos, equações etc.) e o sujeito da atividade ao mesmo tempo. Isso caracteriza a dupla mediação (social e semiótica) e, conseqüentemente, a aprendizagem, que contempla o professor e os estudantes, tendo em vista que ao ensinar, o professor está aprendendo e ao aprender, o estudante está ensinando algo por meio do compartilhamento de ideias com seus pares. Essa dinâmica favorece o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao trabalho em grupo, de modo a ser possível aos envolvidos nesse processo exercitar suas múltiplas capacidades para mediar problemas e conflitos de diferentes ordens, aspecto essencial ao desenvolvimento cognitivo e à inserção social dos sujeitos (Ryan & Deci, 2000).

Duschl, Schweingruber e Shouse (2007) ressaltam a importância de engajar os estudantes em práticas que priorizem a interação social. Além disso, recomendam ter atenção especial para o uso de recursos que favoreçam a mediação do conhecimento em sala de aula, além das questões que envolvem o uso da linguagem. A associação desses três aspectos (interação social, recursos mediacionais e linguagem) pode favorecer um maior entendimento junto aos estudantes de como o conhecimento científico é construído, avaliado e comunicado. Isso vem ao encontro com as atuais discussões oriundas da Semiótica Social, indicando a importância das interações multimodais para se construir significados nas salas de aula de Ciências (Kress, 2010).

De acordo com Kelly e Duschl (2002), o processo de produção, comunicação e avaliação do conhecimento científico demonstra a natureza dinâmica da atividade humana, considerando que tudo isso perpassa pela proposição de problemas e pela busca por formas de resolução dos mesmos, tal como feito nas atividades de Modelagem apresentadas neste trabalho. Nesse sentido, embora a sala de aula seja um espaço que demanda, a priori, uma definição clara dos papéis daqueles que nela atuam, no contexto aqui discutido é desejável que tais papéis não sejam rigidamente definidos. Isso porque além de o professor cumprir a sua função de ensinar aos estudantes, esses também poderão aprender com os demais colegas que possuem experiências a serem compartilhadas. Isso foi observado no decorrer das aulas de Modelagem e verificado nas respostas destacadas anteriormente, quando ecoa a importância de se priorizar o compartilhamento de ideias, tal como apresentado por

L4G1, L2G2, L4G2, L2G6 e L3G6. Em todas essas respostas, foi possível verificar a utilização de diferentes estratégias para a abordagem do conteúdo, o que exige do professor estar aberto a novos questionamentos dos estudantes. Isso fomenta a circulação de ideias na sala de aula, favorecendo a aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades relacionadas à construção social do conhecimento. Assim, quando se propõe fazer da sala de aula um espaço interativo, acredita-se que todos terão a oportunidade de apresentar e discutir suas hipóteses, dúvidas e, nas negociações, chegar a conclusões que possam auxiliar o grupo a se perceber como parte do processo de construção do conhecimento.

Seguindo o curso dessa discussão, Rego (2011) aponta que a abordagem sociointeracionista coloca o sujeito como alguém que transforma e, ao mesmo tempo, é transformado pelas relações produzidas em uma dada cultura. Os focos de análise, assim, estão centrados na possibilidade de se entender a relação dinâmica e, ao mesmo tempo, dialógica que se estabelece entre a ação humana e os contextos socioculturais em que essas ações emergem. Assim, as atividades de Modelagem aqui descritas podem ter influenciado o desenvolvimento do pensamento dos licenciandos, o que, de acordo com Vygotsky (2009), acontece de forma mediada, sobretudo pelo uso de recursos que são constituídos historicamente por um dado grupo. Isso foi verificado no momento em que alguns integrantes dos grupos 3, 6 e 7 tomaram consciência das limitações dos *modelos concretos* enquanto recursos para mediar o conhecimento em sala de aula e explicar a dinamicidade dos processos termoquímicos.

Nesse sentido, a ação humana é descrita e explicada por meio de atividades que permitem um engajamento efetivo dos sujeitos (Wertsch, 1997). Como se verificou ao longo do trabalho, os modelos e outros recursos utilizados pelos licenciandos foram fundamentais no processo de construção de novos saberes e desenvolvimento de habilidades para a mediação do conhecimento. Isso porque são eles que se colocam entre os sujeitos e os produtos dessas atividades, exercendo, portanto, a função de mediadores das ações humanas. Tais ações, sejam elas externas (entre sujeitos) ou internas (no plano mental), são articuladas com o uso de recursos que estruturam as interações e, ao mesmo tempo, as determinam. Nessa perspectiva,

a fala, a escrita, os gestos e os *modelos concretos* utilizados em sala de aula representaram os recursos mediadores dessas ações, permitindo que os licenciandos compreendessem a complexidade inerente ao conteúdo em estudo e, conseqüentemente, a necessidade de se utilizar propostas simplificadas (*modelos de ensino/ modelos curriculares*) para discutir os processos termoquímicos.

2.3. TERCEIRA QUESTÃO DE PESQUISA

- *Após participarem de uma sequência de atividades relacionadas à utilização e construção de modelos para explicar a energia envolvida nas transformações químicas, como os licenciandos propuseram mediar as dificuldades conceituais de estudantes do Ensino Médio quando foram confrontados com elas?*

Tal como nas questões de pesquisa anteriores, esta também será discutida considerando-se os dados escritos oriundos da avaliação final e aqueles coletados nas aulas. Buscou-se avaliar aqui se os licenciandos conseguiram compreender a relevância das estratégias e habilidades mediacionais articuladas durante o processo de Modelagem, de modo a ser possível utilizarem esses saberes quando forem confrontados com algumas dificuldades conceituais apresentadas por estudantes do Ensino Médio.

Assim, com o intuito de verificar individualmente as propostas de mediação elaboradas pelos licenciandos, a questão 1 da avaliação resgatou uma das situações-problema discutida durante as aulas, dando a oportunidade para que ela fosse reavaliada ao final do processo formativo. A referida questão destacou que um professor de Química da 2ª Série do Ensino Médio havia realizado a carbonização do açúcar, utilizando para isso ácido sulfúrico concentrado. A reação ocorrida no momento em que se adicionou o ácido ao açúcar contido em um béquer liberou para o ambiente certa quantidade de vapor d'água e trióxido de enxofre. A liberação desses gases fez com que o carbono, um dos produtos da reação, expandisse consideravelmente o seu volume. O professor, então, passou o béquer entre os estudantes para que eles observassem o que havia acontecido no sistema e percebessem o aquecimento intenso do recipiente.

Em seguida, o professor pediu que fosse elaborada uma explicação, em grupo, para a transformação química ocorrida, tendo como base o conhecimento dos conteúdos estudados anteriormente. Ao final da aula, um dos grupos apresentou a seguinte conclusão para a turma: *“De acordo com o modelo cinético molecular, quanto mais afastadas estiverem as partículas, maior a sua energia cinética. Quanto mais juntas, menor a sua energia cinética. Considerando que a energia cinética do sistema se refere a temperatura, é possível concluir que a expansão observada no sistema contendo açúcar e ácido sulfúrico pode ser explicada pela agitação nas partículas, permitindo que elas fiquem com mais energia, que é percebida na forma de calor”*.

É importante destacar que a ideia apresentada anteriormente se relaciona a transposição direta de uma observação macroscópica do fenômeno (expansão do sistema) para a sua explicação em nível submicroscópico, algo muito recorrente no Ensino Médio e Superior, como apontam algumas pesquisas (Teichert & Stacy, 2002; Hadfield & Wieman, 2010; Pathare & Pradhan, 2010; Souza & Justi, 2010). Na referida situação, os estudantes partiram de evidências empíricas do fenômeno (calor e expansão), buscando explicá-las em termos do *modelo cinético de partículas*.

Após apresentar essa situação aos licenciandos, foi questionado o seguinte: *Supondo que você seja o(a) professor(a) dessa turma, como discutiria com o grupo a consistência ou não da explicação apresentada para a referida transformação química?*

Para a análise das respostas, buscou-se verificar se as propostas apresentadas pelos licenciandos discutiam as possibilidades de mediação do conhecimento científico, considerando para isso o uso dos modelos elaborados durante as aulas (mediação simbólica) e as interações discursivas estabelecidas em sala de aula (mediação social). É importante ressaltar que a resposta esperada dos licenciandos a essa questão, tendo em vista as discussões empreendidas e a proposição do *modelo consensual*, foi baseada na quebra e formação de novas ligações e a sua relação com o saldo energético final do processo químico.

Ao verificar as respostas, constatou-se que dezoito licenciandos apresentaram propostas de mediação do conhecimento relacionadas à discussão de analogias,

contraexemplos, equações matemáticas e questionamentos, priorizando sempre ações dialógicas e interativas para o processo de construção do conhecimento científico. Dentre os dezoito licenciandos, sete articularam explicações baseadas na quebra e formação das ligações químicas. Entretanto, apenas dois (L3G1 e L2G5) propuseram em suas respostas utilizar *modelos concretos* para discutir o referido processo termoquímico com os estudantes, auxiliando-os a pensar na ideia elaborada a partir da observação experimental do fenômeno. Tendo em vista o contexto avaliativo e a situação teórica apresentada, esse resultado pode ser justificado com base em Wertsch (1999), considerando que, segundo Paula e Moreira (2014),

[...] quem se modifica na história das experiências de um sujeito no uso de um dado conjunto de ferramentas culturais não é o sujeito nem os recursos mediacionais tomados isoladamente, mas a própria ação mediada. Por essa razão, cabe questionar a exigência de que um sujeito expresse conhecimentos construídos a partir de um dado conjunto de ações mediadas, sem permitir que ele utilize os recursos mediacionais por meio dos quais essas ações foram e são realizadas. (Paula & Moreira, 2014, p. 21-22)

Dessa maneira, a característica principal da mediação pedagógica proposta pelos licenciandos para a dada situação se relacionou ao fato de as ações sugeridas por eles não terem a intenção de apresentar a resposta direta aos estudantes, buscando discutir as ideias apresentadas com o uso de diferentes recursos mediacionais. Em relação ao tipo de mediação proposta pelos dezoito licenciandos para a situação apresentada anteriormente, temos o seguinte panorama, com alguns exemplos das respostas mais representativas:

- nove propuseram apresentar, discutir e/ou explorar analogias, modelos, desenhos e conceitos científicos com os estudantes.

Como professor, primeiro discutiria com o grupo de que maneira o modelo cinético molecular se aplica, que o mesmo não necessariamente estaria relacionado com o fato das partículas estarem mais afastadas ou juntas, e sim relaciona-se com o grau de agitação, “colisões” que ocorrem. Após isto, explicaria como a temperatura, de fato, relaciona-se com a energia cinética do sistema e não que a temperatura é a energia cinética, como os alunos pensaram, pois a resposta dos mesmos nos passa uma impressão de que para eles as moléculas estão paradas, pois em suas explicações eles falam a respeito de moléculas mais juntas ou mais afastadas. Após essa discussão, explicaria os conceitos termoquímicos envolvidos nesta reação. (L4G1)

É possível notar que os alunos basearam sua explicação no modelo cinético molecular. Então, a primeira questão seria discutir com esses alunos sobre o modelo proposto. Para isso, a analogia com pessoas em ambiente fechado maior e outro menor poderia ajudar [em um espaço maior as partículas estariam mais dispersas e em um espaço menor, a mesma quantidade delas estariam mais juntas]. Reconstruindo

esta ideia do modelo cinético molecular, os próprios alunos já iriam propor alterações na explicação anterior. Como no primeiro momento os alunos não discutiram a respeito das ligações, uma intervenção do professor pode ser necessária para encaminhar a discussão, no sentido de elaborar uma explicação mais consistente do fenômeno. (L2G2)

Poderia ser discutido com os alunos que o aquecimento ocorreu devido a liberação da energia necessária para quebrar e formar novas ligações. O aumento do volume está relacionado com a produção do gás SO_3 , ou seja, a expansão irá ocorrer até que pare de produzir gás. Deve ficar claro aos alunos que o aquecimento do recipiente ocorre, pois trata-se de uma reação exotérmica em que a Entalpia dos reagentes é maior do que a Entalpia dos produtos. Isso significa que os reagentes têm energia maior e, ao quebrar as ligações para formar os produtos, ocorre a liberação de energia em forma de calor. (L2G3)

- quatro licenciandos propuseram estabelecer um diálogo com os estudantes, buscando confrontar as ideias apresentadas com novos questionamentos, testes e contraexemplos.

Inicialmente, eu iria perguntar para os alunos se esse modelo que eles propuseram explica o que aconteceu, pois acredito que eles devem dizer que realmente explica a referida transformação química. No entanto, falarei para eles que os modelos devem ser testados e darei outro exemplo de reação exotérmica [...] que não ocorre a expansão do sistema. Perguntarei para eles: o modelo que vocês propuseram inicialmente explica esse exemplo que citei agora? Como não explica, orientarei os alunos a reformularem o modelo que eles propuseram, até obter uma explicação mais consistente para as transformações químicas exotérmicas. (L2G1)

Questionaria acerca de uma possível incoerência no que toca a relação entre o afastamento das partículas com o aumento da energia cinética e o número de partículas do estado final analisado. Questões: o que determinaria o afastamento das partículas? Que fenômeno poderia ter ocorrido? No sistema onde adicionei açúcar e ácido sulfúrico, inicialmente podemos inferir algum fenômeno? Tal fenômeno discutido explicaria a expansão do sistema? Após a abordagem da reação química ocorrida, é possível então estabelecer relações sobre os conceitos de transferência de calor entre o sistema e vizinhanças devido à diferença de temperatura. É importante partimos do raciocínio inicial construído pelo aluno, a fim de questionarmos acerca do que seria uma reação química. (L3G6)

- cinco licenciandos propuseram uma possível interação dos estudantes com experimentos, sugerindo alguma atividade demonstrativa, sendo que dois deles discutiram a possibilidade de manipular os modelos propostos durante a aula.

Eu buscaria um exemplo de fenômeno em que houvesse liberação ou absorção de energia, mas que não pudesse ser explicado pelo modelo que eles propuseram. Desta forma, eles poderiam ser levados a buscar outra explicação, cujo processo de construção deveria ser mediado por mim. Para isto, seria uma boa ideia utilizar modelos como os feitos em sala de aula, mostrando que a energia liberada numa reação química existia antes em forma de ligações químicas que foram quebradas. (L3G1)

Minha explicação seria: de fato, a energia cinética está relacionada ao movimento das moléculas, portanto este fenômeno sozinho não explica o aquecimento ao final da reação. De posse de bolinhas coloridas, representaria os diferentes átomos envolvidos na reação, mostrando que novas substâncias foram formadas e que esta energia envolvida está no “saldo” de quebras e formações de ligações entre os átomos, formando novas substâncias. Dado que a formação de uma ligação química libera energia e a sua quebra demanda gasto de energia. Neste último momento da discussão, acho também conveniente o conceito de sistema e vizinhança ser abordado. (L5G7)

A resposta apresentada por L4G1 aponta para algo discutido na literatura por Chittleborough e Treagust (2007) e Boo (1998), quando constataram em suas pesquisas que alguns estudantes demonstraram uma visão estática das partículas, com pouco ou nenhum entendimento sobre como ocorrem, em nível submicroscópico, as transformações químicas. Ao considerar essa ideia durante as suas intervenções em sala de aula, o professor terá a oportunidade de articular estratégias multimodais que poderão favorecer a mediação do conhecimento e a construção de significados.

Em relação à resposta apresentada por L3G1, a parte final permite inferir que o licenciando expressa uma ideia material para a energia inerente às ligações químicas, sobretudo no momento que escreve: “[...] *seria uma boa ideia utilizar modelos como os feitos em sala de aula, mostrando que a energia liberada numa reação química existia antes em forma de ligações químicas que foram quebradas*”. A parte grifada dá a entender que a energia estava armazenada fisicamente na ligação, sendo liberada no momento de sua quebra. Essa ideia também apareceu durante a Aula 5, quando L2G5 explicou para o professor o processo de quebra e formação das ligações químicas, indicando a relação de estabilidade do sistema, sem fazer uma associação com o saldo final do processo. Isso pode ser verificado nos turnos apresentados a seguir:

- (1) L2G5: [...] *a quebra das ligações seria mais ou menos isso/ quebrar os palitinhos [...]/*
- (2) ((Professor)): *por que quebra L2G5?/ para quebrar tem que ter o quê?/*
- (3) L2G5: *no caso da reação da água/ é// (3s) durante essa quebra vai liberar energia/*
- (4) ((Professor)): *espera aí/ a quebra libera energia?/*
- (5) L2G5: *é/ libera uma energia para formar a água/ mas por que se quebra?/ acho que se quebra porque a gente está caminhando rumo a estabilidade/ para que se forme um sistema mais estável/ um composto mais estável/ então/ eu acho que é por isso que quebra/ porque as ligações/ é/ dos compostos existentes no início/ eram menos estáveis/ do que o composto final/ então eles deverão ter suas energias quebradas para formar novas ligações/ para formar compostos mais estáveis/ não sei/ acho que isso poderia ser uma explicação/*

No processo endotérmico, L2G5 demonstrou a dificuldade do grupo para explicar a sua ocorrência e permaneceu associando a quebra da ligação química a uma

eventual liberação de energia. Além disso, novamente não conseguiu relacionar a quebra e formação das ligações ao saldo final do processo:

- (6) ((Professor)): [...] *porque tem essa dificuldade?/*
(7) L2G5: *por causa da/ absorção de energia/ por causa/ eu não sei se/ talvez quando o processo é exotérmico/ a gente tem quebra de ligação química/ agora/ quando o processo é/ endotérmico/ a gente também tem quebra de ligação química?/*

Essa mesma ideia foi apresentada por L3G5 na tentativa de explicar os processos endotérmicos:

- (8) L3G5: [...] *eu tinha pensado o seguinte/ as reações que liberam calor/ são exotérmicas/ né?/ exotérmicas/ ainda vai/ dá para você falar que a quebra de ligação liberou energia/ mas na endotérmica/ tipo assim/ se o sistema resfria [faz um gesto com as duas mãos encolhendo todos os dedos]/ é porque tirou calor do lado de fora/ [...] / por que isso acontece se não é favorável?/ eu não acho que é favorável não/ você ter que tirar energia do meio para formar ligação/ mas ocorre/ por que?/*

Tal ideia foi confirmada na resposta do Grupo 5 ao final da Atividade 5, quando foi questionado sobre uma possível explicação tanto para o fato de algumas reações liberarem calor para o ambiente e outras absorverem, quanto da origem do calor gerado ou absorvido a partir dos experimentos apresentados:

Reações químicas liberam calor porque é preciso quebrar as ligações químicas de reagentes iniciais para formar compostos mais estáveis. Durante essa quebra de ligações de reagentes, ocorre liberação de energia, ou seja, os reagentes devem “perder” energia para dar origem a compostos mais estáveis. Reações químicas absorvem energia porque é preciso fornecer uma quantidade de energia para que se quebre as ligações químicas fortes, para que então se formem compostos estáveis.

Esse calor provém da própria quebra das ligações químicas e não de um fator externo.

De acordo com Fernandez e Marcondes (2006), muitos estudantes entendem a ligação química como algo físico, acreditando que sua quebra liberaria essa energia que, a princípio, estaria em seu interior. Em pesquisas realizadas com estudantes do nível médio, Chittleborough e Treagust (2007) e Souza e Justi (2010) destacam que concepções dessa natureza resultam de uma extrapolação direta das observações em nível macro para o submicroscópico. Somam-se a isso abordagens teóricas advindas de outras áreas do conhecimento, como da Biologia, com a ideia relacionada ao

armazenamento de energia química pelos alimentos. Os estudantes, então, tendem a pensar que a energia está acondicionada nas ligações, sendo liberada nas transformações químicas (Teichert & Stacy, 2002). Isso foi claramente observado nas respostas de L2G1, L3G1, L4G2 e L2G5, apresentadas no item B da questão 4, que foram discutidas na seção anterior (segunda questão de pesquisa). Esse mesmo equívoco também foi verificado no item A da questão 6, com destaque para a resposta de L2G1: “[...] *O processo de queima de uma substância é uma reação exotérmica, o que significa dizer que a energia liberada na quebra das ligações dos reagentes é maior do que a energia absorvida na formação das ligações do produto*”. Assim, as propostas de intervenção dos licenciandos deveriam articular a mediação semiótica e social, de modo a utilizar recursos e estratégias enunciativas que favorecessem discutir essas questões em sala de aula, considerando que elas se apresentam de forma recorrente entre os estudantes do Ensino Médio.

Os demais licenciandos, em um total de nove, não recorreram diretamente ao uso dos *modelos concretos* ou outros recursos mediacionais discutidos durante as aulas, nem propuseram utilizar alguma forma de mediação social para explicar o processo de quebra e formação das ligações químicas. Eles priorizaram em suas respostas a exposição direta do conteúdo, centrando-se em propostas de mediação baseadas no discurso de autoridade, em que o ponto de vista da Ciência seria apresentado sem considerar a possibilidade ou necessidade de um efetivo debate das ideias dos estudantes (Mortimer & Scott, 2003). Esse debate, que se fez presente durante todo o processo de Modelagem, poderia favorecer aos estudantes a compreensão do equívoco cometido na explicação do processo químico em estudo. Além disso, esse grupo de nove licenciandos não buscou explorar os atributos do *modelo consensual* elaborado pela turma nas suas propostas de mediação, como alternativa à ideia inicialmente apresentada no problema. Para exemplificar, seguem as três respostas consideradas mais representativas:

Inicialmente, eu diria aos alunos que quanto maior a temperatura do sistema, as partículas ficariam mais agitadas e com isso iriam adquirir uma maior velocidade, o que tornaria sua energia cinética maior. O fato de ocorrer o aquecimento intenso do recipiente, se dá por esta reação liberar muita energia para o meio, o que faz com que ocorra um intenso aquecimento do sistema que agitou as partículas fazendo-as expandir. (LAG4)

Falaria que a explicação é consistente e completaria a explicação com a lei da Entropia. Assim, os alunos entenderiam de onde surgiu essa explicação de que maior energia corresponde a maior grau de agitação das moléculas e maior temperatura, falando da liberação de calor final. (L2G7)

Falaria que o raciocínio está correto. Porém, nesse caso, estamos tratando de sólido. O volume aumenta pela formação de gases e carbono, que são formados em grande quantidade no processo. A agitação dos gases afasta as partículas de carbono, fazendo com que o volume aumente. (L4G7)

As respostas apresentadas por L2G7 e L4G7 demonstram que, a princípio, há uma valorização das ideias baseadas no referido modelo proposto pelos estudantes. Mesmo sendo equivocada, ao reconhecerem tal ideia como válida, os licenciandos parecem buscar alternativas para a mediação do conhecimento em sala de aula, de modo a favorecer uma eventual tomada de consciência dos estudantes e a consequente reformulação das propostas. Isso pode ser verificado no momento em que L2G7 diz “*falaria que a explicação é consistente e completaria [...]*” e L4G7 diz “*falaria que o raciocínio está correto [...]*”. Tais colocações demonstram que os licenciandos compreenderam uma importante habilidade inerente ao processo de Modelagem: a de inicialmente reconhecer como válidas (embora incorretas) as ideias apresentadas pelos estudantes ao longo do processo de construção social do conhecimento e, posteriormente, procurar discuti-las considerando os aspectos da mediação pedagógica em sala de aula. Essa perspectiva dialoga com a ideia apresentada por Charlot (2005), quando ele aponta que o professor deve ter repertório para ensinar (mediar o conhecimento em sala de aula) ao invés de reproduzir informações. Além disso, Tardif (2002) e Silva (2009) ressaltaram em seus trabalhos que a identidade profissional do professor se consolida à medida que se torna possível a ele vivenciar os desafios inerentes à docência, adquirindo assim confiança para intervir no processo de ensino e aprendizagem, de forma a mediar o conhecimento.

No item C da questão 3, novamente foi apresentado aos licenciandos uma situação relacionada à dificuldade de compreensão conceitual de uma estudante. A partir dos conhecimentos e habilidades desenvolvidos ao longo do processo de Modelagem, eles deveriam pensar novamente em possibilidades para mediar a seguinte situação, que já havia sido apresentada e discutida em sala de aula: “[...] *ocê [se refere ao professor] nos disse em aulas anteriores que nos processos exotérmicos o*

calor é liberado para o meio. Mas isso não pode ter acontecido, considerando que o sistema se aqueceu. Se o calor tivesse sido liberado para o meio, o sistema teria que ter resfriado, pois o calor saiu dele!". Diante dessa colocação, questionou-se aos licenciandos: (i) *qual seria a melhor forma para ajudar essa estudante a reformular a ideia apresentada?*; e (ii) *os modelos poderiam ajudar de alguma forma nesse processo de reformulação conceitual*²⁶?

Em relação ao primeiro questionamento, tem-se que:

- vinte e um licenciandos destacaram a possibilidade de mediação do professor, explicando sobre a relação existente entre sistema, vizinhança e calor, de modo a evitar uma possível visão substancialista do processo químico (calor como *algo material* que entra e sai do sistema);
- três apontaram para a importância de se utilizar outros recursos mediacionais associados aos modelos, tais como gráficos termoquímicos, desenhos e animações (L2G2, L1G7 e L5G7).

Os demais três licenciandos ressaltaram cada um deles a importância de: (i) buscar construir o conceito de calor (L4G7); (ii) explicar o processo de quebra e formação das ligações químicas, sem utilizar os *modelos concretos* (L3G7); e (iii) demonstrar, por meio dos *modelos concretos*, o processo de quebra e formação das ligações químicas (L1G6).

Quanto à segunda pergunta, relacionada ao fato de os *modelos concretos* poderem ajudar numa possível reformulação conceitual, tem-se que: (i) dezessete licenciandos responderam afirmativamente; (ii) dois apontaram que ajudaria de forma parcial, sem apresentar maiores esclarecimentos (L2G5 e L4G7); e (iii) oito disseram que não, considerando que o calor e energia não podem ser representados concretamente (L4G1, L4G2, L2G3, L2G4, L4G4, L3G5, L2G6 e L3G6). A seguir, serão destacadas as repostas mais representativas apresentadas pelos licenciandos:

Primeiramente, o professor deveria definir para a aluna o que é sistema, vizinhança e calor. A partir dessa definição, seria possível a aluna compreender que no processo exotérmico, o sistema libera calor

²⁶ A ideia de *reformulação conceitual* aqui destacada se relaciona a uma possível tomada de consciência dos licenciandos frente ao questionamento apresentado (Ainkenhead, 2009). Isso aconteceria por meio das interações envolvendo a mediação pedagógica, que são orquestradas pelo professor em sala de aula, não tendo relação com a ideia de *mudança conceitual*, tal como discutido por Schnetzler (1994).

para a vizinhança e, por isso, o béquer aquece. O modelo poderia ajudar a aluna a entender porque o processo exotérmico libera calor e qual a “origem” desse calor que é liberado ou absorvido durante uma transformação química. (L2G1)

A melhor forma de ajudá-la seria fazer com que ela repensasse “quem era o sistema em questão”. Para isso, o professor poderia, sim, fazer uso de modelos, mas caso fosse uma dúvida apenas dessa aluna ele poderia também fazer alguns desenhos do sistema, o que levaria menos tempo que a atividade de modelagem discutida. Outro meio seria o professor já chegar com uma animação, outro tipo de modelagem, no dia seguinte. (L2G2)

É preciso mostrar para a aluna que a reação ocorre em um determinado sistema, por exemplo, um béquer. Ao terminar a reação, os reagentes e produtos estão no mesmo sistema. Considerando a reação que libera calor: reagentes \rightarrow produtos + calor, podemos perceber que o calor continua também no mesmo sistema, por isso, percebemos o aquecimento. Os modelos podem ajudar sim, desde que sejam adequados para demonstrar o processo do rearranjo dos átomos e da liberação de calor como pertencentes a um mesmo sistema, que permite a percepção da transferência de calor. (L3G2)

Sim, pois é possível mostrar ao aluno que para formar novas ligações (sistema se aquece, pois a energia é liberada) é preciso antes quebrar as ligações existentes nas moléculas que darão origem a um novo composto (na quebra há absorção de energia) e é possível mostrar a quebra e formação das moléculas através de modelos. (L3G4)

Ao se atentar para a quebra e formação de ligação química o modelo é satisfatório, mas quanto ao aspecto que envolve energia, o modelo deixa a desejar, uma vez que não explica de modo plausível a dúvida apresentada. Entender o calor como uma propriedade de fronteira entre o sistema e a vizinhança talvez seja uma boa alternativa para superar a concepção substancialista de calor ou que o mesmo seja uma propriedade exclusivamente do sistema. (L2G5)

Quando acontece uma transformação química exotérmica, o calor é “liberado” inicialmente no sistema onde ocorreu o fenômeno, por isso ele se aquece. Posteriormente, esse calor vai sendo transmitido para o ambiente através de condução e outros processos. Os modelos não ajudariam, já que através deles não é possível representar energia. (L2G6)

Na afirmação da aluna, percebemos que ela não tem clara a ideia de sistema e vizinhança. Com a utilização do modelo, pode-se mostrar que para se “quebrar” uma ligação é necessário energia e quando se forma uma nova ligação, a energia é liberada para o próprio sistema reacional e, dessa forma, contribui para aumentar o grau de agitação das moléculas e, como consequência, percebe-se o aquecimento do sistema. (L4G6)

Considerando as respostas apresentadas anteriormente, é desejável que o processo de formação inicial de professores permita aos licenciandos vivenciar diferentes possibilidades de mediação do conhecimento científico em sala de aula, de modo a buscar estabelecer um profícuo diálogo com as ideias apresentadas pelos estudantes. Nesse sentido, é importante que os licenciandos sejam confrontados com situações-problema (hipotéticas, como as que foram apresentadas neste trabalho, e reais, tal como as vivenciadas nos Estágios Supervisionados) que os permitam articular diferentes saberes discutidos nas disciplinas do curso. Isso os capacitaria: (i) a se sentirem mais seguros no momento em que colocarão em prática essas ações na Escola, sobretudo quando lá estiverem atuando efetivamente como regentes; e (ii) a

estabelecerem uma análise crítica frente aos modelos propostos pelos estudantes e materiais didáticos para explicar alguns fenômenos.

Para que essas propostas de articulação e mediação do conhecimento se efetivem na prática, é imprescindível ao professor (em formação ou em serviço) compreender as dificuldades dos estudantes e, a partir delas, buscar construir estratégias que os ajudem no processo de reelaboração das ideias. Por isso, se faz necessário uma interação direta entre o professor e o estudante, tal como L1G6 propôs em sua resposta:

Nota-se que os alunos possuem conhecimentos sobre os diferentes estados físicos da matéria, em que sólidos possuem um menor grau de movimentação que os líquidos e gases, e têm a percepção de calor como energia envolvida no processo. No entanto, não consegui compreender claramente a solução apresentada, de forma que faria mais perguntas para o grupo, buscando obter dados satisfatórios para a discussão de uma consistência ou inconsistência da explicação fornecida. (L1G6)

O mesmo foi proposto por L3G6, quando aponta na parte final de sua resposta que “[...] é importante partimos do raciocínio inicial construído pelo aluno, a fim de questionarmos acerca do que seria uma reação química”. A partir das ideias apresentadas pelos estudantes, seria possível ao professor articular ações e recursos multimodais que pudessem favorecer o processo de construção do conhecimento científico em sala de aula, permitindo a sua interconversão por meio das dinâmicas interativas estabelecidas nesse espaço. De acordo com Pereira e Ostermann (2012), tal situação pode ser desencadeada com as perguntas instrucionais sequenciadas, gerando uma base de enunciados reguladores, como constatado nos padrões de interação do tipo I-R-A destacados em alguns momentos das aulas. Tais interações pressupõem a manifestação de ideias, não cabendo apenas ao professor promovê-las. É necessário que o saber esteja deslocalizado, sem o predomínio de um único centro de produção e legitimação do mesmo. Isso porque o confronto das ideias iniciais do aprendiz com aquelas apresentadas pelos demais colegas torna-se fundamental para a compreensão de distintos significados que, dialogicamente, constituirão sentidos a serem negociados.

O professor, então, será o responsável por mediar o processo de construção do conhecimento científico, de modo a agregar todas as questões que aparecerem e

sistematizá-las de forma a garantir situações que possam promover a interconversão de novos conhecimentos pelos estudantes. Para isso, se faz necessário alternar as abordagens comunicativas durante o processo de ensino, favorecendo a construção de significados em torno do conteúdo estudado (Mortimer & Scott, 2003; Aguiar, Mortimer & Scott, 2010).

Seguindo o curso dessa discussão, é importante destacar que as propostas de Modelagem buscam priorizar a construção social do conhecimento por meio de atividades dinâmicas e interativas. Entretanto, a utilização do discurso de autoridade se faz necessário, mesmo não sendo essa a abordagem comunicativa predominante. A sua importância se justifica pelo fato de trazer o ponto de vista das Ciências às propostas apresentadas durante as dinâmicas de construção e legitimação do conhecimento que são instituídas em sala de aula.

Associado às formas de discurso, Wertsch (1999) ressalta a importância de se introduzir diferentes recursos mediacionais à ação (simulações, gráficos, modelos etc.), o que favorece um eventual desequilíbrio na sua organização sistemática, podendo provocar mudanças no agente e na ação mediada como um todo. Essa possibilidade foi destacada na resposta de L2G2, quando apontou a importância de o professor utilizar analogias, desenhos e animações para favorecer a compreensão dos estudantes.

Na socialização dos modelos pelos grupos 6 e 7, verificou-se uma sofisticação nas ideias e argumentos discutidos, esclarecendo aspectos das apresentações anteriores. Isso pode ser justificado pela possibilidade de ir aprimorando os modelos a partir das contribuições trazidas pelos outros grupos, o que foi constatado no seguinte turno de fala apresentado por L4G7: “[...] *nós não conseguimos fazer o modelo sem a complementação do gráfico/ no caso do exotérmico/ que L1G7 vai desenhar ali [se refere ao quadro]/ é basicamente o que todo mundo falou mesmo/ só que a gente colocaria o gráfico/ para complementar// (15s) a gente falaria que a energia/ a Entalpia está relacionada com a energia potencial/ como ela pode ser demonstrada no modelo?/ com relação ao comprimento da ligação que a gente não sabe/ qual é maior qual é menor/ mas no caso de dúvida/ para esclarecimento da energia potencial/ pode estar relacionado com a proximidade dos átomos”*.

A partir dos resultados obtidos com as respostas a questão 1, é possível inferir que após participarem das atividades de Modelagem, a maioria dos licenciandos (n=18) parece ter dominado as habilidades relacionadas à mediação do conhecimento científico em sala de aula. Tal afirmação é suportada pelas respostas desses licenciandos à referida questão, tendo em vista que, ao proporem mediar a situação apresentada, eles não sugeriram dar a resposta direta aos estudantes. Em suas propostas de mediação, buscaram articular ideias envolvendo a mediação social e semiótica, por meio de abordagens interativas que priorizavam o uso de ações multimodais. Os demais nove licenciandos, por sua vez, não demonstraram em suas respostas priorizar essas possibilidades, apontando indícios de que se estivessem atuando em sala de aula, provavelmente iriam assumir uma postura alicerçada na relação de *transmissão-recepção* do conhecimento, propondo ações baseadas exclusivamente no discurso de autoridade.

A principal característica verificada na análise das respostas relaciona-se ao fato delas proporem ou não o uso de diferentes recursos mediacionais. Isso pode demonstrar a disposição dos licenciandos em utilizar futuramente esses recursos, articulando as habilidades relacionadas ao processo de mediação do conhecimento. As respostas com esse viés indicariam que ao longo do processo de desenvolvimento as formas culturais foram sendo interconvertidas, se constituindo no material simbólico que fará a mediação entre o sujeito e o objeto de conhecimento (Pino, 2005).

Desse modo, o trabalho envolvendo a Modelagem em disciplinas ministradas nos cursos de formação inicial dos professores de Química pode auxiliar na tomada de consciência das potencialidades dos recursos mediacionais, pois favorece que se faça uma avaliação das múltiplas possibilidades para se articular o conhecimento. Isso permite uma compreensão mais apurada das Ciências como a atividade discursiva, o que pressupõe o uso de diferentes estratégias enunciativas e ações multimodais para favorecer a mediação do conhecimento, além do debate e compartilhamento de ideias. Isso ocorre sempre na busca por elaborar coletivamente um *modelo consensual* que se aproxime, da forma mais fiel possível, do *modelo científico*.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES DO TRABALHO PARA O ENSINO DE QUÍMICA E PARA A PESQUISA EDUCACIONAL

“A maior de todas as sabedorias é conhecer a si mesmo.”

Galileu Galilei

Preparar um texto para descrever as conclusões e implicações desta pesquisa representa algo muito significativo e, ao mesmo tempo, desafiador. A sua elaboração expressa muito mais do que as longas horas em frente ao computador para construir e lapidar as ideias, período esse permeado por muitas conversas e trocas de mensagens com o orientador, que sempre culminava nas idas e vindas de arquivos. Ao vislumbrar todo esse processo construtivo/formativo, é possível concluir que a parte final do texto representa a evocação de experiências pessoais e profissionais, além de trazer à tona sentimentos, aprendizagens e vivências, algumas das quais são impossíveis de serem descritas por meio de palavras. Nesse sentido, é necessário reconhecer que o percurso aqui apresentado favoreceu importantes reflexões e retomadas, comparadas às de um escultor que volta inúmeras vezes a sua obra para os constantes e intermináveis retoques, que por um momento poderiam ser chamados de finais, mas com a consciência de não o serem. Isso porque um texto dá ao autor a impressão de algo comparado a uma obra de arte quase pronta, de modo que quando “pronta” parece ser de um inacabado permanente. A cada novo olhar para a obra (leia-se: *abertura do arquivo com o texto*), é possível reviver os desafios que acompanharam a sua elaboração, além dos constantes e oportunos ajustes que sempre estarão à espera de serem feitos.

Assim, para arrematar esse derradeiro preâmbulo, evoca-se aqui uma breve história do escultor renascentista Michelangelo, relatada em Cortella (2006). Segundo esse autor, Michelangelo ao ser perguntado sobre como fizera a escultura de Davi, com quase 4,5 metros de altura em um só bloco de mármore, obra atualmente exposta na Academia de Belas Artes de Florença, ele disse: *“Foi fácil... Fiquei um bom tempo apreciando o mármore até nele enxergar o Davi. Aí, peguei o martelo e o cinzel e tirei tudo o que não era Davi...”*. Inspirado nessa breve reflexão, que talvez retrate

um pouco do esforço que permeou a construção desta Tese, sem a pretensão de dizer que *foi fácil* (porque certamente não foi!), prossegue-se com as formalidades necessárias ao encerramento do presente texto: as conclusões e implicações do trabalho para o ensino de Química e para a pesquisa educacional.

1. APRECIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES DO TRABALHO

Para iniciar a discussão que será apresentada nesta seção, é oportuno resgatar o problema de pesquisa colocado no final do Capítulo 1: *De que forma o processo de Modelagem favoreceu o desenvolvimento de habilidades inerentes à docência em Química e que se relacionam às possibilidades de mediação do conhecimento científico em sala de aula?*

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que as propostas de mediação apresentadas pela maioria dos licenciandos na avaliação final (n=18) repercutiam, em certa medida, aspectos do processo formativo vivenciado ao longo das atividades de Modelagem. Para além dos dezoito licenciandos que demonstraram ter compreendido as ações propostas, a sequência didática permitiu colocar em discussão aspectos referente à mediação do conhecimento científico, com base tanto no conteúdo químico a ser ensinado quanto nas formas de pensar comumente apresentadas por estudantes do Ensino Médio.

O trabalho envolvendo a Modelagem favoreceu aos licenciandos atribuírem novos significados ao uso dos *modelos concretos* e de outros recursos que fomentaram as interações multimodais estabelecidas durante a elaboração das propostas de mediação do conhecimento científico. No início das atividades, ao solicitar que fossem utilizados os materiais disponibilizados em sala de aula, o professor acabou limitando o sentido da palavra modelo às representações feitas com os objetos concretos. Entretanto, um dos objetivos dessa solicitação foi o de permitir que se pensassem nas limitações para representar entidades das Ciências que são impossíveis de ser materializadas, tais como calor e energia. Isso favoreceu a busca pela utilização de outros recursos, que se juntavam às representações concretas, na tentativa de

construir significados em sala de aula, tal como foi verificado nas discussões realizadas pelos grupos 2, 3, 6 e 7.

Nesse sentido, é importante destacar que os *modelos concretos* assumem um determinado significado quando postos em ação para explicar algo. Como Harré (2004) destacou, um objeto (real ou imaginário) assume a função de modelo somente quando ele apresenta relações com outras coisas. Durante as aulas, no momento em que os licenciandos manipularam os *modelos concretos* para comunicar suas ideias, foram utilizados diferentes recursos na busca por favorecer a mediação do conhecimento e a construção de significados. A articulação dos diferentes modos de representação deu origem aos *modelos multimodais*, que permitiu a parte dos licenciandos tomar consciência da dupla mediação (semiótica e social) envolvida nos processos de comunicação do conhecimento científico em sala de aula.

Ao analisar as ações propostas ao longo das atividades de Modelagem, foi possível inferir que os *modelos multimodais* propostos favoreceram uma tomada de consciência sobre o uso dos modelos e suas limitações. Com isso, os licenciandos tiveram a oportunidade de perceber que o processo de ensino, em qualquer circunstância, não se reduz apenas à exposição do conteúdo e de modelos arbitrários. Esse processo se estrutura por meio de situações que envolvem a mediação social e semiótica, pressupondo a intervenção direta do professor em sala de aula.

De acordo com Libâneo (2010, p. 11), a relação dinâmica de construção do conhecimento permite aos professores (em formação inicial ou em serviço) assumir “[...] o compromisso de ajudar os alunos a tornarem-se sujeitos pensantes, capazes de construir elementos categoriais de compreensão e apropriação crítica da realidade”. Isso foi verificado, por exemplo, na aula de socialização dos modelos, quando L4G7 destacou a importância de os estudantes do Ensino Médio manipularem os *modelos concretos*, de modo a ser possível compreenderem o processo de quebra e formação das ligações que ocorre durante as transformações químicas: “[...] aí o legal seria se os alunos pudessem quebrar/ igual a gente está fazendo aqui”.

Considerando as habilidades inerentes à mediação social e semiótica e os conhecimentos articulados por meio das discussões ocorridas nas aulas de

Modelagem, foi possível aos licenciandos lançar um olhar crítico para o uso dos modelos no ensino de Química, além de se capacitarem para, eventualmente, poder mediar diferentes situações em sala de aula, tal como apresentado no capítulo anterior, com a discussão das duas primeiras questões de pesquisa.

Assim, por meio da estratégia de Modelagem, foi possível compreender a importância dos estudantes terem espaço para expor suas ideias, duvidar, discutir, refutar, questionar e compartilhar seus saberes. Isso foi verificado em diferentes momentos da aula, sobretudo quando os licenciandos colocaram em prática essas atitudes. Merecem destaque os licenciandos do Grupo 4 que, de maneira parcimoniosa, duvidaram do posicionamento apresentado pelo professor no momento em que eles insistiam em caracterizar a dissolução como um processo físico. Além desse grupo, os licenciandos dos Grupos 6 e 7 também souberam colocar em prática tais habilidades discursivas, que são fundamentais ao processo de mediação pedagógica. Com isso, foi possível perceber a sala de aula como um espaço privilegiado para a circulação e discussão de ideias, tomada de consciência de contradições, colaboração e expressão da criatividade, características essas que são essenciais para o processo de construção e legitimação das Ciências. Nesse sentido, Moraes, Ramos e Galiuzzi (2006, p. 90) apontam que as *“crenças, valores, teorias expressas pela linguagem e a capacidade de estar aberto a ouvir e procurar entender os argumentos dos outros é que possibilitam avançar distintamente o conhecimento de cada um dos envolvidos nas situações educativas”*.

Além disso, a interação estabelecida em sala de aula favoreceu que fossem expressos eventuais descontentamentos com o não saber, algumas vezes associado ao não saber como ensinar o conteúdo químico, como foi verificado na colocação de L2G6 durante a aula de conclusão das atividades de Modelagem: “[...] *você [se refere ao professor] coloca essas mil questões/ e a gente vai embora sem uma resposta/ tipo assim eu não estou reclamando não!*”. Em outros momentos, os licenciandos expressaram dúvidas em relação ao próprio conhecimento químico, como aconteceu com L3G5 no momento em que foi colocado para pensar sobre as condições de ocorrência dos processos endotérmicos: *“se eu estou com dúvida/ como eu vou tirar a*

dúvida dos meninos?”. L1G5 também destacou que nunca havia se deparado com a questão referente à espontaneidade dos processos endotérmicos, compactuando da mesma dificuldade apresentada por L3G5.

Outra conclusão importante que pode ser tirada do trabalho relacionado à Modelagem é que essa estratégia permitiu a alguns licenciandos tomar consciência da complexidade e dos desafios inerentes ao ato de ensinar. Isso foi claramente apontado por L1G6 e por L1G7 na Aula 5. Pode-se destacar também que as dificuldades encontradas para articular o conteúdo nas propostas de mediação permitiram aos licenciandos reconhecer os desafios inerentes à docência, de modo a poderem elaborar estratégias para superá-los quando estiverem em sala de aula. Esses desafios perpassam pela questão conceitual, que muitas vezes necessita ser abordada com o uso de modelos simplificados (*modelo curricular*), que não contemplam a teoria em sua plenitude, tal como foi discutido no capítulo anterior (primeira questão de pesquisa). Isso porque os *modelos de ensino* utilizados para discutir o *modelo curricular* são naturalmente limitados, tendo em vista a impossibilidade de se abranger todos os atributos de um processo dinâmico, tal como as transformações químicas, por meio de uma única forma de representação. Tal impossibilidade ratifica a importância de se articular diferentes modos semióticos durante o processo de construção e mediação do conhecimento científico em sala de aula, dando origem a modelos que são essencialmente multimodais.

De acordo com Pereira e Ostermann (2012), qualquer forma de mediação se torna difícil, ou quase impossível, de ser realizada se não estiver envolvido algum recurso para favorecer a mediação do conhecimento, associado a um usuário habilidoso para articular o seu uso. Isso justifica a importância de os professores (em formação inicial ou em serviço) serem capacitados para compreender o significado dos modelos em diferentes contextos e os seus usos nas Ciências. No presente trabalho, tal situação foi favorecida pela participação dos licenciandos em atividades que permitiram a eles um melhor entendimento dos processos relacionados à construção coletiva das Ciências e, sobretudo, das limitações inerentes a qualquer modelo. Tal discussão aconteceu no momento em que se buscou explicar os aspectos referentes

aos processos endotérmicas, considerando a seguinte questão: *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 licenciandos perceberam que, mesmo os modelos apresentando limitações em suas formas de representação, eles são recursos importantes para descrever e explicar diferentes situações, desde que sejam consideradas tanto as suas restrições quanto o seu poder de predição (Justi, 2006). Nesse sentido, sempre são feitas escolhas dos aspectos a serem priorizados nessas representações e não há uma única possibilidade que contemple todos os atributos de um determinado fenômeno.

A análise do processo de produção, comunicação e negociação dos modelos produzidos pelos grupos de licenciandos, orientados por intenções didáticas (mediação do conhecimento científico em sala de aula) revelou o potencial desse tipo de atividade na formação dos professores de Química. Tais resultados indicam que a atividade de Modelagem permitiu a esses licenciandos vivenciarem discussões em torno dos modelos e reconhecerem que tais atividades favorecem a articulação das ideias em sala de aula, sendo este um espaço privilegiado para a construção coletiva do conhecimento e não um lugar utilizado apenas como auditório (Pereira & Ostermann, 2012). Dessa forma, ao priorizar o diálogo e o uso dos recursos mediacionais como possibilidades de avanço nas teorias e concepções do grupo, a valorização das diferentes formas de expressão e discussão das ideias ganhou papel de destaque nas propostas de mediação apresentadas.

Cabe ressaltar que, para se ensinar, é importante que o professor esteja preparado e tenha repertório que o possibilite mediar as inúmeras situações possíveis de acontecer em sala de aula. Assim, foi essencial valorizar a criação de um ambiente estimulante e que favorecesse o compartilhamento de ideias, incentivando o desenvolvimento da criatividade e da inovação, tal como destacam Tavares e Alarcão (2001). Nesse sentido, tal proposta permitiu aos licenciandos pensarem em estratégias mediadas por interações multimodais, de modo a ser possível elucidar aspectos do conteúdo de difícil compreensão para os estudantes, dada a sua abstração e

associações incorretas que são fomentadas, intuitivamente, pela linguagem unidirecional que predomina em sala de aula.

A pesquisa evidenciou também que tais processos formativos revelam tensões e impasses maiores do que os previstos inicialmente. Ao longo das aulas, deparou-se com situações nas quais os licenciandos, mesmo já tendo cursado disciplinas de conteúdos específicos da Química, demonstraram apresentar dificuldades e equívocos conceituais maiores do que o esperado.

Sobre as lacunas conceituais verificadas entre a maioria dos licenciandos, faz-se a opção aqui por não apresentar qualquer tipo de inferência. Tal posicionamento se justifica pela necessidade de uma análise mais criteriosa da trajetória desses licenciandos ao longo do curso de Química (disciplinas cursadas e atividades complementares realizadas, tais como Iniciação Científica, Estágios etc.), da sua formação em nível médio e do modo como os conteúdos de Termodinâmica e de Termoquímica foram abordados nas disciplinas da Física e da Química. Somente com esses dados, associados ao resultado do processo formativo aqui descrito, seria possível apresentar algumas inferências, sem incorrer em eventuais julgamentos de valores ou posicionamentos intuitivos frente à situação verificada no trabalho. O que se pode adiantar é que, de um modo geral, os licenciandos do curso de Química apresentam muitas dificuldades nas disciplinas introdutórias do curso, com altos índices de reprovação em *Química Geral*, nos *Cálculos* e nas *Físicas*, o que conduz muitos a desistirem do curso. Isso talvez seja o reflexo de um Ensino Fundamental e Médio com algumas lacunas na formação dos estudantes, com as quais a Universidade não tem dado conta de lidar. Entretanto, cabe reconhecer que essas lacunas, oriundas da Educação Básica, precisam ser supridas doravante com políticas públicas que atendam às demandas educacionais da atualidade, além de uma boa formação inicial e continuada dos professores que apresente um caráter holístico. Isso porque o conhecimento está cada vez mais integrado, sobretudo quando se verifica em disciplinas como História, Geografia, Matemática e Português questões que envolvem discussões oriundas das Ciências. Para tanto, há que se ter conhecimento e repertório para compreender e argumentar sobre alguns desses assuntos que se fazem

interdisciplinares. Diante disso, acredita-se aqui no potencial da Modelagem para viabilizar essa integração e discussão do conhecimento em sala de aula, tanto nas Escolas de Educação Básica, quanto no Ensino Superior. Isso pode favorecer, aos estudantes e aos professores, uma formação mais adequada no campo das Ciências.

Em relação ao processo de produção, comunicação e avaliação do conhecimento, é importante destacar que ele representou a natureza dinâmica da atividade humana, considerando que a construção do conhecimento científico perpassa pela proposição de problemas e da resolução dos mesmos, tal como apontado por Kelly e Duschl (2002). No trabalho com Modelagem aqui discutido, as atividades no grupo, a discussão posterior com toda a turma e o momento final da avaliação deram aos licenciandos oportunidades variadas para pensarem na articulação e mediação do conhecimento em sala de aula. Nesse sentido, considera-se que a pesquisa valida a estratégia de ensino, que buscou apresentar aos licenciandos situações hipotéticas na qual os conhecimentos fundamentais da Química foram confrontados com pontos de vista e dificuldades conceituais dos estudantes do Ensino Médio. Dessa forma, é possível concluir que as atividades permitiram à maioria dos licenciandos atribuírem uma compreensão diferenciada ao processo de ensino por meio da “[...] *negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo*” (Mortimer & Scott, 2002, p. 2). Por meio dos debates, modelos e representações propostas pelos grupos foram assumindo a função de recursos mediacionais, considerando-se que o objetivo da educação não é a assimilação de algo pronto, mas o desenvolvimento do questionamento crítico frente à construção de novos saberes. Isso foi constatado durante as aulas de construção e socialização dos modelos, com destaque para as ideias apresentadas por representantes dos Grupos 6 e 7.

Cabe destacar ainda que a prática da argumentação favoreceu que as diferentes posições tivessem condições de serem debatidas e avaliadas por meio de um processo de construção dialógica das ideias. Estando conscientes da fragilidade de alguns dos argumentos apresentados, em vários momentos do processo formativo os licenciandos perceberam a necessidade de saber mais e, conseqüentemente, buscar

respostas para aquilo que não sabiam. Dessa forma, quando se pressupõe que a argumentação possa ser um elemento estruturante da aprendizagem, acredita-se que ela favoreça a superação de uma relação dogmática em sala de aula. De acordo com Wells (1999), o mais importante nesse processo são as oportunidades criadas para que se expressem suas opiniões, comparando-as com as dos demais colegas. Quando os licenciandos submeteram seus argumentos para avaliação do grupo, os conhecimentos foram colocados para circular na turma, de modo a se consolidarem ao longo das interações estabelecidas em sala de aula. A elaboração de um modelo consensual da turma foi resultado dessas negociações, sendo possível de se concretizar graças ao desempenho de alguns licenciandos, particularmente os dos grupos 6 e 7, que aprofundaram as discussões nos seus aspectos científicos (conhecimento químico) e educacional (conhecimento pedagógico de conteúdo).

É importante ressaltar que os questionamentos e contestações foram ocorrendo em torno das ideias quando os argumentos apresentados ainda não haviam sido compreendidos pelos licenciandos. Isso aconteceu com o debate em torno da busca pela definição do que seria um processo físico e químico, discussão essa fomentada pelos licenciandos do Grupo 4 e arrematada pelos licenciandos do Grupo 7. No caso da discussão ocorrida com o Grupo 4, por exemplo, na qual o professor defendia a ideia da dissolução ser um processo físico, verificou-se que ele não conseguiu apresentar argumentos científicos e evidências experimentais que fossem convincentes para os licenciandos. Dessa forma, aprender a ouvir, defender ideias, aceitar críticas, reformular argumentos e modelos, são movimentos necessários para a construção de novos conhecimentos/habilidades, todos eles abordados no decorrer dessa discussão.

Sobre os questionamentos apresentados durante as atividades de Modelagem pelo professor e pelos licenciandos, em vários momentos eles cumpriram a função de problematizar e avaliar o conhecimento químico, além das estratégias de mediação propostas. O professor, a princípio, buscou colocar perguntas com o intuito de entender como os licenciandos concebiam a questão relacionada à energia envolvida nas transformações químicas e também compreender o modo como eles articulariam

propostas para mediar o conhecimento junto aos estudantes do Ensino Médio. Assim, os questionamentos tiveram a função de desafiar e provocar os licenciandos a participarem das discussões. À medida que o professor foi trazendo novos questionamentos, os licenciandos tiveram a oportunidade de se envolver com as discussões postas e apresentar seus modelos. Isso reforça a ideia de que os modelos nas Ciências não são construções arbitrárias, estáticas e imutáveis.

Os dados aqui apresentados indicam que nos cursos voltados à formação inicial dos professores, se faz necessário abordar questões relacionadas aos conteúdos e às diferentes estratégias para articulá-los em sala de aula. Tal discussão se mostra relevante considerando a dificuldade que a maioria dos licenciandos teve em responder corretamente a questão que avaliou o conhecimento conceitual. Para além disso, ao contrário do que esperava-se, alguns licenciandos revelaram erros sistemáticos relativos aos processos de liberação e absorção de energia nas transformações químicas. Nesse sentido, esta pesquisa indica para a importância de uma maior articulação das disciplinas específicas da Química com aquelas relacionadas à formação docente, de modo a suprir eventuais lacunas conceituais e, conseqüentemente, permitir aos licenciandos compreenderem a diferença entre saber os conteúdos específicos e sabê-los em um contexto de mediação pedagógica.

Em relação ao resultado encontrado no item C da questão 4, é possível inferir que a dificuldade apresentada pelos vinte e um licenciandos que não responderam corretamente a situação proposta estava relacionada, provavelmente, ao fato de a Modelagem ter priorizado a discussão qualitativa dos processos termoquímicos. Articulou-se um discurso mais dialógico e interativo em detrimento do discurso de autoridade (Mortimer & Scott, 2003), que deveria ter sido utilizado de forma mais adequada pelo professor durante as atividades de Modelagem, buscando trazer com maior ênfase a relevância dos aspectos conceituais em estudo. Seria adequado, então, que o professor resgatasse e discutisse o modelo de quebra e formação das ligações durante o fechamento da aula, apresentando um discurso de autoridade que permitisse elucidar a relação energética inerente a esse processo. Como a avaliação

final ocorreu na semana seguinte à conclusão das atividades, a retomada ficou comprometida pelo pouco tempo que havia disponível para isso.

Assim, baseado na discussão que norteou a segunda questão de pesquisa, conclui-se que a escolha do professor por não utilizar, em certas ocasiões, o discurso de autoridade não foi adequada, pois os erros conceituais se propagaram para a avaliação final do processo. Com isso, destaca-se aqui a importância de se alternar as abordagens comunicativas ao longo do trabalho com Modelagem, buscando construir novos significados e desenvolver habilidades inerentes ao processo de mediação em sala de aula. Isso é necessário quando se busca introduzir e consolidar a perspectiva científica em sala de aula (Mortimer & Scott, 2002).

Cabe ressaltar também que o discurso de autoridade não deve prevalecer nessas atividades, pois o foco da proposta centra-se na construção coletiva de conhecimento, o que pressupõe uma maior interação no espaço da sala de aula. Entretanto, com o discurso de autoridade o professor tem a possibilidade de priorizar as questões conceituais de forma mais diretiva, evitando que o foco esteja apenas no desenvolvimento de habilidades interpessoais, reconhecidamente necessárias para o sucesso dessas atividades. Dentre as possibilidades de atuação do professor com o discurso de autoridade, destacam-se: (i) apresentar e discutir informações; (ii) relacionar dados sobre um tema; (iii) expor um conhecimento novo; (iv) resgatar e sistematizar conteúdos já trabalhados; e (v) retomar conceitos não compreendidos.

Além disso, deve-se buscar integrar os conhecimentos de outras áreas, evitando que haja equívocos nas interpretações dadas por diferentes disciplinas a um mesmo fenômeno. Como exemplo, é possível resgatar a ideia de armazenamento de energia nas ligações químicas, discutida na terceira questão de pesquisa, considerando o ponto de vista da Biologia e o da Química. Cabe ao professor mediar essa discussão em sala de aula, de modo a esclarecer eventuais dúvidas, utilizando para isso modelos e ações multimodais que favoreçam a compreensão do conteúdo em estudo.

Em relação à Aula 6 (socialização dos modelos na turma), cinco licenciandos estiveram ausentes (L1G1, L3G1, L1G5, L2G5 e L3G6). Embora esses licenciandos tenham perdido a discussão de uma importante etapa do processo de Modelagem, na

avaliação final a maioria deles (n=4) não apresentaram indícios de que eventuais dificuldades ou falta de entendimento da proposta tenham sido decorrentes da ausência nessa aula. Isso pode ser inferido considerando a análise da questão 1 da avaliação final, em que todos eles apresentaram respostas com propostas que envolviam a mediação social e/ou semiótica do conhecimento. A única exceção foi L1G1, que não propôs a mediação do conhecimento por meio de estratégias que buscavam estabelecer interações com os estudantes ou uso dos *modelos multimodais*.

Dessa maneira, o trabalho com Modelagem no contexto formativo aqui discutido favoreceu aos licenciandos aprimorarem: (i) uma melhor compreensão sobre os modelos utilizados nas Ciências; (ii) o reconhecimento dos desafios que perpassam o ensino de conteúdos abstratos, tal como as relações energéticas envolvidas nas transformações químicas; (iii) a busca por recursos e estratégias multimodais utilizadas na mediação social e semiótica; e (iv) o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao processo de mediação pedagógica. Isso aconteceu em um contexto no qual os licenciandos puderam compreender que “[...] *ensinar supõe aprender a ensinar, ou seja, aprender a dominar progressivamente os saberes necessários à realização do trabalho docente*” (Tardif, 2002, p. 20).

Do ponto de vista da reflexão na/sobre a ação, discutida por Shön (1998) e Alarcão (2003), pode-se inferir que, provavelmente, desvinculadas de um contexto prático (a sala de aula do Ensino Médio) essas atividades não teriam o impacto desejado nas ações dos futuros professores. Tal inferência pode ser confirmada pelo fato de alguns deles reconhecerem as dificuldades, inerentes ao contexto escolar, para se colocar em prática uma proposta dessa natureza, com destaque para: a estrutura física das salas de aula e a indisponibilidade de materiais para realizar essas atividades; o tempo restrito das aulas (2 aulas semanais de 40/50 minutos); a abordagem de ensino predominante (*transmissão-recepção*, com o conteúdo sendo colocado no quadro e, posteriormente, avaliado por meio de questões que priorizam a memorização). Cabe aqui reconhecer que romper com esse padrão pré-estabelecido nem sempre será fácil para um professor, sobretudo se iniciante na profissão, restando como opção, muitas vezes, a reprodução direta dos conteúdos.

Mesmo diante das inúmeras discussões sobre a educação (científica ou não), ainda parece prevalecer a visão ingênua e ultrapassada de que ensinar seria algo trivial, bastando ao professor saber o conteúdo e usar técnicas pedagógicas pré-estabelecidas (Carvalho & Gil-Pérez, 2011). É importante considerar no processo de ensino e aprendizagem que os conteúdos deverão passar por uma *transposição didática*, tendo em vista a quase impossibilidade de ensiná-los diretamente no Ensino Médio conforme se aprende nas disciplinas específicas da Química, ministradas nos cursos de graduação.

Nesse sentido, o envolvimento dos licenciandos com as atividades de Modelagem permitiu a eles reconhecerem o potencial das mesmas frente ao processo de ensino e aprendizagem. Entretanto, para que eles tenham a possibilidade de articular essas propostas na Escola, é necessário encorajá-los e orientá-los durante os Estágios Supervisionados. Moraes, Ramos e Galiuzzi (2006, p. 95) afirmam que por meio da consciência de que “[...] *as aprendizagens vão se dando a partir da participação direta do aluno nas atividades propostas pelo professor, nas discussões e nas avaliações, entende-se que a apropriação do conhecimento profissional do professor também ocorre desse modo*”. Silva (2009) também aponta para a importância da teoria estar sempre associada à prática durante o processo de formação inicial dos professores. Além disso, Schön (1983) destaca a importância de se valorizar: (i) o *conhecimento na ação* ou saber fazer; (ii) a *reflexão na ação*, considerando que ao realizar uma ação os sujeitos estão refletindo sobre ela e aprendendo sobre o processo dinâmico que envolve a aprendizagem; e (iii) a *reflexão sobre a ação*, que permite uma análise pormenorizada da atividade realizada, de modo a melhor compreender e, quando necessário, aprimorar as práticas em sala de aula.

Em relação ao processo vivenciado pelo professor, se faz necessário reconhecer que ele contribuiu de modo relevante para a sua formação profissional, permitindo uma criteriosa *reflexão na ação e sobre a ação*. Isso pode ser inferido com base no fato de o professor ter ministrado para a mesma turma de licenciandos a disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química I*, o que permitiu a ele estabelecer um sequenciamento no trabalho já iniciado no semestre anterior e resgatar eventuais

discussões ocorridas. Entretanto, a atuação docente anterior não foi tão relevante para a formação do professor quanto a aqui descrita. Isso porque ao resgatar as filmagens das aulas, foi possível reavaliar questões relacionadas à postura em sala, além de analisar todo o processo de ensino vivenciado na disciplina. Isso permitiu pensar na efetividade das ações para apresentar e mediar o conhecimento, sendo possível aprimorar a proposta colocada em prática e as ações desenvolvidas, tendo em vista que o pesquisador, durante a pesquisa, é alguém que está em processo de aprendizagem e de transformação (Freitas, 2002).

Sobre a sequência didática, o professor a estruturou considerando o conhecimento sobre o conteúdo em discussão e a experiência adquirida nos estudos relacionados a modelos e Modelagem, temáticas essas investigadas na pesquisa de Mestrado (Souza, 2007). Cabe ressaltar aqui que a sequência didática proposta fez parte das atividades planejadas para a disciplina, o que permite inferir que os dados foram coletados em uma situação normal de sala de aula, sem que o curso das aulas fosse interrompido para a aplicação de atividades diferentes das inicialmente programadas para a disciplina. A escolha de uma temática familiar ao professor permitiu a ele problematizar alguns assuntos, sendo possível agregar maior contribuição à formação dos licenciandos a partir das discussões ocorridas em sala de aula.

Sobre os dados aqui analisados, é importante ressaltar que a riqueza do processo vivenciado pelos licenciandos permitiu emergir uma discussão que se fez essencial ao trabalho: a da multimodalidade no ensino de Ciências. Com os resultados aqui encontrados ficou evidente a importância das interações multimodais em sala de aula, de modo a favorecer o processo de construção social do conhecimento e de significados nesse espaço.

Considerando o contexto de coleta de dados, que envolveu licenciandos e professor em processo de formação (inicial e na prática da docência), há que se reconhecer que algumas escolhas didáticas do professor durante o processo de ensino poderiam ser diferentes. Em relação a isso, destacam-se as oportunidades de resgatar questões conceituais com os licenciandos que foram perdidas durante algumas das

discussões. Uma oportuna intervenção do professor nesses momentos permitiria aos licenciandos reavaliarem suas ações enquanto construam seus modelos para explicar os processos termoquímicos em estudo. Como discutido anteriormente, em alguns momentos o professor preferiu não explorar as ideias dos licenciandos, julgando que as abordagens propostas por eles poderiam trazer poucas contribuições para os modelos, sobretudo por não contemplar as características que deveriam estar presentes no *modelo curricular*.

Além disso, foi possível verificar a importância de se trabalhar com atividades que discutem diferentes *modelos curriculares e de ensino*, buscando sempre uma interação maior com as distintas áreas e disciplinas da Química, o que permite ampliar o conhecimento teórico e a compreensão dos desafios que perpassam o ensino de Ciências. Isso se justifica pelo fato de as disciplinas de formação pedagógica não conseguirem abordar todos os conteúdos teóricos, tendo na parceria com as demais disciplinas do curso um importante caminho para a capacitação de bons profissionais, que estejam aptos a articular um amplo repertório de conhecimentos em sala de aula.

2. CONTRIBUIÇÕES PARA A PESQUISA EDUCACIONAL E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA

Buscando ser coerente com os princípios da pesquisa qualitativa, neste trabalho não foram feitas generalizações, tendo em vista ser necessário reconhecer a importância de outras pesquisas serem conduzidas de maneira similar, assumindo uma perspectiva teórica que se aproxima da aqui apresentada. Assim, uma das possibilidades para que esta pesquisa traga contribuições efetivas ao ensino de Química, é por meio da socialização dos seus resultados em cursos voltados à formação inicial e continuada de professores.

Em relação à ação mediada como unidade de análise, é importante considerar que a tensão estabelecida entre agentes e recursos mediacionais pressupõe uma análise que ultrapassa as ações individuais dos sujeitos envolvidos nesse processo, de modo a tentar explicar as propostas enunciativas que configuram as interações humanas. Nesse sentido, para que o diálogo aflore em sala de aula, se faz necessária a confrontação dos diferentes pontos de vista, o que favorece, por meio da reflexão

coletiva, a tomada de consciência sobre as possibilidades de mediação do conhecimento científico, tal como discutido por Ford e Wargo (2012). Isso pode ajudar na articulação de ações a serem discutidas e colocadas em prática nos Estágios Supervisionados em Química, além de auxiliar outros formadores a desenvolverem propostas de trabalho seguindo a mesma linha.

Assim, buscando-se ter caracterizadas as ações coletivas e individuais dos licenciandos, por meio da interação nos grupos e dos registros escritos, foram utilizadas diferentes possibilidades para a coleta dos dados. Cabe destacar que a característica que diferencia as ações no grupo do uso apenas de instrumentos escritos é o registro em vídeo da interação entre os participantes da pesquisa. Kitzinger (1994, *apud* Gatti, 2005) defende a ideia de que é essa interação que dá o diferencial à pesquisa, tendo em vista que:

[...] o interesse não é somente “no que as pessoas pensam, mas em *como* pensam e *porque* pensam assim” (p. 104). A autora ressalta, ainda, a importância da diferença, ao enfatizar que o processo grupal desencadeado é vital para trazer elementos que provoquem novas reflexões sobre o problema. Esse processo não se restringe a consensos ou às articulações das normas do grupo e suas experiências, mas abrange as diferenças entre os indivíduos, seus desentendimentos, desacordos, seus questionamentos mútuos, suas tentativas de persuadir para cooptar às suas ideias, suas dificuldades de compreensão mútua em relação ao que se diz. (Gatti, 2005, p. 39-40)

Em uma pesquisa dessa natureza, o enfoque não está unicamente no produto da ação dos licenciandos (os modelos finais elaborados por eles), mas no processo que os permitiram chegar ao modelo construído coletivamente, passando por reflexões que os favoreceram desenvolver habilidades profissionais. Freitas (2002) ressalta que:

Na pesquisa qualitativa com enfoque sócio-histórico não se investiga em razão de resultados, mas o que se quer obter é “a compreensão dos comportamentos a partir da perspectiva dos sujeitos da investigação” (Bogdan & Biklen, 1994, p. 16), *correlacionando ao contexto do qual fazem parte*. [...] a preocupação do pesquisador deve ser maior com o processo em observação do que com o seu produto. (Freitas, 2002, p. 26-27)

Nesse sentido, a pesquisa qualitativa com abordagem sócio-histórica-cultural favoreceu a compreensão dos eventos investigados, permitindo a integração do individual com o social durante o processo de articulação do conhecimento científico.

Também é importante ter clareza que este trabalho não se constitui em um manual ou em uma metodologia a serem seguidos nos cursos de formação inicial de professores. Buscou-se discutir aqui uma situação particular, que poderá trazer reflexões e implicações práticas para o contexto de estudo ao qual se insere essa proposta. Entretanto, se faz necessário reconhecer que não existe uma metodologia e currículo únicos, tendo em vista que ao se pensar nas muitas Escolas/Universidades, sobretudo em um país diverso como o Brasil, tem-se aí o encontro de diferentes realidades, saberes e culturas. Todas essas questões precisam ser consideradas quando se pensa na possibilidade de fazer educação por meio das Ciências.

Dessa forma, ao se articular o trabalho com Modelagem em sala de aula, apostou-se na possibilidade de investigar tais práticas à luz da abordagem sócio-histórico-cultural de Vygotsky, da Teoria da Ação Mediada e da Semiótica Social, algo que até então representava uma lacuna na literatura, sobretudo em relação à formação inicial dos professores de Química. Além disso, ao considerar que a linguagem e outros modos de comunicação representam pontes entre as ações e significações de um dado sujeito e o contexto sócio-histórico-cultural em que está inserido, assume-se na perspectiva vygotskiana que o diferencial do ser humano reside na sua capacidade de construir significados por meio da interação com o outro, mediada pelos diferentes recursos e modos de comunicação.

Em relação às possibilidades de pesquisas futuras, este trabalho abre perspectivas para investigar o modo como os licenciandos se apropriam e transpõem para a sala de aula as habilidades relacionadas à construção e mediação do conhecimento científico, por meio do acompanhamento e análise dessas práticas nos Estágios Supervisionados em Química. Assim, pesquisas dessa natureza permitiriam investigar em trabalhos futuros as seguintes questões de pesquisa: (i) *Como as atividades de Modelagem podem favorecer as discussões sobre Natureza das Ciências no Ensino Médio, considerando a perspectiva sócio-histórico-cultural de Vygotsky?*; (ii) *Como as interações multimodais permitem aos licenciandos mediar as dificuldades conceituais apresentadas pelos estudantes do Ensino Médio?*; e (iii) *De que maneira a transposição para o Ensino Médio das habilidades mediacionais articuladas durante as*

atividades de Modelagem podem se relacionar ao processo de interconversão e apropriação do conhecimento científico?

O cenário descrito neste trabalho aponta também para a importância de se investigar mais a fundo as interações multimodais orquestradas durante o uso dos modelos, com destaque para os gestos, a prosódia e a relação proxêmica articulada em sala de aula, de modo a favorecer a construção de significados no campo das Ciências, associada ao trabalho com Modelagem.

Além disso, a presente pesquisa abre a possibilidade para se analisar o processo de Modelagem a partir de três planos distintos: o pragmático, o epistêmico e o argumentativo. Isso considerando que as atividades de construção social de modelos podem favorecer uma compreensão mais apurada sobre os aspectos epistêmicos das Ciências, tendo em vista que as comunidades científicas buscam considerar diferentes formas de pensar, enquanto as aulas tradicionais tendem a focar em um único ponto de vista. Assim, ao priorizar diferentes interações discursivas, é possível que essas venham a convergir em sala de aula para uma argumentação no campo das Ciências. Tal discussão tem sido corroborada por trabalhos recentes desenvolvidos no campo da educação científica, com o foco voltado para: (i) as relações entre discurso e argumentação em sala de aula; (ii) a alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação; (iii) as práticas epistêmicas e a argumentação no ensino de Ciências; e (iv) as habilidades argumentativas no trabalho com Modelagem.

Para concluir, destaca-se a necessidade de prosseguir aprendendo com os muitos desafios relacionados ao ato de ensinar, de modo a ser possível adquirir novos conhecimentos e desenvolver habilidades que permitirão aos professores (em formação ou em serviço) avançarem continuamente. Isso considerando que com o *saber*, aumenta-se o *não saber* ou a consciência do *não saber*. E ao tentarmos ser sujeitos de alguns saberes, nos tornamos sujeitos de nós mesmos, tendo em vista que, de acordo com Santos (2002, p. 50), “*todo conhecimento é autoconhecimento*”. Com esse autoconhecimento, é possível estar mais preparado para mediar os muitos desafios que perpassam as salas de aula, favorecendo assim a construção de novos significados nesse espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418, DOI: 10.1002/sce.
- Adler, P. A., & Adler, P. (1994). Observational Techniques. In N. Dezin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 377-392). California: Sage Publications.
- Aguiar, O. G. (1999). Calor e temperatura no Ensino Fundamental: o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(1), 73-90.
- Aguiar Jr., O. G., & Mortimer, E. F. (2005). Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade discursiva de uma aula de Ciências. *Investigação em Ensino de Ciências*, 10(2), 1-23.
- Aguiar, O. G., Mortimer, E. F., & Scott, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: the authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 174-193.
- Ainkenhead, G. S. (2009). *Educação científica para todos*. Lisboa: Edições Pedagogo.
- Alarcão, I. (2003). *Professores reflexivos em uma escola reflexiva*. 2ª ed. São Paulo: Cortez (Coleção Questões da Nossa Época).
- Alves-Mazzotti, A. J. (1996). O debate atual sobre os paradigmas de pesquisa em Educação. *Caderno de Pesquisa*, 96, 15-23.
- Alves-Mazzotti, A. J. (2001). O Método nas Ciências Sociais. In A. J. Alves-Mazzotti, & F. Gewandszajder, *O método nas Ciências Sociais e Naturais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa* (pp. 109-188). 2ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Andersson, B. (1990). Pupil's Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85.

- Bain, K., Moon, A., Mack, M. R., Towns, M. H. (2014). A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. *Chemistry Education Research and Practice*, DOI: 10.1039/c4rp00011k.
- Bakhtin, M. M. (1988). *Marxismo e a filosofia da linguagem*. São Paulo: Hucitec.
- Bakhtin, M. M. (1992). *Estética da criação verbal*. São Paulo: Martins Fontes.
- Banerjee, A. C. (1995). Teaching chemical equilibrium and thermodynamics in undergraduate general chemistry classes. *Journal of Chemical Education*, 72(10), 879-881.
- 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.
- Benite, C. R. M., Benite, A. M. C., & Echeverria, A. R. (2010). A Pesquisa na Formação de Professores: em foco, a Educação Química. *Química Nova na Escola*, 32(4), 257-266.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualisation of chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117-120.
- Bliss, J., & Ogborn, J. (1985). Children's choices of uses of energy. *European Journal of Science Education*, 7(2), 195-203.
- Bogdan, R., & Biklen, S. K. (1994). *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto, Portugal: Porto Editora.
- Boo, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Bottcher, F., & Meisert, A. (2010). Argumentation in Science Education: a model-based framework. *Science & Education*, 20(2), 103-140.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- Brasil (2000). *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Parte III) – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brasil (2001). *Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brasil (2006). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação.
- Brook, A., Briggs, H., Bell, B., & Driver, R. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Summary Report*. Leeds: University of Leeds.
- Brouwer, N., & Korthagen, F. (2005). Can teacher education make a difference? *American Educational Research Journal*, 42(1), 153-224.
- Buty, C., & Mortimer, E. F. (2008). Dialogical/Authoritative Discourse and Modelling in High School Teaching Sequence on Optics. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1635-1660.
- Cakmakci, G. (2012). Promoting pre-service teachers' ideas about Nature of Science through educational research apprenticeship. *Australian Journal of Teacher education*, 37(2), 114-135.
- Capecchi, M. C. V. (2004). *Aspectos da cultura científica em atividades de experimentação nas aulas de Física*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação da USP, São Paulo.
- Cappelle, V. A. (2014). *Interações multimodais em uma sala de aula de Biologia*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Carson, E. M., & Watson, J. R. (1999). Undergraduate students' understandings of enthalpy change. *University Chemistry Education*, 3(2), 46-51.
- Carson, E. M., & Watson, J. R. (2002). Undergraduate students' understandings of entropy and Gibbs free energy. *University Chemistry Education*, 6(1), 4-12.

- Carvalho, A. M. P., & Gil-Pérez, D. (2011). *Formação de professores de Ciências: tendências e inovação*. 10ª ed., São Paulo: Cortez (Coleção Questões da Nossa Época).
- Cervantes, A. (1987). Los Conceptos de Calor y Temperatura: una revision Bibliografica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), 66-70.
- Chalmers, A. F. (1993). *O que é Ciência afinal?* 2ª ed. São Paulo: Brasiliense.
- Chamizo, J. A., & Garcia, A. (Eds.). (2010). *Models y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. Ciudad de México: Facultad de Química – Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chamizo, J. A. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22 (7), 1613-1632.
- Charlot, B. (2005). *Relação com o saber, formação de professores e globalização: questões para a educação hoje*. Porto Alegre: Artmed.
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.
- Clement, J. J. (2008). *Creative model construction in scientists and students*. New York, NY: Springer.
- Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). A competition strategy and other modes for developing mental models in large group discussion. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and science instruction* (pp. 117-138). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model based learning and science instruction*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Cohen, I., & Ben-Zvi, R. (1992). Improving students' achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, 14(2), 147-156.

- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*, 5th ed. London: Routledge Falmer.
- Cole, M., & Scribner, S. (1984). Introdução. In L. S. Vygotsky, *A Formação Social da Mente* (pp. 7-15). São Paulo: Martins Fontes.
- Contreras, J. (2002). *Autonomia de professores*. São Paulo: Cortez Editora.
- Cortella, M. S. (2006). *A escola e o conhecimento: fundamentos epistemológicos e políticos*. 10ª ed., São Paulo: Cortez/Instituto Paulo Freire (Coleção Perspectiva).
- Cotignola, M. I., Bordogna, C., Punte, G., & Cappannini, O. M. (2002). Difficulties in learning thermodynamic concepts are they linked to the historical development of this field? *Science & Education*, 11(3), 279-291.
- Deslauriers, J. P., & Kérisit, M. (2008). O delineamento de pesquisa qualitativa. In J. Poupart et al. *A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos* (pp. 127-153). Petrópolis, RJ: Vozes.
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school – empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19(2), 59-66.
- Duit, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material?. *International Journal of Science Education*, 9(2), 139-145.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (Eds.), (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- Elliot, J. (1997). *La investigación-acción en educación*. 3ª ed. Madrid: Morata.
- Engeström, Y. (2002). Como superar a encapsulação da aprendizagem escolar. In H. Daniels (Org.), *Uma introdução a Vygotsky* (pp. 175-197). São Paulo: Edições Loyola.
- Erickson, G. (1985). Heat and temperature: an overview of pupils' ideas. In R. Drive, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 55-66). Open University Press: Milton Keynes.

- Erickson, F. (2006). Definition and analysis of data from videotape: some research procedures and their rationales. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 177-191). Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Faikhamta, C., Coll, R. K., & Roadranga, V. (2009). The Development of Thai Pre-service Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge: From a Methods Course to Field Experience. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(1), 18-35.
- Feinman-Nemser, S., & Buchmann, M. (1987). When is student teaching teacher education? *Teaching and Teacher Education*, 3(4), 255-273.
- Fernandez, C., & Marcondes, M. E. R. (2006). Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. *Química Nova na Escola*, 24, 20-24.
- Ford, M. J., & Wargo, B. M. (2012). Dialogic Framing of Scientific Content for Conceptual and Epistemic Understanding. *Science Education*, 96(3), 369-391.
- Freitas, M. T. A. (2002). A abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. *Cadernos de Pesquisa*, 116(1), 21-39.
- Galiazzi, M. C., Moraes, R., & Ramos, M. G. (2003). Educar pela pesquisa: as resistências sinalizando o processo de profissionalização de professores. *Educar em Revista* (Editora UFPR), 21, 227-241.
- Gatti, B. A. (2004). Estudos quantitativos em educação. *Educação e Pesquisa*, 30(1), 11-30.
- Gatti, B. A. (2005). *Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas*. Brasília-DF: Liber Livro (Série Pesquisa).
- Gilbert, J. K., & Pope, M. (1986). Small group discussions about conceptions in science: a case study. *Research in Science and Technological Education*, 4(1), 61-76.

- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1995). *Stretching models too far*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, USA, 22-26 April.
- 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. 3-18). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: a metacognitive skill in Science and Science Education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 9-27). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Giordan, M. (2008). *Computadores e linguagens nas aulas de Ciências: uma perspectiva sociocultural para compreender a construção de significados*. Ijuí, RS: Editora Unijuí (Coleção Educação em Ciências).
- Goedhart, M. J., & Kaper, W. (2002). From chemical energetics to chemical thermodynamics. In J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 339-362). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- González Rey, F. L. (2005). *Pesquisa Qualitativa em Psicologia: caminhos e desafios*. (Marcel Aristides Ferrada Silva, Trad.), Revisão técnica: Fernando Luiz González Rey. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Grandy, R. E. (2003). What are models and why do we need them? *Science & Education*, 12(8), 773-777.
- Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55-87.
- Greenbowe, T. J., & Meltzer, D. E. (2003). Student learning of thermochemical concepts in the context of solution calorimetry. *International Journal of Science Education*, 25(7), 779-800.

- Greenwood, D. J., & Levin, M. (2000). Reconstructing the relationships between universities and society through action research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Orgs.). *Handbook for Qualitative Research* (pp. 85-106). 2^a ed. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- 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(6), 611-628.
- Grindstaff, K., & Richmond, G. (2008). Learners' perception of the role of peers in a research experience: implications for the apprenticeship process, scientific inquiry, and collaborative work. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 251-271.
- Guarnieri, M. R. (1996). *Tornando-se professor: o início na carreira docente e a consolidação da profissão*. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos.
- Hadfield, I. C., & Wieman, C. E. (2010). Students interpretations of equations related to the first law of thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 87(7), 750-755.
- Halloun, I. A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16(7), 653-697.
- Harré, R. (2004). *Modeling: Gateway to the unknown*. Amsterdam: Elsevier.
- Hesse, J. J., & Anderson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- 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.
- 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.
- Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Jacobucci, D. F. C., Jacobucci, G. B., & Megid Neto, J. (2009). Experiências de formação de professores em centros e museus de ciências no Brasil. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 118-136.
- Jaipal, K. (2010). Meaning making through multiple modalities in a Biology classroom: a multimodal semiotics discourse analysis. *Science Education*, 94(1), 48-72.
- Jasien, P. G., & Oberem, G. E. (2002). Understanding of elementary concepts in heat and temperature among college students and K-12 teachers. *Journal of Chemical Education*, 79(7), 889-895.
- Jewitt, C., Kress, G., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). Exploring learning through visual, actional and linguistic communication: the multimodal environment of a science classroom. *Educational Review*, 53(1), 5-18.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2006). A argumentação sobre questões sócio-científicas: processos de construção e justificação do conhecimento na aula. *Educação em Revista*, 43(1), 13-33.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in Science Education: an overview. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds), *Argumentation in Science Education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.
- Justi, R. (2000). Teaching with historical models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 209-226). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- 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., & van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing and understanding the process, *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2010). Modelos e Modelagem no Ensino de Química: um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In W. L. P. Santos & O. A. Maldaner (Orgs.) *Ensino de Química em Foco* (pp. 209-230). Ijuí: Editora Unijuí.
- Justi, R., & Paganini, P. (2013). Co-construction of knowledge in a modeling-based teaching context. *Paper presented at the NARST Conference*, Rio Grande, Puerto Rico.
- Kaper, W. H., & Goedhart, M. J. (2002). Forms of energy, an intermediary language on the road to thermodynamics? – Part I. *International Journal of Science Education*, 24(1), 81-95.
- Kelly, G., & Duschl, R. (2002). *Toward a research agenda for epistemological studies in science education*. Trabalho apresentado no Encontro Anual da National Association for Research in Science Teaching, Abril, New Orleans, Louisiana, EUA.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal Teaching and Learning: the rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.
- Kress, G. (2010). *Multimodality: a social semiotic approach to contemporary communication*. London: Routledge.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: supporting development in learning in contexts. In W. Damon, R. M. Lerner, K. A. Renninger & I. E. Sigel (Eds.), *Handbook of child psychology* (pp. 153-196), 6th ed. (Vol. 4). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: language, learning and values*. Norwood: Ablex Publishing Company.
- Levin, D. M., Hammer, D., & Coffey, J. E. (2009). Novice teachers' attention to student thinking. *Journal of Teacher Education*, 60(2), 142-154.
- Libâneo, J. C. (2010). *Adeus professor, adeus professora: novas exigências educacionais e profissão docente*. São Paulo: Cortez.
- Liu, X., Ebenezer, J., & Fraser, D. M. (2002). Structural Characteristics of University Engineering Students' Conceptions of Energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 423-441.
- Liu, X., & Mckeough, A. (2005). Development Growth in Students' Concept of Energy: Analysis of Selected Items from the TIMSS Database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517.
- Luria, A. R. (1994). *Desenvolvimento Cognitivo: seus fundamentos culturais e sociais*. 2ª ed., São Paulo: Ícone.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- Maia, P. F. (2009). *Desenvolvimento de Habilidades em Atividades de Modelagem*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Martins, I., Ogborn, J., & Kress, G. (1999). Explicando uma explicação. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 1-14.
- Maldaner, O. A. (2006). *A formação inicial e continuada de professores de Química – professores/pesquisadores*. 3ª ed. Ijuí: Ed. Unijuí, Coleção Educação em Química.

- Matthews, M. R. (2007). Models in Science and in Science Education: an introduction. *Science & Education*, 16 (7-8), 647-652.
- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), 1432-1446.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte 2. *Educación Química*, 20, 373-382.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research in Science Education*, 41(4), 479-503.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013). The relationships between Modelling and Argumentation from the perspective of the Model of modeling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Merriam, S. B. (1988). *Case Study Research in Education – A Qualitative Approach*. San Francisco and London: Jossey-Bass.
- Mizukami, M. G. N., Reali, A. M. M. R., Reyes, C. R., Martucci, E. M., Lima, E. F., Tancredi, R. M. S. P., & Mello, R. R. (2003). *Escola e aprendizagem da docência: processos de investigação e formação*. São Carlos, SP: EdUFSCar, INEP, COMPED.
- Moraes, R., Ramos, M. G., Galiuzzi, M. C. (2006). A epistemologia do aprender no educar pela pesquisa em Ciências – alguns pressupostos teóricos. In: R. Moraes & R. Mancuso (Orgs.) *Educação em Ciências: produção de currículos e formação de professores*. 2ª ed, Ijuí: Editora Unijuí. (Coleção Educação em Ciências)
- Morin, E. (2000). *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Moro, L., Pereira, R. R., Mortimer, E. F., Silva, A. C. A., Sá, E. F., Santos, E. P., Silva, P. S., Martins, R. F., Quadros, A. L., Azevedo, L. L. (2013). Gestos ancorados em um

- terceiro modo semiótico: como auxiliam na criação de modelos tridimensionais. *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Águas de Lindóia – SP, 10 a 14 de Novembro de 2013.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. (pp. 10-37) Cambridge: Cambridge University Press.
- Mortimer, E. F., & Machado, A. H. (1997). Múltiplos olhares sobre um episódio de ensino: por que o gelo flutua na água? *Anais do Encontro sobre teoria e pesquisa em ensino de Ciências: linguagem, cultura e cognição*, Belo Horizonte, 167-190.
- Mortimer, E. F., & Amaral, L. O. F. (1998). Quanto mais quente melhor. *Química Nova na Escola*, 7, 30-34.
- Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Editora Universitária UFMG.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 283-306.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press/McGraw Hill.
- Mortimer, E. F., & Aguiar Jr., O. G. (2005). Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade discursiva em uma aula de ciências. *Investigações no Ensino de Ciências*, 10(2), 179-207.
- Mortimer, E. F., & El-Hani, C. N. (2013). Uma visão sócio-interacionista e situada dos conceitos e a internalização em Vygotsky. *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Águas de Lindóia – SP, 10 a 14 de Novembro de 2013.

- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 Science Education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- 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, NY: Kluwer and Plenum Publishers.
- Niaz, M. (2006). Can the Study of Thermochemistry Facilitate Students' Differentiation between Heat Energy and Temperature? *Journal of Science Education and Technology*, 15(3), 269-276.
- Nogueira, A. L. H. (2013). Propostas pedagógicas como instrumentos técnico-semióticos: desenvolvimento cultural e construção da atividade docente. In A. L. B. Smolka, & A. L. H. Nogueira (Orgs.), *Estudos na perspectiva de Vigotski: gênese e emergência das funções psicológicas* (pp. 125-150), 1ª ed. Campinas, SP: Mercado de letras (Série Desenvolvimento Humano e Práticas Culturais).
- Nóvoa, A. (2002). O espaço público da educação: imagens, narrativas e dilemas. In A. Prost (Org.), *Espaços de educação, tempos de formação* (pp. 237-263). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- O'Connor, C., & Michaels, S. (2007). When is dialogue "dialogic"? *Human Development*, 50(5), 275-285, DOI: 10.1159/000106415.
- Ogborn, J. (1990). Energy, change, difference and danger. *School Science Review*, 72(259), 81-85.
- Oliveira, M. M. (2013). *Sequência Didática Interativa no processo de formação de professores*. Petrópolis, RJ: Editora Vozes.

- Passmore, C., & Svoboda, J. (2011). Exploring opportunities for argumentation in modelling classrooms. *International Journal of Science education*, 34(10), 1535-1554.
- Pathare, S. R., & Pradhan, H. C. (2010). Students' misconceptions about heat transfer mechanism and elementary kinetic theory. *Physics Education*, 45(6), 629-634.
- Paula, H. F., & Moreira, A. F. (2014). Atividade, ação mediada e avaliação escolar. *Educação em Revista*, 30(1), 17-36.
- Pereira, M. A. L., Almeida, P. C. A., & Azzi, R. G. (2002). A dimensão teórico-prática da psicologia educacional na formação de professores: a metodologia da problematização como desencadeadora da articulação entre teoria e prática. In R. G. Azzi & A. M. F. A. Sadalla (Orgs.). *Psicologia e formação docente: desafios e conversas* (pp. 185-211). São Paulo: Casa do Psicólogo.
- Pereira, A. P., & Ostermann, F. (2012). A aproximação sociocultural à mente, de James V. Wertsch, e implicações para a educação em Ciências. *Ciência & Educação*, 18(1), 23-39.
- Pereira, R. R., Moro, L., & Mortimer, E. F. (2013). A importância do uso de diferentes tipos de gestos em aulas de Química Orgânica do Ensino Superior. *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia – SP*, 10 a 14 de Novembro de 2013.
- Perrenoud, P. (2000). *Dez novas competências para ensinar*. Porto Alegre: Artmed.
- Perrenoud, P. (2002). *As competências para ensinar no século XXI: a formação dos professores e o desafio da avaliação*. Porto Alegre: Artmed.
- Pérez-Gómez, A. (1997). O pensamento prático do professor – A formação do professor como profissional reflexivo. In A. Nóvoa (Org.), *Os professores e sua formação* (pp. 93-114), 3ª ed. Lisboa: Publicações Dom Quixote.

- 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.
- Piccinini, C., & Martins, I. (2004). Comunicação multimodal na sala de aula de Ciências: construindo sentidos com palavras e gestos. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 6(1), 1-14.
- Pimenta, S. G. (2010). *O estágio na formação de professores: unidade, teoria e prática?*. 9ª ed. São Paulo: Cortez.
- Pino, A. (2001). O biológico e o cultural nos processos cognitivos. In E. F. Mortimer, & A. L. B. Smolka, *Linguagem, Cultura e Cognição: reflexões para o ensino e a sala de aula* (pp. 21-50). Belo Horizonte: Autêntica.
- Pino, A. (2005). *As marcas do humano: às origens da constituição cultural da criança na perspectiva de Lev S. Vigotski*. São Paulo: Cortez Editora.
- Quadros, A. L., Sá, E. F., Silva, P. S., Moro, L., Pereira, R. R., Martins, D. A. A., Martins, R. F., Silva, A. C. A., Reis, R. C., Mortimer, E. F. (2012a). Análise dos modos semióticos em aulas de Química do Ensino Superior. *Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia*, Salvador, 17 a 20 de Julho de 2012.
- Quadros, A. L., Silva, A. C. A., Martins, D. A. A., Sá, E. F., Moro, L., Silva, P. S., Pereira, R. R., Martins, R. F., Reis, R. C., Mortimer, E. F. (2012b). Interações multimodais em aulas de Química do Ensino Superior. *Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia*, Salvador, 17 a 20 de Julho de 2012.
- Rego, T.C. (2009). *Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da Educação*. 20ª Ed. Petrópolis: Vozes.
- Rego, T. C. (2011). *Cultura, aprendizagem e desenvolvimento – Volume 2*. Petrópolis, RJ: Vozes.

- Richardson, L. (2000). Writing. A Method of Inquiry. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 923-948). London: Sage Publications.
- Romão, J. E. (2003). *Avaliação dialógica: desafios e perspectivas*. 5ª ed., São Paulo: Cortez e Instituto Paulo Freire.
- Rosa, M. I. P. (2000). *A pesquisa educacional no contexto da formação continuada de professores de Ciências*. Campinas. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação – Universidade Estadual de Campinas.
- Rosa, M. I. P. (2004). *Investigação e ensino: articulações e possibilidades na formação de professores de Ciências*. Ijuí (RS): Editora Unijuí (Coleção Educação em Química).
- Roychoudhury, A., & Rice, D. (2013). Preservice Secondary Science Teachers' teaching and reflections during a Teacher Education Program. *International Journal of Science Education*, 35(13), 2198-2225.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54-67.
- Sá, E. F., Mortimer, E. F., Quadros, A. L., & Moro, L. (2013). A influência de modos semióticos na gesticulação do professor durante a construção de significados. *Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Águas de Lindóia – SP, 10 a 14 de Novembro de 2013.
- Sacristán, J. G. (1998). *Currículo: uma reflexão sobre a prática*. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed.
- Sadler, T. D. (2006). "I Won't Last Weeks": Pre-service science teachers reflect on their student-teaching experiences. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 217-241.
- Santos, B. S. (2002). *Um discurso sobre as ciências*. 13ª ed. Porto: Afrontamento.
- Sasseron, L. H. (2013). Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. In A. M. P. Carvalho (Org.), *Ensino de Ciências por investigação:*

- condições para implementação em sala de aula* (pp. 41-62). São Paulo: Cengage Learning.
- Schnetzler, R. P. (1994). Do ensino como transmissão, para um ensino como promoção de mudança conceitual nos alunos: um processo (e um desafio) para a formação de professor de Química. *Cadernos Anped*, 6, 55-89.
- Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner*. New York, NY: Basic Books.
- Schön, D. A. (1987). *Educating the reflective practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Schön, D. A. (1998). *El profesional reflexivo: cómo piensan los profesionales cuando actúan*. Barcelona: Paidós.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., & Gewekwerere, Y. N. (2006). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teachers. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, H., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631.
- Seok, P., & Jin, S. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Silva, M. (2009). *Complexidade da formação de professores: saberes teóricos e saberes práticos*. São Paulo: Editora UNESP.

- Silva Oliveira, D. K. B. (2013). *O uso de representações em explicações e na argumentação*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Smolka, A. L. B., Goes, & M. C. R., Pino, A. (1998). A constituição do sujeito: uma questão recorrente? In J. V. Wertsch, P. Ríó & A. Alvarez, *Estudos Socioculturais da Mente* (pp. 218-238). Porto Alegre: Artmed.
- Smolka, A. L. B., & Mortimer, E. F. (2011). James V. Wertsch: a primazia da razão mediada. In T. C. Rego (org.), *Cultura, aprendizagem e desenvolvimento – Volume 2* (pp. 91-119). Petrópolis, RJ: Vozes.
- Solbes, J., & Tarín, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 387-397.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, 165-170.
- Souza, V. C. A. (2007). *Os desafios da Energia no contexto da termoquímica: modelando uma nova ideia para aquecer o ensino de química*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(2), 1-26.
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2011). Interloquções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 31-46.
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2012). Diálogos possíveis entre o ensino fundamentado em Modelagem e a História da Ciência. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 385-405.

- Souza, V. C. A., & Aguiar Jr, O. G. A. (2012). Análise crítica dos modelos presentes em livros didáticos de Química e as possibilidades de mediação do conhecimento científico na formação inicial de professores. *Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia*, Salvador, 17 a 20 de Julho de 2012.
- Souza Filho, O. M. (1987). *Evolução da ideia 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.
- Sözbilir, M., & Bennett, J.M. (2007). A study of Turkish chemistry undergraduates' understandings of entropy. *Journal of Chemical Education*, 84(7), 1204-1208.
- Sözbilir, M., Pýnarbapý, T., & Nurtaç, C. N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(2), 111-120.
- Sreenivasulu, B., & Subramaniam, R. (2013). University Students' Understanding of Chemical Thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 35(4), 601-635.
- Stewart, J., Cartier, J. L., & Passmore, C. M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. In M. S. Donovan & J. D. Bransford (Eds.), *How students learn* (pp. 515-565). Washington, DC: National Research Council.
- Tanase, M., & Wang, J. (2010). Initial epistemological beliefs transformation in one teacher education classroom: case study of four preservice teachers. *Teaching and Teacher education*, 26(6), 1238-1248.
- Tang, K. S., Tan, S. C., & Yeo, J. (2011). Students' Multimodal Construction of the Work-Energy Concept. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1775-1804.
- Tardif, M. (2002). *Saberes docentes e formação profissional*. Petrópolis: Vozes.

- Tavares, J. & Alarcão, I. (2001). Paradigmas de formação e investigação no Ensino Superior para o terceiro milênio. In I. Alarcão (Org.), *Escola reflexiva e nova racionalidade* (pp. 97-114). Porto Alegre: Artmed.
- 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(6), 464-496.
- Tomasello, M. (2003). *Origens culturais da aquisição do conhecimento humano*. 3ª ed., São Paulo: Martins Fontes.
- 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.
- van Eemeren, F. H., & Gootendorst, R. (1992). *Argumentation, communication, and fallacies: A pragma-dialectical perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Viau, J. E., Moro, L. E., Zamorano, R. O., & Gibbs, H. M. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 170-184.
- Vygotsky, L. S. (1991). *A formação Social da Mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes.
- Vygotsky, L. S. (2009). *A construção do pensamento e da linguagem*. 2ª ed., São Paulo: Martins Fontes.
- Watson, S. B. (2006). Novice Science Teachers: Expectations and Experiences. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 279-290.
- Wells, G. (1999). *Dialogic inquiry: toward a sociocultural practice and theory of Education*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Wertsch, J. V. (1988). *Vygotsky y la formación social de la mente*. Barcelona: Paidós.
- Wertsch, J.V. (1997). *Voices of the Mind: A sociocultural approach to mediated action*. 4 ed., Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Wertsch, J. V. (1999). *La mente en acción*. Buenos Aires: Aique.

- Wertsch, J. V. (2007). Mediation. In H. Daniels, M. Cole & J. V. Wertsch (Orgs.), *The Cambridge Companion to Vygotsky* (pp. 178-192). New York, NY: Cambridge University Press (Cambridge Collections Online).
- Windschitl, M. (2004). Folk Theories of “Inquiry”: How Preservice Teachers Reproduce the Discourse and Practice of an Atheoretical Scientific Method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 481-512.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-97.
- Yin, R. K. (2011). *Qualitative research from start to finish*. New York, NY: The Guilford Press.
- Zeichner, K. M. (1993). *A formação reflexiva de professores: ideias e práticas*. Lisboa: Educa.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Atividade 1

MODELOS²⁷

Modelo pode ser compreendido como a representação concreta de algum objeto, sistema, fenômeno ou processo. Desde a infância as pessoas lidam com esse conceito enquanto brincam com miniaturas, olham manequins em vitrines de lojas ou observam representações em museus. Nesses, assim como em outros casos, o modelo reproduz as principais características visuais daquilo que está sendo modelado, de forma a ser uma tentativa limitada de se representar a realidade. Este é o significado considerado pela Mafalda na charge apresentada a seguir:



Modelos têm sido usados com este mesmo significado em Ciências. No início do século 19, Dalton construiu modelos de madeira para representar alguns compostos químicos (Nye, 1993). Tal visão de modelo não foi questionada até o início do século 20, quando ela se tornou um problema para estudiosos de Física e Epistemologia da Ciência (Lind, 1980; Nye, 1993). Mesmo assim, na décima primeira edição da *Encyclopaedia Britannica*, publicada em 1911, Boltzmann, responsável pela escrita do item *modelo*, enfatizou os objetivos da construção de modelos em Ciências Físicas como uma maneira de prover uma analogia mecânica ou uma ilustração dinâmica. Considerando que os modelos “*envolvem uma analogia espacial concreta*

²⁷ Texto produzido pela profa. Dra. Rosária Justi para o projeto de pesquisa *Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação*. Parte das informações apresentadas no texto consta de Justi, R. (1997). *Models in the Teaching of Chemical Kinetics*, Unpublished PhD Thesis, Reading: The University of Reading. [Algumas alterações nesse material foram implementadas pelo autor deste trabalho]

em três dimensões” (Boltzmann, 1911, p. 638), ele não incluiu mapas, figuras e notas musicais na categoria *modelo*. Ele também pensava que os modelos usados em matemática eram apenas os modelos concretos *“empregados para representar em termos visuais a forma precisa de figuras geométricas, superfícies e curvas”* (Boltzmann, 1911, p. 638).

Somente em décadas posteriores o significado de modelo dissociou-se da concepção de algo concreto. A ideia de que uma equação matemática é um modelo, por exemplo, pode ser encontrada no trabalho de Langmuir (1929), que comparou modelos mecânicos e matemáticos. Ele escreveu que um modelo mecânico *“pode representar a verdade em um sentido maior do que uma teoria matemática, cujos símbolos talvez só possam ser entendidos por um matemático”* (Langmuir, 1929, p. 390).

Apesar de não fazer uma distinção clara entre modelos e teorias, Langmuir criticou a ideia apresentada anteriormente, a partir da visão de que modelos mecânicos eram limitados, no sentido de que eles representavam apenas o que já era conhecido. Para ele, tais modelos não tinham a flexibilidade necessária para permitir a emergência de novas ideias sobre os fenômenos, como podia acontecer pela utilização da Matemática (Nye, 1993).

Desde aquela época, o significado de modelo tem sido discutido por cientistas, filósofos das Ciências, psicólogos, linguistas, educadores, dentre outros. Atualmente, a visão mais aceita é a de que um modelo se relaciona à representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema, criada com objetivos específicos. Tal representação pode ser usada, por exemplo, para favorecer a visualização de entidades abstratas, fazer previsões, guiar pesquisas, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação.

O desenvolvimento do conhecimento científico relativo a qualquer fenômeno relaciona-se normalmente com a produção de uma série de modelos que apresentam diferentes abrangências e poder de predição. Nesse sentido, um modelo pode ser modificado quando: (i) o conhecimento sobre a realidade se altera, o que pode acontecer, por exemplo, quando novas tecnologias permitem a obtenção de dados antes inacessíveis; (ii) as explicações e/ou previsões feitas a partir do modelo são percebidas como inadequadas; e (iii) novas formas de representação são disponibilizadas.

De acordo com Black (1962), os principais tipos de modelo em Ciências são:

- *Modelos em escala*: são parecidos com objetos materiais, sistemas ou processos, independente de estes serem reais ou imaginários, e com eles preservam proporções relativas. Quando o modelo é produzido, o foco da atenção são as proporções relativas

e não detalhes estruturais. Exemplos: *modelos de aviões, esqueletos, circuitos eletrônicos*.

- *Modelos analógicos*: representam alguns objetos materiais, sistemas ou processos designados para reproduzir, com a maior fidelidade possível, a estrutura ou teia de relações do original. Exemplo: *modelos moleculares de estruturas químicas, que são feitos a partir de bolas e palitos de plástico ou madeira*.
- *Modelos matemáticos*: aqueles que são construídos a partir de símbolos manipulados por meio de equações. Exemplo: *modelo matemático para um gás ideal, obtido usando-se os símbolos relativos às propriedades de um gás (temperatura, volume, pressão), de modo a representar suas relações em uma equação matemática ($PV = nRT$)*.

MODELOS E TEORIAS

Em Ciências, as ideias não existem isoladamente, mas relacionadas umas com as outras, constituindo uma rede de saberes que se entrelaçam em diferentes pontos. Considerando que modelos podem ser definidos, de uma forma geral, como *representações dessas ideias*, a proposição de tal rede faz com que esses modelos sejam representações amplas e dinâmicas. Sendo assim, concordamos com Toulmin (1953) quando ele afirma que:

Na verdade, uma grande virtude de um bom modelo é que ele sugere questões adicionais, nos conduzindo para além do fenômeno com o qual nós começamos e nos estimulando a formular hipóteses que se tornam experimentalmente férteis. (Toulmin, 1953, p. 38)

Isto aponta para o *papel de modelos no desenvolvimento de teorias*. Este aspecto não tem sido focalizado de forma explícita em muitas discussões sobre modelos na área da Educação em Ciências. Snow (1973), por exemplo, afirma que teoria e modelo *“podem ser considerados sinônimos quando usados para rotular construções teóricas expressas como postulados formais”* (Snow, 1973, p. 81). Nessa perspectiva, um modelo pode ser algo que apareça depois da construção da teoria. Todavia, essa não é a visão mais comum. O que mais frequentemente tem sido dito é que teorias são derivadas de modelos (Gilbert & Boulter, 1995; Lind, 1980; McMullin, 1968; Nersessian, 1992; Norman, 1983).

Um exemplo relevante, descrito por McMullin (1968), pode contribuir para melhorar a compreensão da distinção entre modelos e teorias. A partir dos resultados dos experimentos conduzidos pela equipe de Rutherford e da ideia de quantização de energia introduzida por Planck, Bohr propôs um modelo muito original para o átomo de hidrogênio. De acordo com o

seu modelo, o átomo de hidrogênio é uma estrutura constituída por um núcleo – no qual estaria concentrada praticamente toda a massa e a carga positiva do átomo – e, ao redor desse núcleo, existiria um único elétron – a carga negativa. Esse elétron pode estar somente em certas órbitas, que apresentariam energia crescente à medida que estivessem mais afastadas do núcleo. Quando o elétron passasse de uma órbita para outra, ele iria irradiar uma quantidade específica de energia. A partir deste modelo simples, Bohr desenvolveu sua teoria atômica, isto é, um conjunto de proposições que discutem como o modelo se comportaria em diferentes condições e, conseqüentemente, explicam o comportamento do átomo de hidrogênio.

Neste exemplo, o modelo claramente orienta as predições e a elaboração de hipóteses que resultam na proposição da teoria atômica de Bohr e, conseqüentemente, em modificações nessa teoria. Esse exemplo também torna claro que *o modelo é a estrutura na qual se baseia a construção da teoria*.

MODELOS E A QUÍMICA²⁸

Como a Química se relaciona com as propriedades e transformações da matéria, os químicos são, essencialmente, construtores de modelos que buscam explicar essas transformações. Ao fazerem isso, eles tentam fazer previsões sobre as condições necessárias tanto para a ocorrência de transformações desejáveis quanto para se evitar transformações indesejáveis. Os químicos elaboram modelos para os fenômenos que observam e para as ideias com as quais eles tentam explicar tais fenômenos – e isso nos níveis macroscópico e submicroscópico – através do uso de analogias com domínios já conhecidos.

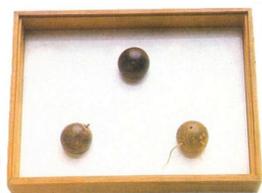
Parece que as ideias químicas têm sido visual, matemática ou verbalmente modeladas desde que elas começaram a ser produzidas. Entretanto, a produção do primeiro modelo concreto por John Dalton no início do século 19 – com o objetivo de ilustrar suas ideias – foi um marco no modo como modelos têm contribuído para o desenvolvimento do conhecimento químico.

O químico holandês van't Hoff usou modelos de tetraedros unidos pelas pontas, vértices ou faces (representando as ligações simples, duplas ou triplas), em 1874, para

²⁸ Texto baseado em: Justi, R., & Gilbert, J. K. (2003). Models and Modelling in Chemical Education. In J. K. Gilbert, R. Justi, D. F. Treagust, J. H. van Driel & O. de Jong (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47-68). Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

descrever os isômeros óticos²⁹ do ácido tartárico. Pasteur tinha observado isômeros óticos em 1848, mas ninguém tinha sido capaz ainda de dar uma explicação estrutural para a existência dos mesmos. Os tetraedros de van't Hoff não foram prontamente aceitos. Existia um sentimento geral de que modelos moleculares eram simplesmente suposições não justificáveis. Durante os vinte primeiros anos do século 20, as teorias de valência se desenvolveram e modelos de bolas e hastes gradualmente se tornaram mais aplicados às Ciências.

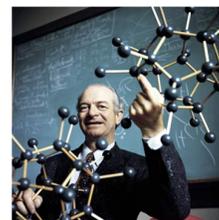
Em 1934, Stuart desenvolveu modelos *space-filling* que forneceram indicações precisas dos raios de átomos em uma molécula. Seguiu-se uma *época de ouro* para os modelos moleculares. Eles foram considerados uma ferramenta indispensável para toda a Química Orgânica nos trinta anos seguintes. Eles também se tornaram instrumental obrigatório no estudo da *estereoquímica*³⁰, das propriedades e da reatividade das substâncias, o que, por sua vez, corroborou a Teoria Atômica. Embora modelos concretos manipuláveis ainda possam ser encontrados em pesquisas, muitos de seus papéis foram gradativamente sendo ocupados por sistemas de modelagem computacional, com os muitos *softwares* já disponíveis atualmente.



**Modelos construídos
por John Dalton**



**Modelos construídos
por van't Hoff**

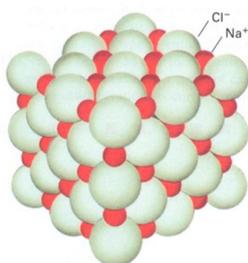


**Modelo construído
por Linus Pauling**

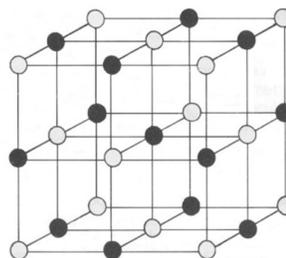
Figura 1. Exemplos de modelos importantes para o desenvolvimento do conhecimento científico e que marcaram o transcurso histórico das Ciências.

²⁹ Esse tipo de isomeria estuda compostos que possuem a mesma fórmula molecular e são opticamente ativos, se diferenciando apenas no tipo de desvio que produzem quando a luz polarizada incide sobre uma amostra dele. Para verificar se a molécula de algum composto apresenta atividade óptica, é necessário observar se a mesma possui carbono assimétrico (conhecido também como *carbono quiral*), ou seja, aquele que apresenta quatro ligantes diferentes. Além disso, essas moléculas devem representar a imagem especular uma da outra, não se sobrepondo. Os isômeros óticos são separados em dois grupos: os *levógiros* (desviam a luz polarizada para a esquerda) e os *dextrógiros* (desviam a luz polarizada para a direita).

³⁰ Parte da Química que estuda os aspectos tridimensionais das moléculas orgânicas. Os arranjos espaciais destas moléculas são muito variados, podendo explicar diversos fenômenos, tais como a isomeria geométrica (*cis* e *trans*) e a isomeria óptica.



Modelo compacto (*space-filling*)



Modelo de bolas e hastes (ou *varetas*)

Figura 2. Alguns tipos de modelos importantes na Química e ainda utilizados com bastante frequência no ensino de Ciências.

Referências Bibliográficas

Black, M. (1962). *Models and Metaphors: Studies in Language and Philosophy*. New York, NY: Cornell University Press.

Boltzmann, L. (1911). Models. In *Encyclopaedia Britannica*, 11th ed., Vol. XVIII (pp. 638-640). Cambridge: Cambridge University Press.

Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (1995). Stretching models too far. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, 22-26 April.

Langmuir, I. (1929). Modern Concepts in Physics and their Relation to Chemistry. *Science*, 70(1817), 385-396.

Lind, G. (1980). Models in Physics: Some Pedagogical Reflections based on The History of Science. *European Journal of Science Education*, 2(1), 15-23.

McMullin, E. (1968). What do Physical Models Tell Us? In B. van Rootselaar (Ed.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science III* (pp. 385-396). Amsterdam: North-Holland.

Nersessian, N. J. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Norman, D. A. (1983). Some Observations on Mental Models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 7-14). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Nye, M. J. (1993). *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry*. Berkeley: University of California Press .

Snow, R. E. (1973). Theory Construction for Research on Teaching. In R. M. W. Travers (Ed.), *Second Handbook of Research on Teaching* (pp. 77-112). Chicago: Rand McNally College Publishing Company.

Toulmin, S. (1953). *The Philosophy of Science*. London: Hutchinson.

APÊNDICE II

Atividade 2

MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA

SOBRE ANÕES, REFRIGERANTES E MODELOS CIENTÍFICOS

O professor Attico Chassot, em seu livro *Catalisando transformações na educação*, conta-nos uma história para explicar o funcionamento de uma máquina de vender refrigerantes gelados. Para isso, constrói um modelo:

Um modelo é uma situação provável e não algo certo ou acabado. Vou ilustrar isso com um exemplo que aprendi com Donald Sebera. Suponha que se queira fazer o modelo de uma destas máquinas automáticas que servem refrigerante, quando se coloca uma moeda.

Posso imaginar (e lembre-se sempre que imaginar é fazer imagens) que dentro da mesma existia um anão que, ao receber a moeda, abre uma torneira e serve o refrigerante. Vou submeter o meu modelo a um teste.

Deixo a máquina desligada, coloco a moeda e não é servido refrigerante. A explicação é a seguinte: dentro da máquina está escuro, o anão não vê a moeda e deixa de servir refrigerante. Se a máquina for ligada imediatamente, ao colocar uma moeda ela volta a servir, pois então o anão volta a ver a moeda. Os testes que fiz permitem afirmar que é provável que o meu modelo esteja certo.

Vou fazer outro teste. Desligo a máquina por duas horas. Religo-a. Coloco a moeda e imediatamente a máquina não serve refrigerante. A máquina começa a trabalhar e, decorrido um tempo, ao ser inserida uma moeda, o refrigerante é servido. Explico: no interior inicialmente estava escuro, o anão dormiu e, por isso, ao ser ligada a máquina, ele não serviu logo o refrigerante. Após algum tempo, com o barulho da máquina, ele acordou e voltou a servir. Mais uma vez concluo que, provavelmente, meu modelo está certo. (Sabe-se que na máquina existe um sensor de temperatura que não permite a saída de refrigerante quente, por isso que este não é servido logo ao religar-se.)

Mas façamos um outro teste no meu modelo de máquina de servir refrigerante. Deixemos a máquina desligada e lacrada por vários dias. Voltemos a ligá-la. Após algum tempo, ao ser colocada uma moeda, a máquina volta a servir refrigerante. Isso me leva a abandonar o meu modelo, pois o anão não teria resistido sem pelo menos consumir todo o refrigerante. Assim há a necessidade de se fazer um modelo de máquinas automáticas de servir refrigerante que não tenham anõezinhos dentro.

(Texto adaptado de CHASSOT, Attico Inácio. Catalisando transformações na educação. Ijuí: Unijuí, 1993. p. 118.)

“Em nosso esforço para compreender a realidade somos semelhantes a um homem tentando compreender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, até ouve o seu tique-taque, mas não tem meio algum de abrir a caixa. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem de um mecanismo que poderia ser responsável por todas as coisas que observa, mas jamais poderá estar certo de que sua imagem seja a única capaz de explicar suas observações.”

Albert Einstein & Leopold Infeld

APÊNDICE III

Atividade 3 – Utilização de Modelos no Ensino de Química

MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA³¹

Tendo em vista o processo de ensino e aprendizagem das Ciências e outros aspectos discutidos em nossas aulas, é possível sintetizar os objetivos para o Ensino de Química, na perspectiva proposta por Hodson (1992)³², como: *aprender Ciências* – compreender o conhecimento científico conceitual; *aprender sobre Ciências* – compreender os aspectos relacionados à Filosofia, História e Metodologia das Ciências; e *fazer Ciências* – participar de atividades que envolvam a elaboração do conhecimento científico.

Tais objetivos não podem ser articulados de forma isolada. Considerando, por exemplo, que a capacidade de um indivíduo para usar os processos da Ciência depende de sua compreensão teórica da própria Ciência, o ensino que busca o desenvolvimento de habilidades processuais não se desvincula do ensino que visa o desenvolvimento conceitual. Em outras palavras, a aprendizagem de processos científicos muda a compreensão conceitual de um indivíduo. Assim, é possível pensar que um currículo possa ser apresentado integrado quando os alunos usam os processos e métodos das Ciências para investigar fenômenos e confrontar problemas como forma de melhorar e desenvolver suas compreensões sobre aspectos científicos. Nesse caso, os alunos adquirem uma compreensão mais profunda da atividade científica (o *fazer Ciências*) e a investigação se torna um caminho tanto para *aprender Ciências* quanto para *aprender sobre Ciências*. Em relação ao *fazer Ciência*, quando desenvolve uma ideia o cientista a submete a diferentes avaliações (através de observações, experimentações, comparações com outras ideias etc.). Em tal processo, novas ideias são elaboradas, novos experimentos são propostos, a ideia original é modificada de alguma forma ou o problema sob investigação é reformulado. Assim, a atividade científica se torna holística, dinâmica, interativa, reflexiva, pressupondo um constante desafio de pensamentos e ações, e não uma

³¹ Texto adaptado a partir do material produzido pela profa. Dra. Rosária Justi, do Departamento de Química e do Programa de Pós Graduação em Educação da UFMG, para o projeto de pesquisa *Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação*.

³² 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.

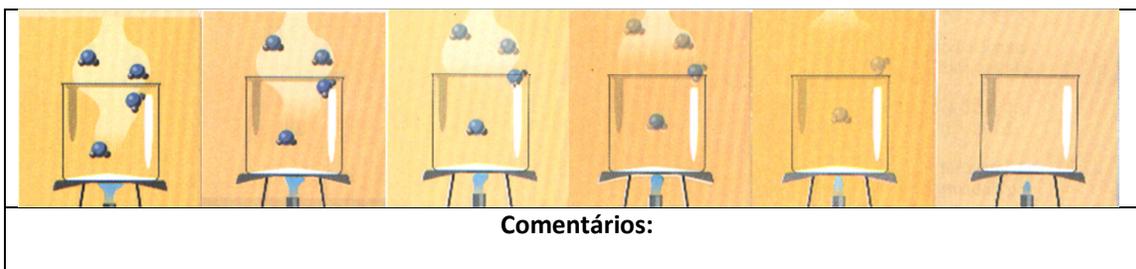
questão de seguir uma série de regras que requerem comportamentos particulares em estágios específicos, de modo que os alunos consigam compreender o sentido de:

- *aprender Ciências* – saber sobre a natureza, abrangência e limitações dos principais modelos científicos (sejam eles *consensuais*, isto é, aceitos pela comunidade científica atualmente, ou *históricos*, aqueles que foram aceitos em um determinado contexto);
- *aprender sobre Ciências* – ter a capacidade de avaliar o papel dos diferentes modelos no desenvolvimento e disseminação dos resultados da pesquisa científica;
- *aprender a fazer Ciências* – ter a capacidade de criar, expressar e testar seus próprios modelos.

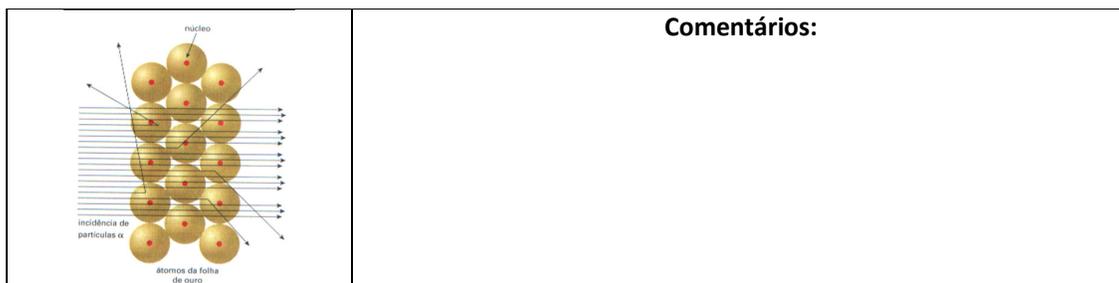
Em relação aos *modelos de ensino*, eles são representações criadas com o objetivo específico de ajudar os estudantes a entender aspectos do *modelo curricular*³³. Dentre tais modelos, os desenhos e esquemas são, provavelmente, os mais comuns.

Os desenhos apresentados a seguir foram extraídos de livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio. Analise-os e comente cada um deles, destacando **aspectos positivos e negativos** dos mesmos como *modelos de ensino*.

Exemplo 1: *Desenho animado representando a evaporação da água.*

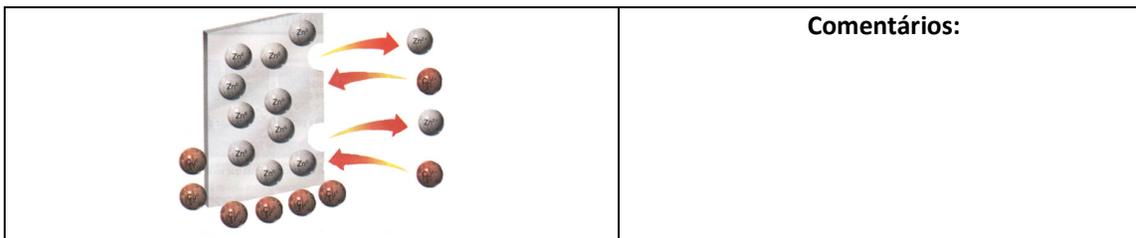


Exemplo 2: *Lâmina de ouro sendo incidida por partículas alfa.*

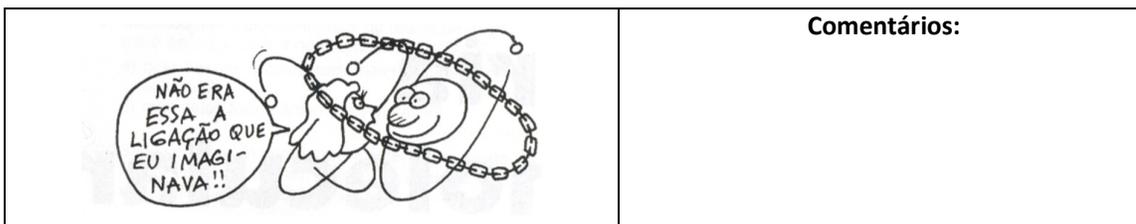


³³ De acordo com Gilbert, Boulter e Elmer (2000), *modelos curriculares* são aqueles que se espera ser o objeto de aprendizagem dos estudantes, representando uma forma simplificada dos *modelos científicos*.

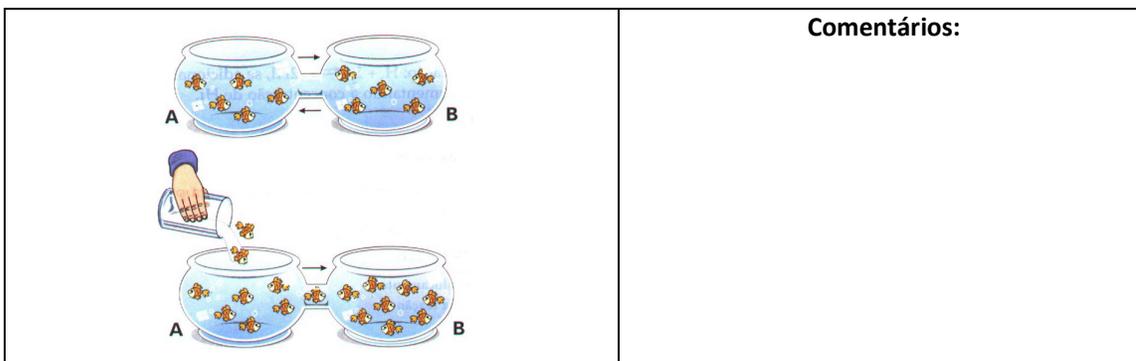
Exemplo 3: Representação da reação de oxi-redução entre o zinco e o cobre.



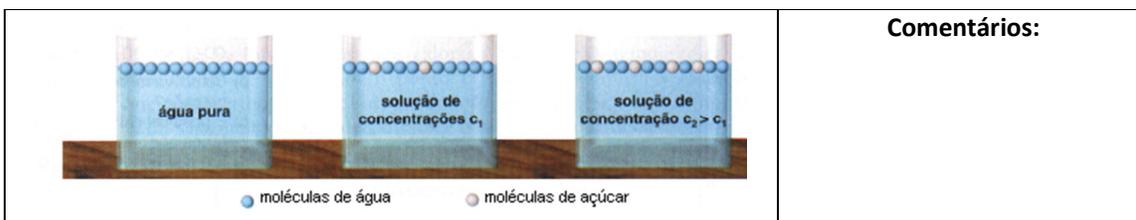
Exemplo 4: Charge para representar a formação de uma ligação química.



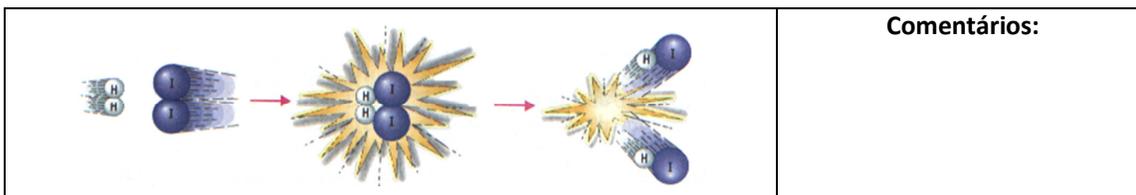
Exemplo 5: Analogia utilizada para explicar o Equilíbrio Químico.



Exemplo 6: Sistemas líquidos contendo água pura e solução com açúcar.



Exemplo 7: Mecanismo para representar a ocorrência de uma reação química.



APÊNDICE IV

Atividade 4 – Construção de Modelos no Âmbito Geral³⁴

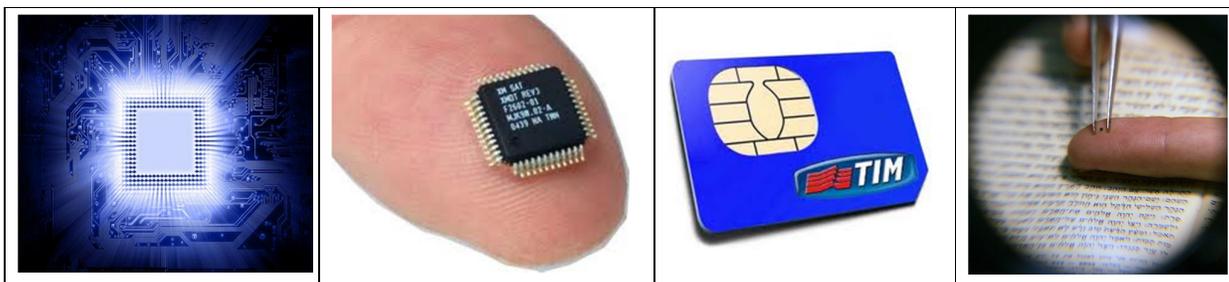
ATIVIDADES DE MODELAGEM

Tecnologia (do grego *τεχνη* — *técnica, arte, ofício* e *λογία* — *estudo*) é um termo que envolve o conhecimento técnico e científico e as ferramentas, processos e materiais criados e/ou utilizados a partir de tais conhecimentos. A tecnologia é, de forma geral, o encontro entre Ciência e Engenharia, sendo um termo que abrange desde as ferramentas e processos simples, tais como uma colher de madeira e a fermentação da uva, até as ferramentas e processos mais complexos já criados pelo homem, como os fantásticos microchips que armazenam milhares de bytes em informações das mais variadas formas (textos, imagens, músicas, vídeos).

Nessa atividade, vamos focar a atenção nos microchips, presentes em celulares, computadores, aparelhos que armazenam músicas e vídeos, dentre outros tantos desenvolvidos com o auxílio da tecnologia moderna.

1. Elabore um modelo que tente explicar como as informações ficam armazenadas no interior de um CHIP. Expresse seu modelo usando palavras e/ou desenhos.
2. Muitas vezes os cientistas, ou nós mesmos, construímos modelos para entidades não acessíveis.

Observe a imagem de alguns CHIPS.



³⁴ Essa atividade foi inspirada em propostas utilizadas na pesquisa de Mestrado desenvolvida pela profa. Dra. Poliana Flávia Maia e no projeto de formação continuada de professores, coordenado pela profa. Dra. Rosária Justi. Entretanto, os objetos modelados eram diferentes em cada situação. No primeiro caso, utilizou-se como exemplo o funcionamento de uma Televisão e no segundo a explicação para o chocolate Sufflair® ser aerado. Na presente situação, optou-se por utilizar como exemplo os CHIPS por considerar que essa tecnologia se faz presente na vida da maioria das pessoas, sendo assim mais contextual.

A partir dessa observação, você acha que algum aspecto de seu modelo precisa – ou pode – ser modificado? Por quê? Como?

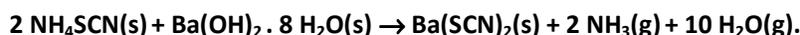
3. Descreva as etapas que você seguiu para construir seu modelo final.
4. Se você tivesse recursos computacionais à sua disposição, seu modelo seria diferente? Em que aspectos?
5. Que dificuldades você teve durante o processo? Como você lidou com elas?
6. Supondo que você fosse um estudante do Ensino Médio vivenciando um processo análogo, ou seja, aprendendo sobre algo desconhecido e tendo que fazer um modelo para isso, o que você teria aprendido com a realização dessa atividade?
7. Após finalizar essa atividade, que diferenças você percebe entre receber um modelo pronto e elaborar um modelo e discuti-lo com o grupo de colegas?

APÊNDICE V

Atividade 5 – Processo de Construção Social de Modelos nas Ciências

MODELAGEM NAS CIÊNCIAS

Em uma aula de Química para a 2ª Série do Ensino Médio, o professor demonstrou aos seus alunos duas transformações químicas, sendo uma delas caracterizada como endotérmica e a outra como exotérmica. O primeiro experimento demonstrado pelo professor apresentava a transformação química caracterizada como endotérmica, sendo um processo resultante da reação do tiocianato de amônio (NH_4SCN) com o hidróxido de bário hidratado ($\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), conforme a descrição presente na seguinte equação química:



Os alunos perceberam um resfriamento abrupto que foi sentido no contato com a parede externa do tubo de ensaio onde o experimento foi realizado, aspecto que evidenciava a ocorrência de uma transformação química no sistema. A temperatura do sistema também foi verificada antes e depois da execução do experimento, com o auxílio de um termômetro, comprovando a diminuição na temperatura do mesmo. Além dessa evidência, o forte cheiro de amônia foi bastante perceptível na sala de aula, 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 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) quando se adicionou a ele ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), que é um forte agente desidratante. Após a reação, houve a liberação para o ambiente de vapor d'água e trióxido de enxofre (SO_3), sendo este último percebido pela sensação irritante causada por esse 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 1.

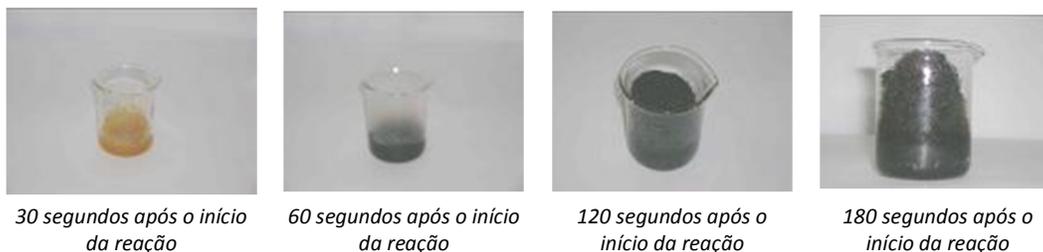
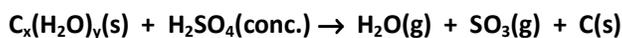


Figura 1. Sequência de fotos com a evolução da transformação química ocorrida entre $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{conc.})$ + açúcar, em um determinado intervalo de tempo.

Considerando-se que os carboidratos são caracterizados pela fórmula geral $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$, o processo em questão pode ser descrito pela equação não balanceada a seguir:



Após a realização dos experimentos, alguns alunos intrigados com as transformações químicas observadas, apresentaram os seguintes questionamentos:

- *Como o sistema pode ter resfriado se ele não foi colocado na geladeira?*
- *Como o sistema pode ter esquentado se ele não foi submetido ao aquecimento?*
- *Qual a origem do calor proveniente da reação entre o ácido sulfúrico e o açúcar?*

Um determinado aluno, intrigado com os questionamentos apresentados, lembrou que em uma das aulas de Química ministradas anteriormente, o professor disse que quanto menor a energia dos compostos, maior a sua estabilidade. E que as reações acontecem para que os sistemas se tornem mais estáveis, ou seja, com menor energia. Na sequência a esse comentário, o referido aluno apresentou o seguinte questionamento: *Como pode ser possível acontecer uma transformação química endotérmica, se durante o processo o sistema absorve energia do meio? Teoricamente, ao absorver energia do meio o sistema não ficaria menos estável? Isso não representaria uma incoerência?*

Por fim, uma aluna aproveitou o questionamento apresentado por esse aluno e foi bastante enfática ao dizer para o professor que não concordava com as classificações atribuídas por ele aos fenômenos observados. Para justificar a sua discordância, ela trouxe o seguinte argumento: *você nos disse em aulas anteriores que nos processos exotérmicos o calor é liberado para o meio. Mas isso não pode ter acontecido, considerando que o sistema se aqueceu. Se o calor tivesse sido liberado para o meio, o sistema teria que ter resfriado, pois o calor saiu dele!*

Diante dos vários comentários e questionamentos apresentados, o professor disse que na próxima aula iria trazer alguns materiais para elaborar modelos que o auxiliaria a construir uma explicação mais palpável para os questionamentos apresentados.

Na aula seguinte, então, chegou o professor à sala de aula com esferas de isopor, palitos de dente, lápis de cor e massa de modelar. Todos esses materiais iriam auxiliá-lo a construir modelos que permitissem apresentar uma explicação pertinente aos questionamentos apresentados pelos alunos na aula anterior.



Mas antes de iniciar a elaboração dos modelos, o professor solicitou que os alunos respondessem as seguintes questões:

1. Observamos, na aula passada, 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 resfrie ou aqueça. **EXPLIQUE** seus desenhos.

MODELO 1 – SISTEMA AQUECIDO	MODELO 2 – SISTEMA RESFRIADO
EXPLICAÇÃO DOS MODELOS	

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.

ORIENTAÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE

SUPONDO QUE VOCÊ SEJA O PROFESSOR DESSA TURMA, **UTILIZE OS MATERIAIS DISPONÍVEIS** (ESFERAS DE ISOPOR, PALITOS DE MADEIRA, LÁPIS DE COR E MASSA DE MODELAR) E CONSTRUA MODELOS, DE MODO A TENTAR ELABORAR EXPLICAÇÕES PARA ELUCIDAR AS DÚVIDAS APRESENTADAS NA AULA ANTERIOR. ESSA ATIVIDADE DEVE SER REALIZADA EM GRUPO, PARA QUE AO FINAL DA AULA CADA MODELO SEJA DISCUTIDO COM TODA A TURMA, BUSCANDO CONSTRUIR UM MODELO CONSENSUAL, QUE POSSUA ATRIBUTOS QUE ESTEJAM MAIS PRÓXIMOS DA EXPLICAÇÃO CIENTÍFICA (MODELO CURRICULAR).

APÊNDICE VI

Atividade 6 – Avaliação Final do Processo de Ensino

QUESTÕES PROPOSTAS

1) Em uma determinada aula de Química na 2ª Série do Ensino Médio, o professor realizou a carbonização do açúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$), adicionando a ele ácido sulfúrico (H_2SO_4). A reação ocorrida no sistema liberou para o ambiente vapor d'água e trióxido de enxofre (SO_3), sendo esse último percebido pela sensação irritante causada por este gás nos olhos, vias orais e nasais. A liberação de gás fez com que o carbono, um dos produtos da reação, expandisse seu volume, conforme apresentado na figura 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

Ao final do processo, o professor passou o béquer entre os alunos para que eles percebessem o aquecimento intenso do recipiente. Em seguida, pediu a eles que elaborassem uma explicação para a transformação química observada, caracterizando o processo como exotérmico.

Em grupo, os alunos começaram a discutir as possíveis causas do aquecimento intenso provocado pela reação. Ao final, um dos grupos apresentou a seguinte conclusão: *“De acordo com o modelo cinético molecular, quanto mais afastadas estiverem as partículas, maior a sua energia cinética. Quanto mais juntas, menor a sua energia cinética. Considerando que a energia cinética do sistema se refere à temperatura, é possível concluir que a expansão observada no sistema contendo açúcar e ácido sulfúrico pode ser explicada pela agitação nas partículas, permitindo que elas fiquem com mais energia, que é percebida na forma de calor.”*

Supondo que você seja o(a) professor(a) dessa turma, como discutiria com o grupo a consistência ou não da explicação apresentada para a referida transformação química?

- 2) Em nossas últimas aulas, foi proposta a realização da seguinte atividade: *“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 resfrie ou aqueça**. EXPLIQUE seus desenhos.”*
- A) Suponha que o trecho *“... **o sistema resfrie ou aqueça**”* fosse substituído por *“... **o sistema absorva ou libere calor**”*. Você percebe algum possível problema nessa nova formulação? **JUSTIFIQUE** sua resposta, discutindo ou não os eventuais problemas que você identificou.
- B) Para se trabalhar os processos termoquímicos no Ensino Médio, qual das duas formas você julga ser mais adequada para ser apresentada aos alunos: **o sistema se resfria / se aquece** ou **libera / absorve calor**? **JUSTIFIQUE** sua resposta.
- 3) **LEIA** atentamente o trecho extraído de parte da atividade realizada ao longo das nossas últimas aulas.

Após a realização dos experimentos [processos endotérmico e exotérmico], alguns alunos intrigados com as transformações químicas observadas, apresentaram os seguintes questionamentos:

- *Como o sistema pode ter resfriado se ele não foi colocado na geladeira?*
- *Como o sistema pode ter esquentado se ele não foi submetido ao aquecimento?*
- *Qual a origem do calor proveniente da reação entre o ácido sulfúrico e o açúcar?*

Um determinado aluno, intrigado com os questionamentos apresentados, lembrou que em uma das aulas de Química ministradas anteriormente, o professor disse que quanto menor a energia dos compostos, maior a sua estabilidade. E que as reações acontecem para que os sistemas se tornem mais estáveis, ou seja, com menor energia. Na sequência a esse comentário, o referido aluno apresentou o seguinte questionamento: Como pode ser possível acontecer uma transformação química endotérmica, se durante o processo o sistema absorve energia do meio? Teoricamente, ao absorver energia do meio o sistema não ficaria menos estável? Isso não representaria uma incoerência?

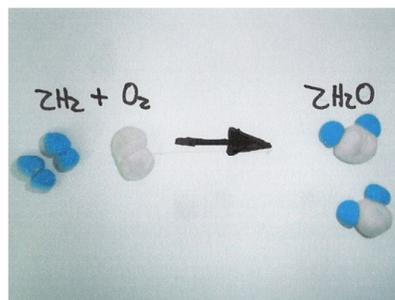
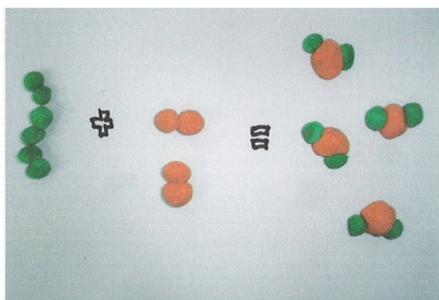
Por fim, uma aluna aproveitou o questionamento apresentado por esse aluno e foi bastante enfática ao dizer para o professor que não concordava com as classificações atribuídas por ele aos fenômenos observados. Para justificar a sua discordância, ela trouxe o seguinte argumento: você nos disse em aulas anteriores que nos processos exotérmicos o calor é liberado para o meio. Mas isso não pode ter acontecido, considerando que o sistema se aqueceu. Se o calor tivesse sido liberado para o meio, o sistema teria que ter resfriado, pois o calor saiu dele!

Durante as atividades propostas, foi possível utilizar objetos cotidianos (esferas de isopor, massa de modelar, palitos, lápis de cor) que auxiliaram na explicação das questões apresentadas pelos alunos. Durante as discussões, modelos foram construídos com os objetos disponíveis e, por meio da socialização dos mesmos, reformulados de modo que pudessem ter atributos mais próximos do modelo científico utilizado para explicar os fenômenos observados (*modelo curricular*). Tais modelos podem ser considerados recursos mediacionais no processo de construção do conhecimento.

Considerando o trabalho desenvolvido nas aulas, responda:

- A) Como os objetos disponíveis favoreceram a dinâmica estabelecida em sala de aula e na proposição das explicações para os fenômenos termoquímicos apresentados (Processos Endotérmicos e Exotérmicos)?
- B) Quais as vantagens e desvantagens em se utilizar os modelos na explicação desses processos?
- C) Quando a aluna diz ao professor: “[...] *você nos disse em aulas anteriores que nos processos exotérmicos o calor é liberado para o meio. Mas isso não pode ter acontecido, considerando que o sistema se aqueceu. Se o calor tivesse sido liberado para o meio, o sistema teria que ter resfriado, pois o calor saiu dele!*”, qual é a melhor forma para ajudá-la a reformular a ideia apresentada? Os modelos ajudam nesse processo de reformulação conceitual?
- 4) O flúor (F₂) e o hidrogênio (H₂) são gases à temperatura ambiente e reagem explosivamente, produzindo o gás fluoreto de hidrogênio (HF), com um saldo energético final de 537 kJ.mol⁻¹. 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 submicroscópico, para o saldo energético final desse processo, caracterizando-o como endotérmico ou exotérmico.
- C) Sabendo-se que a energia da ligação **F-F** é igual a 158 kJ.mol⁻¹ e a da ligação **H-H** é 432 kJ.mol⁻¹, **DETERMINE** a energia da ligação **H-F**.
- 5) A seguir, são apresentados dois modelos para a reação de combustão do gás hidrogênio, conforme equação destacada a seguir, elaborados com a utilização de massa de modelar, por estudantes do Ensino Médio.





Analisando esses modelos e considerando as discussões empreendidas em nossas aulas, responda as questões a seguir.

- A) Como você avalia os dois modelos propostos? Destaque aspectos positivos e negativos dessas representações.
- B) Nos modelos apresentados pelos alunos, não há qualquer referência à energia envolvida no processo descrito. Como você avalia essa ausência?
- 6) 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 representada da seguinte maneira:



- A) Como você explicaria a um estudante do Ensino Médio que a queima do álcool **libera** energia, de modo que ele compreendesse o fenômeno químico em questão?
- B) Você acredita que a palavra "**libera**" nesse contexto pode ser substituída por alguma outra que melhor represente o processo energético que ocorre no sistema? Qual? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

APÊNDICE VII

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA ÁREA DE EDUCAÇÃO DESTINADO A ESTUDANTES DE LICENCIATURA EM QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Título do Projeto: “Modelagem, História das Ciências e possibilidades de reconstrução dos conhecimentos científicos no processo de formação dos professores de Química da UFV”

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

Contatos: e-mail: orlando@fae.ufmg.br / fone: (31) 3409-5332

Pesquisador Co-responsável: Vinícius Catão de Assis Souza

Contatos: e-mail: vcasouza@ufv.br / fone: (31) 3899-4888

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo que você participará:

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa que analisará as contribuições da Modelagem, da História das Ciências e das possibilidades de reconstrução dos conhecimentos científicos no processo de formação dos professores de Química. Assim, os resultados deste estudo poderão contribuir para que outros professores possam aprimorar suas atividades em sala de aula, colaborando para o aprimoramento no processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos científicos.

Os procedimentos de pesquisa, caso haja consentimento dos envolvidos, envolverão:

- i. coleta e reprodução de tarefas realizadas durante as aulas teóricas da disciplina **Instrumentação para o Ensino de Química II (QUI 344)**;
- ii. filmagem das atividades realizadas nas salas de aula para posterior transcrição e análise dos processos de ensino e aprendizagem;
- iii. entrevistas com alguns dos estudantes participantes da pesquisa.

Na comunicação dos resultados da pesquisa, os nomes dos participantes serão retirados de todos os trabalhos e substituídos por nomes fictícios ou códigos envolvendo letras e números. Os pesquisadores se comprometem, ainda, a utilizar os dados aqui coletados apenas para fins desta pesquisa.

Concluída a pesquisa, os dados coletados estarão arquivados no Banco de Dados do Grupo **Linguagem e Cognição em Salas de Aula de Ciências** e serão utilizados apenas para novas pesquisas quando consentidas pelo COEP-UFMG, seguindo os mesmos cuidados éticos na preservação da identidade dos envolvidos.

Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com os pesquisadores responsáveis através dos telefones e endereços eletrônicos fornecidos nesse termo. Informações adicionais podem ser obtidas no Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo telefone (31) 3409-4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627 – Unidade Administrativa II, 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – CEP: 31270-901.

2. Esta seção descreve os seus direitos como participante desta pesquisa:

- Você pode fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões deverão ser respondidas.

- A participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso a sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a identificação será revelada.
- A sua participação é voluntária. Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder questões específicas sem qualquer punição.
- Este estudo envolverá a gravação em áudio e vídeo. Apenas os pesquisadores terão acesso aos registros coletados.
- Este estudo não envolve qualquer risco para a saúde mental ou física dos participantes.

3. Esta seção indica que você está dando seu consentimento para participar da pesquisa:

PARTICIPANTE:

O pesquisador Vinícius Catão de Assis Souza, aluno do curso de Doutorado em Educação, Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação (FaE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e seu orientador, o prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior (FaE-UFMG) solicitaram a minha participação neste estudo intitulado **“Modelagem, História das Ciências e possibilidades de reconstrução dos conhecimentos científicos no processo de formação dos professores de Química da UFV”**.

Eu concordo em participar desta investigação, autorizo a utilização de trabalhos produzidos nas aulas de **Instrumentação para o Ensino de Química II (QUI 344)**, o registro em áudio e vídeo das atividades realizadas em sala de aula e a participação em entrevistas, caso seja necessário.

Estou ciente, ainda, que os registros em áudio e vídeo farão parte de um banco de dados que poderão ser utilizados em outras pesquisas do grupo ao qual os pesquisadores fazem parte, para estudo e compreensão dos processos de ensino e aprendizagem das Ciências, respeitando os mesmos procedimentos de preservação da identidade dos informantes, mediante autorização específica do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG.

Eu li e compreendi as informações fornecidas. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como foram descritas. Eu entendo que receberei uma cópia assinada deste formulário de consentimento. Eu, voluntariamente, aceito participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que foi exposto anteriormente e dou meu consentimento.

_____, _____ de _____ de 2012.

NOME LEGÍVEL: _____.

ASSINATURA: _____.

PESQUISADORES: Nós garantimos que este procedimento de consentimento foi seguido e que todas as questões apresentadas pelos participantes da pesquisa foram respondidas de forma elucidativa, não deixando qualquer dúvida sobre o trabalho realizado.

_____, _____ de _____ de 2012.

Assinatura do Orientador da Pesquisa
Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

Assinatura do Pesquisador co-responsável
Vinícius Catão de Assis Souza

APÊNDICE VIII

Carta de anuência da Universidade Federal de Viçosa para a realização da pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

Campus Universitário – Viçosa, MG – 36570-000 – Contatos: (31) 3899-3069 ou deq@ufv.br

Viçosa, 27 de Março de 2012.

ASSUNTO: Carta de anuência da Universidade Federal de Viçosa para realização de pesquisa na disciplina de *Instrumentação para o Ensino de Química II (QUI 344)*.

Ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais.

Venho por meio desta expressar que o Departamento de Química da Universidade Federal de Viçosa tem ciência da pesquisa que será realizada pelo **prof. Vinícius Catão de Assis Souza** com os estudantes da disciplina de **Instrumentação para o Ensino de Química II (QUI 344)**, da qual ele é professor.

A Universidade Federal de Viçosa concede anuência para a coleta dos dados, que serão posteriormente utilizados na pesquisa de doutorado do professor, reconhecendo que esta pesquisa poderá trazer importantes contribuições para o trabalho docente na instituição e, particularmente, para as ações futuras de formação de professores de Ciências/Química.

Por fim, ressaltamos que a coleta de dados deverá ser feita respeitando a ética na pesquisa, tendo todos(as) os(as) estudantes liberdade para participar ou não da pesquisa, sem ônus algum para as atividades acadêmicas da disciplina. Além disso, os estudantes que aceitarem participar deverão assinar um Termo de Consentimento Livre Esclarecido, documentando o aceite da participação, como apresentado pelo professor em sua proposta inicial.

Prof. Antônio Jacinto Demuner
Chefe do Departamento de Química da UFV