

Poliana Flávia Maia Ferreira

**MODELAGEM E SUAS  
CONTRIBUIÇÕES PARA O  
ENSINO DE CIÊNCIAS:  
UMA ANÁLISE NO ESTUDO DE  
EQUILÍBRIO QUÍMICO**

Belo Horizonte  
2006

Poliana Flávia Maia Ferreira

**MODELAGEM E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O  
ENSINO DE CIÊNCIAS: UMA ANÁLISE NO  
ESTUDO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO**

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

Linha de Pesquisa: Espaços Educativos, Produção e Apropriação de Conhecimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Rosária da Silva Justi

Belo Horizonte  
Faculdade de Educação da UFMG  
2006

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Dedico este trabalho, e tudo o que  
ele representa para mim, ao meu  
querido esposo e à minha  
dedicada orientadora.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a mola-mestre de minhas ações.

Aos meus pais, pela dedicação de uma vida.

À minha irmã e ao Paulinho, pelo apoio e companheirismo.

Ao meu esposo, Willian, pela compreensão, apoio técnico, companheirismo e muita, muita paciência. Agradeço todo o amor, carinho e dedicação.

A todos os meus familiares, por me acompanharem em toda minha caminhada, comemorando e sofrendo junto comigo. Agradeço, principalmente, a todos os momentos em que vocês me fizeram presentes em suas orações.

À melhor orientadora que eu poderia desejar, Rosária, que me incentivou em todos os momentos e foi a responsável por nascer em mim a paixão pela pesquisa em ensino. Agradeço pelos ensinamentos que me fizeram crescer como profissional e pessoa.

Ao meu amigo Vinícius, por se disponibilizar a me acompanhar durante a pesquisa em campo e pela valiosa colaboração na condução do processo.

A todos os amigos do Núcleo de Pesquisa em Ensino de Química, pelo conhecimento compartilhado e apoio.

Aos professores Alfredo e Carolina, do COLTEC, pela receptividade e auxílio.

Aos alunos do COLTEC, que participaram de maneira dedicada nesta pesquisa e no estudo piloto.

Aos professores Eduardo Mortimer e Oto Borges, pelos equipamentos utilizados na coleta de dados.

Aos professores Luciane, Juliana, Maria José, Simone, João André e Marcelo, pela análise da avaliação final.

À CAPES, pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

E a todos que se fizeram presentes durante esta caminhada, dando incentivo e força para que eu a concluísse, MUITO OBRIGADA!

*“O tempo não pára nem passa em vão  
pelos nossos sentimentos,  
mas atua sobre o nosso espírito  
de maneira surpreendente.”*  
(Santo Agostinho)

## RESUMO

Nas últimas décadas, a partir da crença de que a alfabetização científica deve incluir uma compreensão sobre a natureza e os processos através dos quais o conhecimento científico se desenvolve, pesquisadores têm enfatizado a importância de os processos de ensino e aprendizagem serem conduzidos a partir de uma perspectiva fundamentada na construção de modelos. Nesse sentido, o envolvimento de alunos (de todos os níveis educacionais) em atividades de modelagem emerge como uma parte essencial de uma abordagem mais ampla para o ensino. Nessa perspectiva, uma proposta para o ensino de equilíbrio químico foi elaborada a partir do diagrama ‘modelo de modelagem’. Esta pesquisa apresenta e discute como os alunos construíram uma visão qualitativa de equilíbrio químico quando envolvidos em um processo de ensino que favoreceu a elaboração, teste e discussão de modelos concretos que eles construíram na tentativa de explicar sistemas em equilíbrio. A pesquisa também discute a aprendizagem dos alunos sobre modelos e modelagem enquanto envolvidos nesse processo de ensino, assim como a visão que os próprios alunos tiveram sobre seus processos de aprendizagem. O estudo foi conduzido como uma pesquisa-ação em uma turma de primeiro ano do ensino médio de uma escola federal (alunos com idades entre 14-15 anos). Os dados foram coletados a partir de materiais escritos produzidos pelos alunos durante todo o processo, gravações em vídeo de todas as aulas e gravações em áudio das discussões em cada grupo de alunos. A partir da análise dos dados escritos e da participação dos alunos nas discussões, um estudo de caso foi redigido para cada grupo. A análise desses estudos de caso permitiu discutir não só sobre a aprendizagem dos alunos, mas também sobre as contribuições de cada uma das etapas do processo de ensino. O fato de o processo de ensino ter-se fundamentado no diagrama implica que a transposição de seus elementos para o ensino contribuiu para a aprendizagem na medida em que foram promovidas oportunidades para: o estabelecimento de relações entre conhecimentos prévios e novas evidências empíricas, a expressão dos modelos dos alunos em forma concreta, e a discussão de tais modelos a fim de avaliar suas adequações. Os resultados desta pesquisa também suportam recomendações para que outros conceitos químicos sejam ensinados de maneira similar e outras pesquisas sejam conduzidas nesta área a fim de ampliar o conhecimento sobre o ensino de ciências fundamentado em modelagem.

## ABSTRACT

In recent years, by advocating that scientific literacy must include an understanding of the nature and processes by which scientific knowledge is developed, some researchers have emphasised the importance of modelling-based teaching and learning. In this way, the involvement of students (at all educational levels) in modelling activities emerges as an essential part of a more comprehensive approach to learning. From this perspective, an approach to the teaching of chemical equilibrium was elaborated based on the ‘model of modelling’ framework. This research presents and discusses how students constructed a qualitative view of chemical equilibrium from building, testing, and discussing concrete models they produced in successive attempts to explain systems in equilibrium. It also discusses students’ learning about models and modelling whilst involved in this teaching, as well as how students viewed their learning process. The study was conducted as an action research into a first year class of medium school level students (14-15 years old). Data were gathered from written material produced by the students during the whole process, video recording of all classes, and audio recording of the discussions of each group of students. From the analysis of both written answers and participation of students in several discussions, a case study was elaborated for three groups of students. The following analysis of these case studies allowed us to discuss not only students’ learning, but also the contribution of each of the steps of the teaching process. The fact that the teaching approach was based on the modelling framework implies that its stages contributed to students’ learning by providing opportunities for: establishing relationships between previous knowledge and new empirical evidences, expressing new students’ ideas in a concrete way, discussing such ideas in order to evaluate their adequacy. The results of this study also support our recommendation for both the use of similar teaching approach in the teaching of other chemical concepts and the conduction of other research in this area in order to improve the knowledge about modelling-based science teaching.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1. Contextualização do estudo.....	2
2. Estrutura da dissertação.....	5
MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO ENSINO.....	6
1. Modelos na ciência e no ensino.....	7
2. O conhecimento dos alunos sobre modelos e modelagem.....	11
3. O processo de construção de modelos na ciência e no ensino.....	13
4. O ensino de equilíbrio químico.....	19
DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA.....	23
1. Questões de pesquisa.....	24
2. Considerações gerais sobre a metodologia utilizada.....	25
3. Caracterização da pesquisa.....	28
4. Planejamento e execução das aulas.....	31
INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA EQUILÍBRIO QUÍMICO.....	36
1. Introdução.....	37
2. Descrição do processo de ensino em termos químicos.....	38
3. Coleta e análise de dados.....	43
4. Grupo 3.....	46
5. Grupo 4.....	61
6. Grupo 6.....	79
7. A contribuição do processo para a aprendizagem de alguns aspectos conceituais de equilíbrio químico: Análise dos três estudos de caso.....	95
INVESTIGANDO O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS.....	101
1. Introdução.....	102
2. Descrição do processo de ensino relativo a modelos.....	102
3. Coleta e análise de dados.....	105
4. O aprendizado de modelos e modelagem.....	114
INVESTIGANDO A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO PROCESSO DE APRENDIZADO.....	117

1. Introdução.....	118
2. Metodologia de coleta e análise de dados .....	118
3. Análise dos dados .....	119
4. A percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado .....	124
CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA .....	125
1. Interfaces das questões de pesquisa.....	126
2. O processo à luz do diagrama ‘modelo de modelagem’: ações para seu desenvolvimento.....	128
3. O desenvolvimento de pesquisas na área: uma demanda do ensino.....	133
4. A avaliação do aprendizado sobre modelos e modelagem.....	134
5. A visão dos alunos sobre o processo de construção do conhecimento científico. ....	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	137
ANEXOS .....	143
ANEXO I.....	143
ANEXO II.....	144
ANEXO III .....	145
ANEXO IV .....	146
ANEXO V .....	147
ANEXO VI.....	148
ANEXO VII.....	149
ANEXO VIII .....	150
ANEXO IX.....	151
ANEXO X .....	152
ANEXO XI.....	153

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	2
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5

## INTRODUÇÃO

### 1. Contextualização do estudo

Nas últimas décadas muitos estudos e propostas curriculares têm defendido a necessidade de promoção na educação de um ensino que contribua significativamente para a formação dos indivíduos (Brasil, 1999; Millar & Osborne, 1998). Isso porque o conhecimento que os estudantes adquirem a partir da instrução tradicional tende a ser fragmentado e difuso, não indo além da memorização de fatos, equações ou procedimentos. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) afirmam que:

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

Em ciências, em específico, várias discussões têm ocorrido a respeito da importância de seu ensino e de como esse ensino tem sido promovido (Wellington, 2001; Hodson, 2003, por exemplo). Alguns documentos como *Beyond 2000: Science Education for the Future* (Millar & Osborne, 1998), *Science for All Americans* (AAAS, 1989), e os PCN (Brasil, 1999), têm apresentado novas diretrizes e novos objetivos para o ensino. *Science for All Americans* definiu uma pessoa cientificamente instruída como:

*“alguém que é ciente de que ciência, matemática e tecnologia são empreendimentos humanos interdependentes com poderes e limitações; entende conceitos chave e princípios da ciência; é familiarizado com o mundo natural e reconhece tanto sua unidade como sua diversidade; e usa o conhecimento científico e caminhos científicos do pensamento para propósitos individuais e sociais.” (AAAS, 1998, p. 4)*

Uma outra questão abordada por esses documentos é a necessidade de inserção do estudante em seu processo de aprendizagem, deixando de ser um mero receptor de informações e passando a participar ativamente de seu processo de formação. Faz parte dessa nova perspectiva a promoção de um ensino mais significativo, que ajude os estudantes a desenvolver um entendimento mais coerente, flexível, sistemático e,

principalmente, crítico. Para tanto, torna-se necessário buscar engajar o estudante no processo de construção do conhecimento.

Isso evidencia a necessidade de romper com o sistema de ensino tradicional, baseado na memorização de conteúdos superficiais e inertes, e passar a um sistema em que o professor atue como orientador na construção do conhecimento e em que o aluno participe ativamente do seu aprendizado, construindo relações significativas com o conhecimento através de suas experiências.

Como apontado pelo documento da AAAS, uma das maneiras de se trabalhar dentro dessa nova proposta de ensino é colaborar para a formação de uma visão mais ampla da ciência, promovendo um conhecimento de como ela é construída e usada. Assim, um ensino baseado em atividades de construção e reformulação de modelos<sup>1</sup> está de acordo com essa perspectiva. Essa afirmação pode ser feita porque compreender o processo de modelagem significa conhecer as bases sobre as quais se desenvolve o conhecimento em ciências. Isso porque a construção e o emprego de modelos são a base do processo da pesquisa científica (Morrison & Morgan, 1999; Gobert & Buckley, 2000; Halloun, 2004).

No ensino, entretanto, a modelagem e sua contribuição para a aprendizagem é uma área recente de pesquisa e deve ser alvo de mais estudos para que possa fundamentar propostas de mudanças no ensino atualmente promovido.

Alguns estudos têm discutido como o processo de modelagem pode contribuir na construção do conhecimento (por exemplo, Barab *et al.*, 2000; Vosniadou, 2002, Ferreira & Justi, 2005), mostrando que o envolvimento dos alunos em atividades de modelagem ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos e informações e tende a favorecer o desenvolvimento de um conhecimento flexível e crítico que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (Clement, 2000).

Lehrer, Horvath e Schauble (1994) declararam que a habilidade para produzir modelos requer a evolução gradual de uma série de compromissos epistemológicos: primeiro, para a noção de uma separação entre fenômenos e representações, podendo

---

<sup>1</sup> Apesar de em Português não existir uma única palavra que seja consensualmente usada como sinônimo de *processo de construção e reformulação de modelos*, fizemos opção, nesta dissertação, por nos referirmos a tal processo usando a palavra *modelagem*.

entender que uma representação pode ser de – mas não idêntico com – o que está sendo apresentado; segundo, para a possibilidade de produzir uma representação pelo desenvolvimento e desdobramento de um sistema de elementos formais; terceiro, para uma noção de predição que usa representações simplificadas que habilitam um comportamento emergente a ser identificado.

Estudos (como, por exemplo, os de Justi & Gilbert, 2002 e Halloun, 2004) apontam que a introdução de estudantes em atividades de modelagem pode, além de contribuir para a construção de conhecimentos específicos, ajudar o aluno a construir seus próprios modelos, avaliar os seus e outros modelos usados pelo ensino e pela ciência, além de compreender o próprio processo de modelagem – sob um aspecto geral, e na ciência, em específico – e porque são construídos. Assim, o aluno se torna sujeito ativo do seu próprio processo de construção do conhecimento, estando engajado em atividades que propiciam a reflexão crítica sobre o objeto em estudo e, conseqüentemente, uma aprendizagem significativa.

Entretanto, além de as pesquisas sobre utilização de atividades de modelagem no ensino serem poucas, elas se mostram pouco aplicáveis à realidade do ensino, seja pelo tempo que demandam para serem realizadas (geralmente muito grande), seja pelo número de alunos que elas investigam (geralmente muito pequeno).

Nessa perspectiva, o objetivo desse estudo é avaliar como atividades de modelagem podem contribuir para o ensino de um conteúdo específico – *Equilíbrio Químico* – e para a compreensão sobre modelos (o que são, para que servem e como são construídos), em um contexto real de sala de aula. A escolha do tema *Equilíbrio Químico* se fez por este ser um tema geralmente relacionado a dificuldades de ensino e aprendizagem (van Driel & Gräber, 2003; Harrison & de Jong, 2005; Piquette & Heikkinen, 2005). Assim, essa é uma proposta que se afasta dos moldes tradicionais existentes nos livros didáticos e utilizados pela maioria dos professores e, ao mesmo tempo, se aproxima de propostas contemporâneas discutidas para o ensino de ciências na literatura.

## 2. Estrutura da dissertação

O presente trabalho de dissertação foi organizado em sete capítulos, obedecendo à ordem em que serão agora descritos. Este primeiro capítulo se configura como a introdução do trabalho, que apresenta um panorama geral da pesquisa com modelos e com modelagem no ensino, bem como uma breve articulação dessa proposta de trabalho ao tema equilíbrio químico.

A seguir, no capítulo 2, ‘Modelos e Construção de Modelos no Ensino’, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre as duas temáticas fundamentais desse trabalho de pesquisa: modelos e modelagem no ensino e ensino de equilíbrio químico. Tal capítulo justifica a escolha do tema equilíbrio químico para o desenvolvimento dessa proposta a partir da relevância do estudo desse tema, assim como das dificuldades de ensino e aprendizagem a ele relacionadas. A revisão bibliográfica sobre modelos aponta o potencial das atividades de construção de modelos no estabelecimento de um ambiente em que os estudantes tenham uma participação ativa na construção de seu conhecimento, seja específico de conteúdo ou do processo.

O terceiro capítulo, ‘Desenho Metodológico da Pesquisa’, apresenta as questões de pesquisa que nortearam toda a construção da metodologia de pesquisa e de análise dos dados obtidos.

Os capítulos quatro a seis se referem às três questões de pesquisa propostas, envolvendo o procedimento de coleta de dados, metodologias específicas de análise e discussão de cada uma dessas.

O capítulo sete encerra a dissertação apresentando: uma apreciação geral dos resultados obtidos, relacionando e contrapondo os dados obtidos nas três questões de pesquisa; as contribuições teóricas e metodológicas desse trabalho; suas implicações educacionais para o ensino de ciências e novas possibilidades de pesquisa na área.

## CAPÍTULO 2

### MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO ENSINO

1. MODELOS NA CIÊNCIA E NO ENSINO .....	7
2. O CONHECIMENTO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS E MODELAGEM .	11
3. O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NA CIÊNCIA E NO ENSINO.....	13
4. O ENSINO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO .....	19

## MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS NO ENSINO

### 1. MODELOS NA CIÊNCIA E NO ENSINO

*“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)

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

Quando pessoas raciocinam sobre o mundo físico, elas freqüentemente usam modelos, particularmente em situações em que a resposta não pode ser buscada de informações previamente acumuladas ou não pode ser deduzida de informação verbal. Esses modelos, construídos e rodados nas mentes das pessoas – chamados *modelos mentais* –, podem ajudá-las a elaborar conhecimentos implícitos que podem ser usados para responder questões e resolver problemas (Borges, 1999). Quando isso ocorre, o modelo mental se torna um veículo através do qual os conhecimentos implícitos interagem com as idéias do sujeito e passam a integrar seu sistema conceitual. Modelos mentais fazem parte de todo processo de construção de modelos, seja na ciência ou no ensino.

Como um modelo mental é uma representação pessoal interna, a partir do momento em que é preciso comunicar esse modelo a outros, ou mesmo trabalhá-lo mais sistematicamente, é necessário que ele seja, de alguma forma, representado, no todo ou em parte, tornando-se um *modelo expresso* (Gilbert & Boulter, 1995). Isso se dá através de descrição escrita, descrição oral, fórmulas, analogias, desenhos ou outra forma de

representação. Esse *modelo expresso* pode, então, ser trabalhado individual ou coletivamente, sendo o segundo caso mais comum na realidade do ensino. O processo de construção social desse modelo também faz parte da proposta de atividades de ensino fundamentadas em modelagem, sendo que essa interação social tem um papel fundamental no desenvolvimento da cognição, permitindo que o aprendiz avance substancialmente através do suporte da relação com os outros.

Após expresso, a construção social do conhecimento se dá pela exposição do modelo e posterior discussão do mesmo, desenvolvendo-o e testando-o a partir da posição de outras pessoas. Assim, são produzidos os chamados *modelos consensuais* (Gilbert & Boulter, 1995) que, no caso de serem consenso entre especialistas (cientistas), são também conhecidos como *modelos científicos*.

A importância de modelos em Ciências é amplamente reconhecida entre cientistas e filósofos da ciência (Nersessian, 1999), pois a teoria dos modelos é, originalmente, uma teoria da ciência. Os modelos estão no centro de qualquer teoria e a construção e emprego de modelos é fundamental no processo da pesquisa científica (Morrison & Morgan, 1999; Halloun, 2004). Eles são as principais ferramentas usadas pelos cientistas para produzir conhecimento e um dos principais produtos da ciência (Barab *et al.*, 2000; Justi & Gilbert, 2003). Por isso, podemos considerar que o desenvolvimento do conhecimento científico relativo a qualquer fenômeno relaciona-se normalmente com a produção de uma série de modelos com diferentes abrangências e poder de predição.

Em Ciências, um *modelo* pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou idéia que é produzida com propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização, fundamentar a elaboração e teste de novas idéias, possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000).

Modelos são freqüentemente usados no ensino de Ciências, por autores de livros didáticos e professores, com o objetivo específico de ajudar os alunos a entenderem algum aspecto do que se deseja ensinar. Nesse caso, eles são chamados *modelos de ensino* (Gilbert & Boulter, 1995). Um modelo de ensino, apesar de apresentar simplificações em relação ao modelo científico ou de retratar apenas alguns aspectos do mesmo, deve preservar a estrutura conceitual do modelo científico correspondente, sem

tornar-se incorreto. Entretanto, vários estudos têm mostrado que muitos desses modelos possuem aspectos negativos bastante relevantes, que acabam por prejudicar o ensino e/ou a aprendizagem dos alunos. Muitas vezes o problema não reside no modelo em si, mas na adequação do seu emprego ou na ausência de uma discussão que estabeleça suas aplicações e suas limitações.

De acordo com van Driel e Verloop (1999), o foco no ensino de modelos está usualmente no conteúdo dos modelos que estão sendo ensinados e aprendidos, enquanto a natureza dos modelos não é explicitada ou discutida. Esses autores também sugerem que não é usual para estudantes serem convidados a participar ativamente em atividades de construção e reformulação de modelos. Isso está em desacordo tanto com a relevância do estudo de modelos quanto com a própria natureza do conhecimento, uma vez que, como discutido anteriormente, os modelos fazem parte do processo de aquisição e construção do conhecimento.

A maioria dos autores de livros parece acreditar que ‘*o modelo fala por si*’, uma vez que não apresentam qualquer explicação ou comentário sobre os modelos, ou mesmo qualquer discussão sobre o que são e sua importância. Muitos desses modelos de ensino apresentam problemas que levam os alunos a elaborar concepções alternativas, além de alguns chegarem mesmo a apresentar incoerências com os modelos aceitos cientificamente (Milagres & Justi, 2001).

Justi e Gilbert (2002), em um estudo com professores de ciências (do nível fundamental até o superior), evidenciaram que muitos deles, apesar de trabalharem com modelos com seus alunos, ignoram o processo de elaboração dos mesmos e impõem o modelo cientificamente aceito como ‘a verdade’. Ao contrário disso, tanto as versões simplificadas dos modelos científicos que fazem parte do currículo escolar – chamados *modelos curriculares* – quanto os modelos de ensino apresentados por professores e/ou autores de materiais instrucionais devem fazer sentido para os alunos. Isso significa que eles devem levar em conta suas idéias prévias e a habilidade que eles possuem para relacionar as entidades concretas e/ou abstratas envolvidas na relação analógica estabelecida.

É importante considerar também que já é consenso entre muitos educadores que um ensino baseado na memorização de informações, promovendo o desenvolvimento de entendimentos superficiais e um conhecimento inerte não contribui muito para

modificar as idéias que os alunos trazem para a sala de aula sobre os conceitos científicos (chamadas na literatura de concepções alternativas) (Barab *et al.*, 2000).

Nessa perspectiva, os objetivos gerais para o ensino de Ciências foram propostos por Hodson (1992) como: *aprender Ciências*, isto é, compreender o conhecimento científico conceitual; *aprender sobre Ciências*, isto é, compreender aspectos de história, filosofia e metodologia de Ciências; *aprender a fazer Ciência*, isto é, tornar-se capaz de participar de atividades que objetivem a aquisição de conhecimento científico.

Pode-se afirmar, então, que modelos e a modelagem desempenham um papel central e fundamental no ensino de Ciências (Duit & Treagust, 2003). Isso porque, com base nos objetivos para o ensino de Ciências propostos por Hodson, a fim de: *aprender Ciências*, os alunos devem conhecer e entender os principais modelos científicos relativos aos tópicos que estão estudando, assim como a abrangência e as limitações dos mesmos; *aprender sobre Ciências*, os alunos devem desenvolver uma visão adequada sobre a natureza de modelos e serem capazes de avaliar o papel de modelos científicos específicos no desenvolvimento do conhecimento científico; *aprender a fazer Ciências*, os alunos devem ser capazes de criar, expressar e testar seus próprios modelos (Justi & Gilbert, 2002).

Assim, a utilização de modelos ajuda a promover um entendimento que vai além da memorização de fatos, equações ou procedimentos. Os modelos na educação ajudam a promover um ensino em que a ciência faça sentido para os estudantes não apenas dando “explicações satisfatórias”, mas desenvolvendo uma forma de conhecimento flexível que pode ser aplicado e transferido para diferentes situações e problemas (Clement, 2000).

Vários outros estudos (Collins & Gentner, 1987; Nersessian, 1999; Barab *et al.*, 2000; Vosniadou, 2002; Saari & Viiri, 2003) têm mostrado que a utilização de modelos na perspectiva de promover o desenvolvimento do conhecimento contribui decisivamente para a construção de um aprendizado significativo. Além disso, o envolvimento de alunos em atividades de modelagem pode se transformar em excelentes oportunidades para que os professores acompanhem o processo de expressão de suas idéias originais e de compreensão dos modelos científicos estabelecidos (Duit & Glynn, 1996).

## 2. O CONHECIMENTO DOS ALUNOS SOBRE MODELOS E MODELAGEM

Não parece haver regras gerais para a construção de modelos, como, por exemplo, há regras detalhadas para procedimentos experimentais ou métodos de medidas. Algumas pessoas argumentam que isso acontece porque modelagem é uma habilidade tácita, que não pode ser ensinada (Morrison & Morgan, 1999).

A construção de modelos certamente envolve uma grande quantidade de habilidades. Modelar envolve um elemento criativo, não sendo apenas um ofício, mas, também, uma arte (Vosniadou, 2002). Ao elaborar um modelo, há, inicialmente, um processo de escolha e integração de itens que são considerados relevantes por uma questão particular. Modelar é o ato ou processo de criar modelos para um fenômeno ou evento através da seleção, interpretação, conceituação e integração de aspectos relevantes para descrever e explicar o comportamento do sistema. Os modelos criados são submetidos a um ciclo de teste, revisão e reelaboração, até produzir descrições e explicações satisfatórias para o fenômeno.

O conhecimento sobre o que são os modelos, suas aplicações e limitações se coloca como aspecto fundamental a ser desenvolvido para que o aluno possa participar de atividades relativas à modelagem. Envolver estudantes no estudo sobre a utilização dos modelos na ciência favorece que eles percebam os modelos como importantes ferramentas na prática científica e conheçam a estreita relação dos mesmos com o desenvolvimento de teorias (no sentido de que modelos podem ser usados como instrumentos de exploração tanto no domínio prático quanto no teórico, como mediadores entre teoria e fenômeno (Morrison & Morgan, 1999)). Além disso, para entender ciência, os estudantes devem conhecer como modelos são construídos e validados.

Alguns estudos têm sido feitos sobre a noção dos estudantes (principalmente dos níveis médio e universitário) sobre modelos. Tais estudos têm mostrado que é difícil para eles compreender o conceito de modelos (Grosslight *et al.* 1991; Harrison & Treagust, 1996, 2000; Treagust & Chittleborough, 2001, por exemplo) e que eles não possuem uma noção desenvolvida sobre modelagem, mesmo depois do ensino formal, a menos que tenha sido dada uma ênfase particular nesse processo. Dentre as idéias dos estudantes citadas por esses estudos, podemos destacar o pensamento de que é possível construir modelos apenas para ‘coisas’ que podem ser visualizadas, sendo um modelo

apreendido diretamente da realidade. Contrariamente, em ciência modelos são construídos, muitas vezes, para entidades que não podem ser diretamente observadas e cuja existência nós podemos apenas imaginar ou, ainda, modelos podem advir apenas de teorias – sem considerar o fenômeno em si. Outras vezes, a idéia dos estudantes é a de que modelos são cópias da realidade ou, simplesmente, miniaturas (no caso do modelo para sistema solar, por exemplo). Eles pensam que há uma correspondência perfeita entre o modelo e aquilo que ele representa. Entretanto, em ciência modelos são usados para descrever e fazer previsões sobre estrutura e processos de entidades muitas vezes não conhecidas.

Para que os estudantes possam ser inseridos em atividades de modelagem, é necessário que eles desenvolvam algumas idéias principais sobre modelos, de maneira que eles sejam capazes de reconhecer que eles:

- podem ser concretos ou abstratos, não apenas simples artefatos;
- são usados para representar um determinado domínio, não sendo uma cópia do mesmo;
- simplificam os seus domínios, não representando todos os seus aspectos;
- podem ser usados para explicar e prever o comportamento de um fenômeno;
- podem ser aplicados em vários contextos, não apenas em situações de interesse imediato;
- podem ser modificados, sempre que isto se fizer necessário.

Assim, os estudantes devem perceber que modelos não são representações fidedignas da realidade como um todo, e que a modelagem sempre envolverá certas simplificações e aproximações que, muitas vezes, têm de ser decididas independentemente de implicações teóricas ou de dados empíricos. Os estudantes devem perceber que limitações fazem parte de qualquer modelo construído e que, mesmo fazendo correções para aumentar a exatidão da representação, ainda assim, um modelo será apenas uma representação parcial.

Perceber a utilização na ciência de vários modelos para um mesmo sistema também faz parte do conhecimento que estudantes devem desenvolver sobre modelos, pois é necessário reconhecer a legitimidade de cada diferente representação em função

da performance dos modelos em contextos específicos. Esse é um requisito para que o estudante se sinta encorajado a construir modelos, uma vez que, desta maneira, ele reconhecerá a validade dos seus próprios modelos.

Essas idéias que os estudantes devem, reconhecidamente, desenvolver a respeito de modelos em ciência têm sido, todavia, negligenciados durante o ensino (Crawford & Cullin, 2004). Todos esses elementos apontados como necessários para a compreensão sobre modelos e modelagem evocam o desenvolvimento de habilidades que se refletirão na capacidade de o indivíduo perceber o domínio, a aplicação e as limitações de um modelo. Apesar de o elemento criatividade não poder ser diretamente ensinado, todas as outras habilidades necessárias para a participação em atividades de modelagem podem ser desenvolvidas, propiciando uma melhora no desempenho dos alunos nesse processo. Dessa forma, acredita-se que modelagem é um processo que pode ser ensinado, sendo uma habilidade intelectual que se desenvolve sob a influência de assistência e experiência, conforme Treagust, Chittleborough e Mamiala (2002) defenderam.

### 3. O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS NA CIÊNCIA E NO ENSINO

Propostas de mudança no ensino, como comentado anteriormente, têm causado um aumento (mesmo que de dimensão menor do que a esperada) do número de educadores que têm abandonado a didática tradicional e promovido um ensino com a participação dos estudantes e em que eles são engajados na resolução de problemas e pesquisas. No ensino de ciências, essa mudança foi bem retratada pelo relatório Beyond 2000, que é apresentado como fruto do desejo de promover uma nova educação em ciências para os jovens. Este documento aborda:

*“... a disparidade crescente entre a instrução em ciência fornecida em nossas escolas e as necessidades e interesses das pessoas que serão nossos cidadãos futuros. A instrução, no fim do século 20, não mais prepara indivíduos para o emprego seguro, na indústria local ou nos serviços. O ritmo rápido da mudança tecnológica e a globalização resultaram em uma necessidade de indivíduos que tenham não apenas uma ampla instrução geral, mas também habilidades de comunicação, adaptação e compromisso com a aprendizagem contínua.” (Millar & Osborne, 1998, p.2)*

O ensino através da construção de modelos promove um aprendizado participativo, com ricos contextos que encorajam a participação dos alunos, em que esses trabalham de maneira colaborativa na construção de significados, conceitos e representações (Barab *et al.*, 2000). Além disso, esse processo de ensino permite ao aluno aprender sobre modelos, sobre sua construção e, conseqüentemente sobre a construção da ciência, uma vez que uma das mais importantes atividades dos cientistas é construir, elaborar, testar e validar modelos.

A atividade de construir modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas através das quais ele vai poder explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais abrangentes. Dessa forma, ocorre uma integração entre o conhecimento conceitual e a construção de modelos, em que o conhecimento do estudante permite criar modelos e os modelos contribuem para o desenvolvimento e a construção de novos conhecimentos.

Os modelos são construídos por um processo de escolha e integração de aspectos considerados importantes para o estudo em questão, podendo ser derivados tanto de fenômenos quanto da teoria, dependendo da demanda de situações específicas. Como destacado por Justi e Gilbert (2002):

*“Todo processo de construção de modelo é empreendido com um propósito, seja para descrever a condução de um fenômeno, para estabelecer as entidades das quais ele pensa que consiste (junto com sua distribuição espacial e temporal), seja para descrever as razões – as causas e efeitos de – para aquele acontecimento, para prever como ele vai ocorrer sob outras circunstâncias, ou vários ou todos desses.” (p.59)*

O processo de construção de modelos é representado por Halloun (2004) como uma espiral na qual a complexidade do raciocínio e de testes empíricos aumenta progressivamente em cada etapa do processo, de acordo com cada modelo e, principalmente, de um modelo para o outro, conforme ilustrado na figura 2.1.

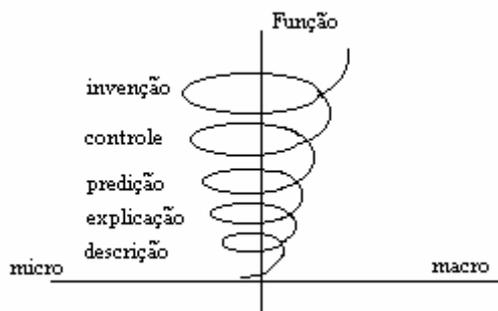


Figura 2.1: Espiral de desenvolvimento de modelos (Halloun, 2004, p. 144)

Essa espiral pode ser melhor compreendida se tomarmos como base o diagrama proposto por Justi e Gilbert (2002), chamado de *modelo de modelagem* (figura 2.2), que representa todas as etapas envolvidas no processo de modelagem e como elas se relacionam. Esse diagrama não é uma regra que deve ser seguida para se construir um modelo. Na verdade, ele foi elaborado como resultado da análise de como os modelos são construídos na ciência e em outros contextos. Todas as etapas e processos descritos no diagrama são necessários e inerentes à construção de modelos, sendo geralmente executados conscientemente (por cientistas) ou não (por estudantes e pessoas leigas).

A construção de um modelo se inicia pela consideração do fenômeno que se deseja estudar, limitando-se os aspectos que serão abordados. A partir daí, a pessoa elabora um modelo mental para seu objeto de estudo, levando em conta modelos anteriores, modificando um modelo já existente ou criando seu próprio modelo. Para a elaboração do modelo mental é necessário que a pessoa tenha observado o fenômeno com o qual ela vai trabalhar, ou tenha dados (teóricos ou empíricos) que possam auxiliá-la nessa construção.

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

Em seguida, o modelo expresso obtido deve passar à etapa de testes. Tais testes podem ser de duas naturezas: via experimentos mentais e através de planejamento e realização de testes empíricos. Essa etapa pode ser caracterizada pela ocorrência sucessiva desses dois tipos de teste ou pela utilização de um único tipo (Justi, *in press*). Isso dependerá essencialmente do modelo com o qual se está trabalhando, dos recursos

disponíveis e dos conhecimentos prévios do indivíduo ou grupo de indivíduos que participa do processo.

A realização de experimentos mentais envolve processos de raciocínio que se baseiam em ‘resultados’ de um experimento conduzido em pensamento. Nesse momento, o modelo deve ser empregado em várias situações (imaginárias) para que seja possível avaliar a sua aplicabilidade, sua capacidade de explicação e/ou predição e sua coerência com resultados esperados para os testes mentais. Por isso, experimentos mentais podem ser considerados como uma forma específica de simulação (Nersessian, 1999). A situação imaginária pode ser de dois tipos: um experimento que poderia ter sido realizado em laboratório mas, por várias razões, é executado somente mentalmente e uma situação realmente imaginada que não poderia, em nenhuma circunstância, ser realizada em laboratório (Reiner & Gilbert, 2000).

Os testes empíricos são atividades práticas, seguidas da coleta e análise de dados e da avaliação dos resultados produzidos em relação às previsões derivadas do modelo.

Caso o modelo falhe na etapa dos testes, é possível voltar no ciclo e propor modificações no modelo ou, ainda, dependendo dos resultados, o modelo pode ser rejeitado. Isto irá levar a uma reconsideração radical dos elementos que foram usados para a sua elaboração. O sucesso do modelo na etapa de testes indica que ele alcançou os objetivos para o qual foi construído, podendo ser socializado.

Após a obtenção desse modelo bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as limitações do modelo, bem como a extensão de seu emprego. Outras pessoas podem fazer considerações sobre etapas anteriores no processo de construção do modelo (ampliando os propósitos iniciais do mesmo, bem como a base de conhecimentos para sua construção), o que pode levar o modelo a entrar novamente no ciclo.

Na Ciência, essa última etapa é fundamental, pois corresponde à comunicação do modelo à comunidade científica que, além do importante papel de contribuir com novos conhecimentos para a elaboração do modelo, poderá aceitá-lo ou rejeitá-lo.

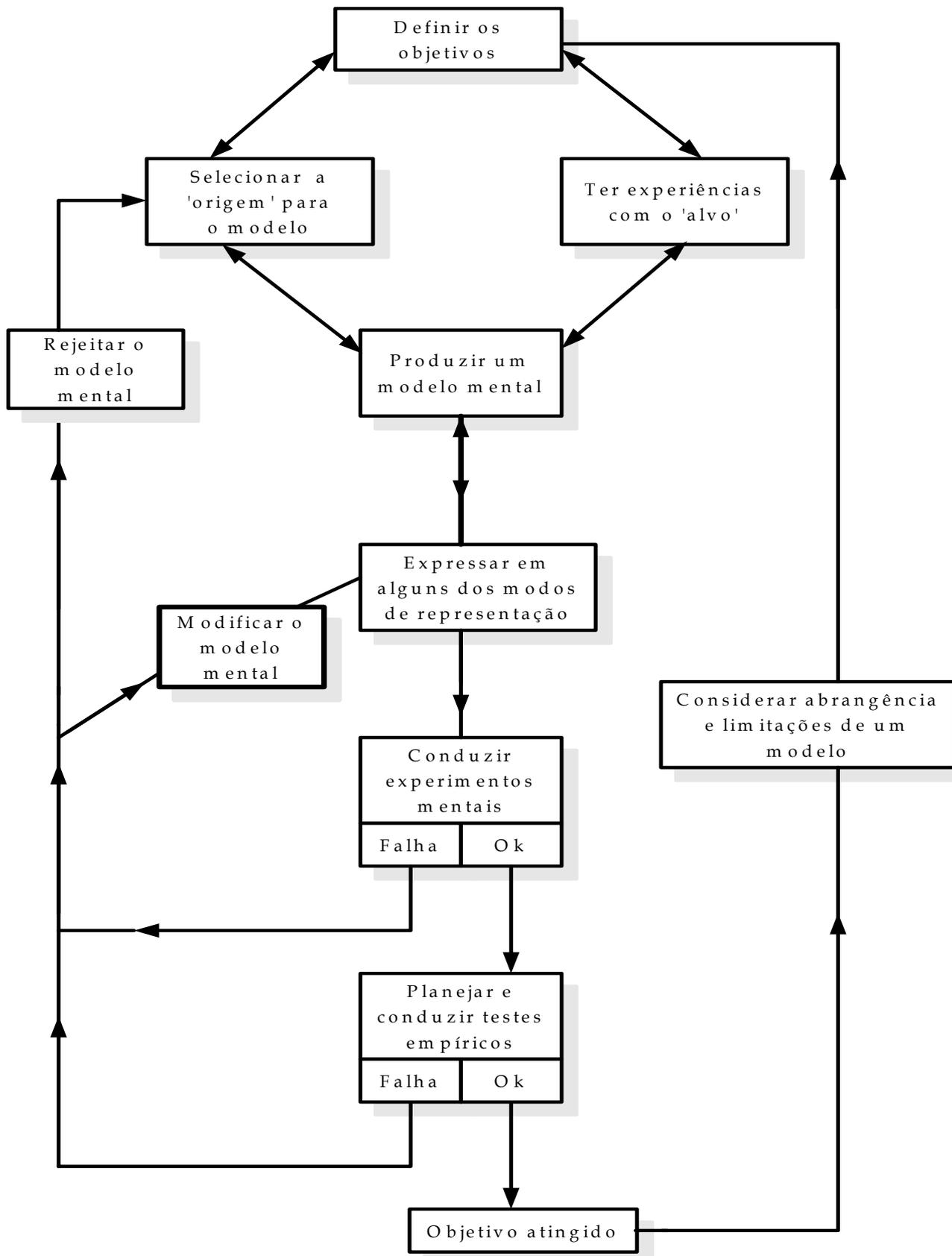


Figura 2.2: Modelo de Modelagem, segundo Justi e Gilbert (2002, p.371).

No processo de construção de modelos na educação, o engajamento dos estudantes é crucial para que eles tenham uma evolução do conhecimento. A comunicação do modelo construído pelo aluno (ou por um grupo de alunos) à turma é um processo de socialização que já tende a provocar esse envolvimento do aluno. Esse é o momento em que ocorre um engajamento no diálogo com a turma, em que o estudante deverá apresentar o suporte de suas idéias e avaliar o conhecimento que produziu. Isso irá proporcionar não só a interação entre os estudantes, mas entre os estudantes e o professor, entre os estudantes e seus modelos e mesmo entre os estudantes e o conhecimento que eles produziram (que pode ir além do próprio modelo). A tarefa de *criar* um modelo que deverá ser aceito por um grupo maior funciona como uma âncora ao redor da qual emerge a atividade dos estudantes (Barab *et al.*, 2000).

Outro aspecto importante a ser pontuado é o papel do professor na condução de atividades de modelagem frente à participação do aluno. Em relação a isso, Barab *et al.* (2000) afirmam que:

*“Nesse trabalho, o papel do professor muda, uma vez que ele pára de “dar” respostas corretas e passa a guiar e facilitar a aprendizagem, engajando os estudantes nesse processo de pesquisa. Os estudantes são considerados participantes ativos no processo de aprendizagem, promovendo seus próprios acertos (em relação à tarefa) e construindo relações significativas através de suas experiências.”* (p. 722)

Vosniadou (2002) argumenta como o professor pode colaborar nesse processo ao dirigir a seus alunos *perguntas geradoras*<sup>2</sup>. Tais perguntas têm o propósito de estimular o desenvolvimento do modelo e a construção do conhecimento sem, com isso, fornecer respostas de um conhecimento já elaborado. O professor pode, ainda, solicitar explicações do aluno que chamem a atenção para aspectos que o auxiliem durante a construção, favorecendo o desenvolvimento de raciocínios análogos e mesmo a ocorrência de *insights*<sup>3</sup> que desencadearão a elaboração do conhecimento (Clement, 1989).

---

<sup>2</sup> Essa é a tradução usada nessa dissertação da expressão em inglês “generative questions”, apresentada por Vosniadou, 2002, p. 360 .

<sup>3</sup> Clement (1989) define *insights* como “estalos” em que ocorrem mudanças muito rápidas no pensamento da pessoa, o que organiza suas estruturas do conhecimento. Esses insights são rápidos flashes de inspiração, possivelmente originados de um período de incubação ou atividade mental não consciente.

#### 4. O ENSINO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO

Equilíbrio químico é uma das principais concepções organizadoras do ensino de química, tanto no ensino médio quanto no ensino superior. A compreensão do mesmo se faz necessária para a fundamentação de várias discussões que levam ao entendimento de fenômenos e processos, dentro ou fora do contexto escolar, que permitem ao indivíduo compreender o mundo que o cerca. Por exemplo, o estudo da eletroquímica, a compreensão do processo de destruição da camada de ozônio pelo uso de CFC, ou ainda, questões de ordem biológica como a absorção do ácido acetilsalicílico (AAS) pelo organismo humano, as trocas gasosas do processo de respiração, entre muitos outros exemplos, são explicados com base em seus respectivos equilíbrios.

O conceito de equilíbrio químico articula vários temas, como: reação química, reversibilidade de reações, cinética química, entre outros. Entretanto, apesar de sua importância, esse é um tópico freqüentemente associado com dificuldades de aprendizagem, o que tem resultado em um grande número de trabalhos nessa área (Thomas & Schwenz, 1998; van Driel & Gräber, 2003; Harrison & de Jong, 2005, por exemplo).

Muitas das dificuldades de aprendizagem do tema têm sua causa residindo na abordagem quantitativa freqüentemente utilizada no ensino do mesmo, negligenciando aspectos teóricos ou mesmo a compreensão do processo. Além disso, utilizam-se fórmulas para o cálculo da constante de equilíbrio sem qualquer fundamentação ou justificativa do seu uso, não sendo apresentada sequer uma dedução do cálculo dessa constante a partir da Lei de Ação das Massas<sup>4</sup>. Assim, a constante de equilíbrio é apresentada como um fato ao invés de como uma lei empírica. A própria interpretação matemática do tema é apresentada nos livros didáticos através de modelos híbridos<sup>5</sup> provenientes da utilização dos aspectos termodinâmicos e cinéticos do tema, passando por generalizações e visões simplistas, que resultam na apresentação de cálculos errados ou regras que simplesmente não existem (van Driel & Gräber, 2003).

É sabido que o estudo quantitativo do equilíbrio químico envolve uma sofisticada explicação e uma gama de conceitos ainda não acessível aos alunos do

---

<sup>4</sup> Apesar de ser uma derivação simplista e não totalmente correta, a derivação da constante de equilíbrio a partir da Lei de Ação das Massas é mais acessível ao estudo no nível do ensino médio.

<sup>5</sup> Modelo híbrido é definido como aquele constituído por elementos de diferentes modelos históricos tratados como se constituíssem um todo coerente (Justi, 1997).

ensino médio, como pode ser percebido pela simples citação da condição essencial para que um sistema esteja em equilíbrio:

*“O requisito fundamental para que um sistema esteja em equilíbrio com relação a um certo processo, é que, sob as condições existentes, o processo seja termodinamicamente reversível. Esse requisito é, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, que as entropias do sistema e do meio ambiente permaneçam inalteradas para pequenas mudanças no estado do sistema.” (Bauman, 1972, p.49 )*

Isso só vem salienta a necessidade de se trabalhar com os alunos a compreensão do processo em termos qualitativos em detrimento de sua abordagem matemática.

O que se observa, entretanto, são inúmeras dificuldades de aprendizagem listadas pela literatura, que corroboram a idéia de que aspectos qualitativos necessários para a compreensão do equilíbrio químico são negligenciados tanto pelos livros quanto pelos professores no ensino deste tema. As dificuldades apresentadas pelos alunos no aprendizado desse tema se devem, além do excessivo enfoque quantitativo e conceitos inexatos ou incorretos apresentados por livros didáticos, à dificuldade de visualização do equilíbrio químico como um processo dinâmico, à apresentação (tanto por livros didáticos quanto pelos próprios professores) de formas mecanizadas de interpretação do princípio de Le Chatelier<sup>6</sup> e, principalmente, às representações e analogias que levam os estudantes à construção de concepções alternativas.

A dificuldade de compreensão do equilíbrio químico como um processo dinâmico é originada das idéias que os alunos trazem de que reações químicas são acompanhadas de fenômenos observáveis (mudança de cor, aquecimento ou resfriamento, precipitação de sólidos, evolução de gás) ou, ainda, que reações químicas se processam completamente e em uma única direção (van Driel, de Vos & Verdonk, 1990). A impossibilidade da visualização da reação química em ambos os sentidos (de formação de reagentes e de produtos) ocorrendo ao mesmo tempo no equilíbrio químico também gera concepções erradas sobre o tema como, por exemplo, a idéia de que a reação química é unidirecional e de que as reações no equilíbrio ocorrem alternadamente (ora a reação direta, ora a reação inversa) (Johnstone, MacDonald & Webb, 1977; van Driel, de Vos, Verloop & Dekkers, 1998; Banerjee & Powe, 1991).

---

<sup>6</sup> Princípio de Le Chatelier: princípio químico utilizado para explicar e prever o comportamento de um sistema em equilíbrio ao sofrer alguma perturbação externa.

Muitos estudos têm sido conduzidos em relação a como alunos usam o conhecido princípio de Le Chatelier (por exemplo, Banerjee, 1991). Vários desses estudos têm mostrado que tanto alunos quanto professores apresentam dificuldades em compreender esse princípio e que, mesmo livros didáticos, freqüentemente usam a Lei do Equilíbrio<sup>7</sup> como uma consequência do princípio de Le Chatelier.

Ainda em relação às abordagens apresentadas nos livros, vale observar as representações e analogias que os mesmos trazem. Alguns estudos já foram desenvolvidos (Milagres & Justi, 2001; Pedrosa & Dias, 2000, Piquette & Heikkinen, 2005, por exemplo), apontando para concepções alternativas que essas representações podem gerar.

Recentemente, Mendonça (2004) investigou como alunos do ensino médio entendem algumas dessas analogias. A pesquisa enfocou como duas analogias (a da esteira e a de peixes em aquários interligados – como vasos comunicantes) ajudam na compreensão de aspectos do equilíbrio como a dinâmica do processo e o equilíbrio após perturbações. A analogia da esteira, apesar de melhor entendida pelos alunos e de colaborar na compreensão do estado de equilíbrio, apresentou problemas ao ser empregada devido às suas limitações em relação a outras situações dentro desse mesmo tema. Por outro lado, a analogia dos peixes colaborou para a formação de idéias erradas, além de confirmar as concepções alternativas dos estudantes, uma vez que a própria analogia apresenta erros.

Muitos outros estudos foram conduzidos diretamente com estudantes, para avaliar a concepção que eles tinham de equilíbrio químico. Tais estudos foram conduzidos tanto com alunos do ensino médio (van Driel *et al.*, 1998; Tyson, Treagust & Bucat, 1999) quanto com alunos de ensino superior (Thomas & Schwenz, 1998; Maia, 2001; Chiu, Chou & Liu, 2002). É interessante observar que as dificuldades apresentadas por alunos desses dois níveis de ensino foram basicamente as mesmas. Dentre as concepções alternativas mais freqüentes dos estudantes vale destacar:

- equilíbrio químico estático, não dinâmico: o aluno, devido à impossibilidade de observar alterações macroscópicas em um sistema em equilíbrio, acredita que não ocorre reação química no sistema em equilíbrio;

---

<sup>7</sup> Lei do Equilíbrio: equação que define a constante de equilíbrio de uma determinada reação química.

- visão compartimentalizada do equilíbrio: em que os alunos acreditam que os sistemas em equilíbrio apresentam dois lados, dois compartimentos independentes: o dos reagentes e o dos produtos. Essa concepção pode ser gerada pelos desenhos apresentados nos livros (representando dois compartimentos independentes para mostrar o antes e o depois ou analogias que utilizam vasos comunicantes), pela própria representação na equação (em que reagentes e produtos aparecem em lados distintos) e, pela referência ao deslocamento do equilíbrio usando as expressões lado esquerdo e lado direito;
- equilíbrio apresentado como um pêndulo: devido à dificuldade de compreender o equilíbrio como um sistema dinâmico, muitas vezes o aluno o interpreta como se duas reações ocorressem alternadamente (não ao mesmo tempo): ora a reação direta, ora a reação inversa, semelhante ao movimento pendular;
- igualdade de concentrações de produtos e reagentes: o termo equilíbrio é muitas vezes confundido com igualdade, sendo que o aluno acredita que o equilíbrio corresponde a um estado em que há igualdade entre as concentrações dos reagentes e produtos.

Muitas dessas concepções são, ainda, reforçadas pelo estudo introdutório que se faz em química. Um exemplo é a idéia de que as reações se processam por completo e somente em uma direção, decorrente da ênfase dada no início do estudo das reações químicas à distinção (apresentada de forma errada aos alunos) entre fenômenos físicos e químicos.

A produção de materiais para o ensino desse tema tem sido objeto de alguns pesquisadores em seus trabalhos (por exemplo, Niaz, 1995). No entanto, pouco tem sido inovado em termos de metodologias e dinâmica de sala de aula.

## CAPÍTULO 3

### DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

1. QUESTÕES DE PESQUISA .....	24
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A METODOLOGIA UTILIZADA .....	25
3. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DA PESQUISA .....	28
3.1. Amostra .....	28
3.2. Coleta de dados .....	29
3.3. Análise dos dados .....	30
4. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS AULAS .....	31
4.1. 1ª Aula: Modelos: o que são, exemplos e limitações .....	31
4.2. 2ª Aula: Introduzindo a construção de modelos para as reações químicas ... .....	32
4.3. 3ª Aula: Propondo um modelo para a reação inversa .....	33
4.4. 4ª Aula: Observando outra reação .....	33
4.5. 5ª Aula: Chegando a um modelo consensual para o equilíbrio .....	34

## DESENHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

### 1. QUESTÕES DE PESQUISA

Conforme a discussão apresentada sobre o ensino do tema equilíbrio químico, a investigação de como uma nova metodologia pode contribuir para esse ensino se torna interessante e importante pelas dificuldades de ensino e aprendizagem relacionadas a ele. Isso decorre da impossibilidade de o equilíbrio químico ser compreendido pela observação direta do fenômeno em si, e de ser um tópico que necessita da utilização da construção de modelos para a sua compreensão.

Nessa perspectiva e com base no grande potencial das atividades de modelagem para o ensino e a aprendizagem, a proposta analisada neste trabalho fundamentou-se na construção e reconstrução de modelos pelos alunos, tendo como tema específico o equilíbrio químico.

O principal objetivo dessa proposta foi permitir a compreensão de *como* o processo do equilíbrio químico ocorre, facilitando a visualização de vários aspectos relativos ao processo, impossíveis de serem atingidos pela simples observação deste ou pela manipulação de fórmulas. Além disso, buscou-se fazer com que aspectos como a cinética da reação e o estado físico das substâncias envolvidas se tornassem inerentes ao processo de modelagem para o equilíbrio químico, salientando características como a dinamicidade do processo, inviabilizada a partir dos aspectos convencionais de representação.

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

Essa proposta para o ensino de equilíbrio químico visou a construção de modelos pelos próprios alunos, através dos quais eles pudessem expressar suas idéias e concepções, existindo, em seguida, um momento para a discussão desses modelos com colegas e professores. Essa discussão não teve por objetivo uniformizar as idéias dos

alunos e chegar a um único modelo aceito, mas sim, dar subsídio ao aluno para que ele próprio fosse capaz de modificar o seu modelo e/ou aperfeiçoá-lo, de forma a explicar suas observações a respeito do assunto.

A utilização de atividades de construção de modelos, entretanto, não se relacionou apenas à aprendizagem de conteúdos específicos, mas também à aprendizagem sobre modelos, em geral. Dessa maneira, essa pesquisa visou responder às seguintes questões:

- Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam os principais aspectos conceituais relativos ao tema equilíbrio químico?
- Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam sobre modelos e construção de modelos?
- Como os alunos do ensino médio percebem a influência da participação em atividades de modelagem em seu processo de aprendizagem?

## 2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A METODOLOGIA UTILIZADA

A presente pesquisa envolveu a avaliação de uma proposta de ensino aplicada em um ambiente real de sala de aula, durante o período normal das aulas de química. Assim, essa se consistiu de uma pesquisa-ação e, como tal, envolveu mudanças nos métodos de ensino empregados e aprendizagem em consequência dessas mudanças: participação ativa dos envolvidos (no caso alunos), ação colaborativa e muita reflexão – por parte dos alunos e da professora – durante o processo. Cohen, Manion e Morrison (2000) descrevem que:

*“(...) o modelo de pesquisa-ação é uma série de espirais, cada uma incorpora um ciclo de análises, reconhecimento, reconceituação do problema, planejamento e avaliação da efetividade da intervenção. Além disso, o feedback durante e entre cada ciclo é importante para a ação, facilitando a reflexão.” (p.237)*

A pesquisa-ação é uma poderosa ferramenta para mudar e melhorar práticas de um contexto específico (Cohen *et al.*, 2000). Seu uso pode estar direcionado a propósitos variados, mesmo dentro da área de ensino, como aos métodos de ensino, estratégias de aprendizagem, processos avaliativos, formação de professores, entre

outros. O presente trabalho enfocará uma pesquisa desenvolvida a partir da aplicação de uma nova estratégia de ensino e aprendizagem, através de uma proposta especialmente desenhada para o ensino de equilíbrio químico.

É importante pontuar que pesquisa-ação não é simplesmente o processo de reflexão que os professores fazem sobre sua prática de ensino. A pesquisa-ação também não envolve apenas a resolução de problemas, mas um posicionamento frente o mesmo. Ela é motivada pela questão de melhorar e entender o mundo para mudá-lo, aprendendo como melhorar a partir dos efeitos dessa mudança (Cohen *et. al*, 2000).

Dessa maneira, todo o processo de ensino desenvolvido nessa pesquisa foi acompanhado de constante avaliação por parte dos pesquisadores<sup>8</sup>, levando às necessárias reformulações e conduzindo ações subseqüentes.

Sendo uma pesquisa qualitativa, a esse trabalho interessa responder: como as pessoas percebem a vivência do processo, como elas interpretam suas experiências e como elas estruturam sua relação social, dentro do específico contexto em análise. Isso porque se assume que os significados emergem das experiências das pessoas e são mediados através da própria percepção do investigador (Merriam, 1988). Tal aspecto justifica a importância da terceira questão de pesquisa.

Ainda em ressonância com os atributos de uma pesquisa qualitativa, a confiabilidade dos dados foi considerada a partir de um ajuste entre o que dados evidenciaram e as impressões e observações da pesquisadora no conjunto do estudo, sendo que a consistência da análise emergiu de diferentes observações (Bogdan & Biklen, 1992). Assim, foi investido um tempo considerável no laborioso trabalho de coleta e revisão de dados, uma vez que os mesmos deveriam suportar o peso de qualquer interpretação, cabendo à pesquisadora confrontar sua opinião com os mesmos.

Uma vez que a análise emergiu diretamente dos dados coletados, esse tipo de pesquisa exigiu uma validação dos mesmos. Essa validação foi realizada na presente pesquisa através da triangulação dos dados.

Apesar de triangulação ser um termo de múltiplos significados, sua origem está na idéia de ‘operacionalidade múltipla’ (Huberman & Miles, 1994), havendo diversas formas de se realizar a triangulação. Nesse trabalho, a triangulação foi feita através da

---

<sup>8</sup> Neste caso, a professora-pesquisadora e a orientadora do trabalho.

combinação de métodos de coleta de dados e da participação de outros pesquisadores e/ou colaboradores. A forma de triangulação usada dependeu do contexto específico de cada questão de pesquisa e/ou atividade aplicada. Esse aspecto será detalhado em momentos adequados neste e nos próximos capítulos.

Esse tipo de pesquisa – como todas as de natureza qualitativa – permite (ou melhor, exige) que o pesquisador seja eclético e possa fazer uso de vários instrumentos de coleta de dados. Assim, essa pesquisa contou com vários instrumentos utilizados para coleta de dados, organizados em torno de ações previamente planejadas, com o objetivo de avaliar a contribuição dessa proposta de mudança no ensino de equilíbrio químico.

Esses dados coletados por diversos meios permitiram a validação interna dos mesmos, através de combinação e contraposição desses. Os métodos de coleta de dados utilizados foram: questionários, registro em áudio e vídeo e observações. Apesar do uso de instrumentos para a realização da coleta, consideramos que a pesquisadora foi o instrumento primário de coleta e análise de dados, mediando todo o processo ao conduzi-lo.

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

A utilização de estudo de caso é um desenho ideal para entender e interpretar observações do contexto educacional (Merriam, 1988). Isso porque um estudo de caso apresenta uma descrição rica e vívida de eventos relevantes para o caso; fornece uma narrativa cronológica dos eventos; pode combinar uma descrição dos eventos com sua análise e/ou avaliação; foca em um ator individual ou grupo de atores e se empenha em entender a percepção desses sobre o evento; salienta eventos específicos que são relevantes para o caso (mesmo que sejam eventos pouco frequentes); além de o pesquisador ser integralmente envolvido no caso, esforçando-se para evidenciar a riqueza deste ao reportá-lo. Através dos estudos de caso o pesquisador pode integrar suas observações à narrativa dos fatos, isto é, interpretar os dados, permitindo que os estudos de caso atinjam um estágio além da descrição. Assim, o pesquisador pode usar os dados para analisar, interpretar ou teorizar sobre o fenômeno.

As declarações teóricas, entretanto, assim como em outras formas de pesquisa em ciências humanas, devem ser suportadas pelas evidências apresentadas. Isso foi buscado nesse trabalho através da apresentação de dados que permitissem a averiguação das afirmações feitas na análise, de forma que o leitor possa ver as observações da pesquisadora emergirem dos dados.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA**

#### **3.1. AMOSTRA**

A pesquisa foi desenvolvida em uma turma de 1º ano do Ensino Médio de uma escola federal de Belo Horizonte. Inicialmente fez-se um estudo piloto com uma turma da mesma série, na mesma instituição. O estudo piloto foi realizado com o objetivo de adaptar a metodologia e a conduta das atividades, identificando possíveis falhas e pontos que poderiam ser melhor explorados. A turma com a qual foi realizado o estudo piloto tinha características bastante semelhantes às da turma pesquisada (número de alunos, faixa etária, professor, ambiente físico, programa anual de conteúdos).

Tanto a turma do estudo piloto quanto a turma em que a pesquisa foi realizada foram selecionadas por estarem acostumadas a receber pessoas externas<sup>9</sup> e terem as aulas filmadas para outras pesquisas. Esses foram aspectos observados na seleção das turmas para que a presença da filmadora não inibisse a participação dos alunos, nem a presença de outro professor ministrando aulas (uma vez que os alunos estariam acostumados a esse tipo de processo).

A professora-pesquisadora passou um período de imersão com a turma pesquisada, acompanhando algumas aulas anteriores à pesquisa a fim de caracterizar os alunos e os grupos de alunos. Isso possibilitou orientar a ação durante a pesquisa, facilitando a promoção e direcionamento da interatividade, além do engajamento dos estudantes. A familiaridade dos alunos com a professora diminuiu a ocorrência de qualquer estranhamento por parte desses, além da inibição na participação como resultado desse estranhamento.

---

<sup>9</sup> Estagiários alunos do curso de Licenciatura em Química, durante o desenvolvimento de atividades das disciplinas Prática de Ensino de Química I e II.

A turma pesquisada tinha 26 alunos que se apresentavam dentro da faixa etária normal da série (entre 14 e 16 anos). Os alunos eram dispostos em seis grupos com componentes fixos, cada um com 4 a 6 alunos. Ao longo da pesquisa, entretanto, muitos alunos, e mesmo grupos inteiros, foram infreqüentes. Assim, os dados apresentados e analisados neste trabalho se limitam aos alunos freqüentes a todas as aulas. Essa opção se justifica por se tratar de um processo com atividades articuladas e integradas entre si. Dessa maneira, a não participação do aluno em qualquer atividade do processo poderia comprometer o desenvolvimento de alguma idéia relevante para a compreensão do equilíbrio químico e do processo como um todo. Por isso, apenas dez alunos, divididos em três grupos (denominados grupos 3, 4 e 6), participaram de todo o processo. Ao longo do trabalho, a referência a esses grupos será feita como G3, G4 e G6. A referência a alunos individuais será feita por um código do tipo AxGy, onde 'x' é um número de ordem aleatório atribuído ao aluno e 'y' o número do grupo do qual ele participava.

Os dados foram coletados no ano letivo de 2004, sendo a pesquisa desenvolvida em cinco aulas de 100 minutos, do período de 3 a 22 de novembro, além de uma aula de 50 minutos, dedicada à realização de uma avaliação sobre o tema, que aconteceu duas semanas após o término das atividades.

### **3.2. COLETA DE DADOS**

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

Como dispúnhamos de uma única filmadora, a gravação em vídeo de todos os momentos de discussão em cada um dos grupos ficou inviabilizada. Por isso, as discussões que acompanharam as construções dos modelos foram gravadas em áudio em cada grupo. O objetivo dessa gravação foi fornecer dados relativos ao processo: as idéias iniciais dos alunos, o raciocínio desenvolvido durante a modelagem, os aspectos químicos e/ou físico-químicos envolvidos, além da participação de cada indivíduo.

Devido à interferência da fala de outros grupos, as gravações em áudio não tiveram uma qualidade muito boa, fornecendo apenas poucos dados que permitiram a caracterização do processo.

Todos os vídeos e trechos audíveis das gravações em áudio foram transcritos e os dados foram organizados de maneira a caracterizar: o processo vivenciado por cada grupo, a influência das ideias de um grupo nos modelos dos outros e a participação de cada grupo na construção do modelo consensual da turma.

Além desses instrumentos, foram coletados dados escritos através de várias atividades realizadas durante as aulas (Anexo I a X) e uma avaliação ao final do processo (Anexo XI). As atividades realizadas durante as aulas tinham questões cujos objetivos eram: investigar o conhecimento prévio individual do aluno, registrar o modelo proposto pelo grupo (tanto em forma de desenhos quanto verbal) e avaliar o processo que os alunos vivenciaram.

A avaliação final foi formulada a partir de questões de vestibulares adaptadas, com o propósito de verificar a compreensão dos alunos em relação ao conhecimento químico, observando a existência ou não de concepções alternativas. As questões dessa avaliação foram validadas através de análise realizada por professores do ensino médio e do superior com larga experiência no ensino do tema e por pesquisadores da área de ensino de química. Tais colaboradores receberam uma versão preliminar da avaliação e foram solicitados a verificar se tais questões compreendiam os principais aspectos do estudo qualitativo de equilíbrio químico, a clareza e a objetividade das mesmas. A versão final da avaliação (Anexo XI) foi aplicada como uma avaliação normal do curso, duas semanas após o encerramento das aulas da pesquisa. Este tempo não foi deliberadamente escolhido pela pesquisadora, mas sim definido em função das demais atividades da turma nas aulas de química e, principalmente, da aproximação do término do semestre letivo.

Conforme comentado anteriormente, a utilização de vários instrumentos de coleta de dados favoreceu tanto a triangulação quanto a validação dos mesmos.

### **3.3. ANÁLISE DOS DADOS**

Os dados foram organizados e analisados de acordo com cada questão de pesquisa. Por isso, e visando facilitar o entendimento do leitor sobre a análise realizada,

a metodologia de análise será posteriormente descrita de maneira específica para cada questão de pesquisa.

#### **4. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DAS AULAS**

O planejamento das aulas foi desenvolvido a partir de fontes da literatura (van Driel *et al.*, 1998; Giere, 1999, por exemplo) que comentam atividades que contribuem seja para a compreensão de modelos, seja para o entendimento do equilíbrio químico. Foram também utilizados experimentos descritos em livros de química de ensino médio e superior. A abordagem do tema se limitou aos aspectos qualitativos, uma vez que os alunos não apresentavam pré-requisitos básicos para um estudo quantitativo desse tema. Além disso, o foco da pesquisa se limitava à proposição de modelos de *como* ocorre o equilíbrio químico.

Uma descrição preliminar de todas as aulas do processo envolvendo as ações realizadas, a ordem de realização das atividades e um pouco sobre os objetivos das mesmas é apresentada a seguir. Essa descrição tem por objetivo propiciar uma noção do processo como um todo, para que o leitor deste trabalho consiga situar os momentos que serão destacados durante o processo de análise de cada questão de pesquisa. Nos capítulos de discussão de cada questão de pesquisa, serão apresentados maiores detalhes sobre as atividades realizadas pelos alunos, assim como sobre os dados coletados nas aulas.

##### **4.1. 1ª AULA: MODELOS: O QUE SÃO, EXEMPLOS E LIMITAÇÕES**

Apesar de a turma ter realizado algumas atividades sobre modelos no início do ano letivo, a primeira aula compreendeu um estudo sobre os mesmos, em geral e em química. Inicialmente os alunos realizaram a *Atividade 1* (Anexo I) que tinha por objetivo discutir o tema modelos sob um aspecto representacional, enfatizando seus processos de construção e suas limitações. Em seguida, foram usadas algumas representações com objetivo de promover discussões sobre os seguintes aspectos: um modelo só representa alguns aspectos da realidade, modelos diferentes podem ser utilizados para representar um mesmo fenômeno ou situação, modelos podem ser utilizados para fazer previsão.

Na seqüência, os alunos fizeram a *Atividade 2* (Anexo II) com o objetivo de avaliar se eles reconheciam o que eram modelos ao exemplificar alguns. Os exemplos que cada aluno mencionou foram socializados com a turma, sendo, em seguida, discutidos modelos trabalhados em química.

#### **4.2. 2ª AULA: INTRODUZINDO A CONSTRUÇÃO DE MODELOS PARA AS REAÇÕES QUÍMICAS**

A segunda aula começou com outra atividade individual (*Atividade 3* – Anexo III) que solicitava que os alunos escrevessem o que eles entendiam por reação química e sobre como uma reação química ocorre. Essa era outra atividade para avaliar o conhecimento prévio dos alunos, desta vez sobre um pré-requisito químico essencial para o desenvolvimento dos modelos de equilíbrio.

Em seguida, foi realizado, de forma demonstrativa, um experimento químico (aquecimento do sistema  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ ). Os grupos foram, então, solicitados a propor um modelo que representasse *como* aquela reação química ocorre (*Atividade 4* – Anexo IV). Segundo o diagrama de modelagem apresentado na figura 2.2, essa etapa corresponde à determinação do propósito do modelo e à obtenção de dados sobre o fenômeno (a partir da realização da experiência e de conhecimentos anteriores dos alunos).

A construção dos modelos pôde ser realizada utilizando diversos materiais disponibilizados: massinha de modelar, lápis de cor, papel, palitos, bolas de isopor de diferentes tamanhos, compartimentos transparentes. A decisão do material que seria utilizado fez parte da construção do modelo expresso, quer dizer, foi tomada pelos próprios alunos. Como a modelagem foi realizada em grupo, antes da construção do modelo expresso do grupo, cada aluno, após elaborar seu modelo mental, teria que expressá-lo para seu grupo. É importante destacar que a expressão dos modelos mentais de cada aluno não necessariamente ocorreu de forma verbal. Algumas vezes, cada aluno já expressava seu modelo mental utilizando o material disponível, ou mesmo a partir do modelo expresso por um colega. O resultado desse processo de expressão e discussão de modelos resultou na elaboração do modelo consensual do grupo.

Após a construção desse modelo consensual, cada grupo o apresentou para a turma, justificando a escolha do material e explicando seu modelo. Nesse processo, não houve qualquer intervenção por parte da professora-pesquisadora no sentido de *corrigir*

os modelos. Foram feitas interferências apenas para confrontar as diferenças entre os modelos de diferentes grupos e levantar questões sobre aspectos envolvidos na construção daqueles modelos que pudessem contribuir para a explicitação das idéias discutidas em cada grupo.

#### **4.3. 3ª AULA: PROPONDO UM MODELO PARA A REAÇÃO INVERSA**

A terceira aula se iniciou com a recapitulação dos modelos propostos, seguida da realização de um outro experimento demonstrativo que consistia no resfriamento do sistema fechado  $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ . Após observarem a alteração da coloração, os alunos foram solicitados a elaborar um modelo para o que estaria ocorrendo naquele sistema (*Atividade 5 – Anexo V*).

Em seguida, os alunos responderam as questões da *Atividade 6* (Anexo VI). Essa atividade teve o propósito de verificar se os alunos relacionaram esse segundo modelo com aquele construído anteriormente. Tanto os modelos quanto as respostas da última atividade foram posteriormente socializados entre alunos e professora.

A próxima atividade realizada nessa aula foi a observação do sistema  $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$  à temperatura ambiente (*Atividade 7 – Anexo VII*). Conforme orientação da professora, a cor intermediária do sistema deveria ser explicada a partir, inicialmente, da utilização dos modelos construídos anteriormente. A solicitação foi feita dessa maneira visando favorecer a ocorrência de uma situação em que os alunos testariam seus modelos anteriores e, caso fosse necessário, modificariam os mesmos.

Durante a socialização dos modelos para a turma, cada grupo foi questionado sobre a relação desse modelo com os anteriores (se ele foi uma modificação dos modelos anteriores, qual modificação havia sido feita, se ele conseguia explicar os dois fenômenos anteriores). Nenhum modelo foi corrigido pela professora e nem mesmo foram apresentadas suas incoerências. Ficou a cargo de cada grupo considerar ou não a idéia de um outro grupo.

#### **4.4. 4ª AULA: OBSERVANDO OUTRA REAÇÃO**

Uma idéia prevista de ser apresentada pelos alunos na atividade anterior é a de que apenas metade do sistema reage à temperatura ambiente. Tal previsão foi confirmada durante a socialização dos modelos. Visando evidenciar que a mesma não poderia ser aplicada para todos os sistemas em equilíbrio químico, os alunos foram

solicitados a realizar um experimento. As observações realizadas nele evidenciavam novos atributos sobre o equilíbrio químico, notadamente a coexistência de todas as espécies no sistema em equilíbrio. Esse experimento consistiu em reagir cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) com ácido em proporções estequiométricas<sup>10</sup> e, em seguida, verificar que ainda existia íon cromato<sup>11</sup> na solução através da adição de acetato de chumbo ( $Pb(C_2H_3O_2)_2$ ). A equação da reação ( $2CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$ ) foi apresentada pela professora, no quadro, uma vez que, a partir de seus conhecimentos anteriores, os alunos não saberiam escrever tal equação nem propor seu balanceamento estequiométrico. Em seguida, os alunos foram solicitados a construir um modelo para explicar o que eles observaram nesse novo sistema, com base nos modelos anteriores (*Atividade 8 – Anexo VIII*). Após a construção do modelo, seguiu-se um novo momento de socialização.

A apresentação dos modelos foi seguida de discussão entre os grupos e desses com a professora, a fim de contrapor as diferentes idéias e considerações expressas por cada um dos grupos. A professora convidou os grupos a relacionar o modelo desse sistema com os modelos construídos nas aulas anteriores, enfatizando alguns aspectos que poderiam incentivar a reflexão dos grupos.

#### **4.5. 5ª AULA: CHEGANDO A UM MODELO CONSENSUAL PARA O EQUILÍBRIO**

Essa aula se iniciou com cada grupo realizando um novo experimento (que envolvia a reação anterior) para verificar o emprego do modelo proposto anteriormente para o equilíbrio. Esse experimento consistia de uma reação de deslocamento de equilíbrio envolvendo um sistema cromato/dicromato. Mais uma vez, os alunos foram incentivados a utilizar o modelo construído anteriormente para explicar o novo fenômeno (*Atividade 9 – Anexo IX*).

A apresentação desses últimos modelos – ou da explicação proposta com a utilização do modelo anterior – foi seguida de discussão que teve por objetivo levantar as limitações dos modelos construídos e contrapor a aplicabilidade dos mesmos. Ao mesmo tempo, foram identificadas as características que deveriam estar presentes no modelo para explicar o equilíbrio. Isso ocorreu através de um consenso em cada um dos

---

<sup>10</sup> Isto é, sem excesso de qualquer reagente.

<sup>11</sup> A partir de agora, a referência ao íon cromato será feita apenas por cromato, ou por sua fórmula  $CrO_4^{2-}$ . Da mesma forma, o íon dicromato será referido por dicromato, ou por  $Cr_2O_7^{2-}$ .

grupos e/ou na turma, sem imposição do modelo científico aceito. A professora limitou-se a fazer perguntas para testar os modelos e permitir reflexões por parte dos alunos.

O sistema  $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$  foi revisto ao final, à luz dos novos conhecimentos sobre equilíbrio químico. Nesse momento, foi introduzida a nomenclatura *equilíbrio químico* e foram estabelecidas generalizações que caracterizavam tal processo.

Finalmente, o processo de ensino foi avaliado através de uma atividade individual (*Atividade 10 – Anexo X*), que tinha por objetivo verificar como o processo foi percebido e avaliado pelos alunos.

## CAPÍTULO 4

### INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA EQUILÍBRIO QUÍMICO

1. INTRODUÇÃO.....	37
2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO EM TERMOS QUÍMICOS.....	38
2.1. O 1º Sistema: $N_2O_{4(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ .....	39
2.2. O 2º Sistema: $2NO_{2(g)} \rightarrow N_2O_{4(g)}$ .....	40
2.3. O 3º Sistema: $2NO_{2(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4(g)}$ .....	40
2.4. O 4º Sistema: $CrO_4^{2-}/Cr_2O_7^{2-}$ .....	41
2.5. Testando o modelo de equilíbrio.....	42
3. COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	43
4. GRUPO 03.....	46
4.1. Estudo de caso.....	46
4.2. Diagrama representativo do processo.....	50
4.3. Análise do Estudo de Caso.....	59
5. GRUPO 04.....	61
5.1. Estudo de Caso.....	61
5.2. Diagrama representativo do processo.....	66
5.3. Análise do Estudo de Caso.....	76
6. GRUPO 06.....	79
6.1. Estudo de Caso.....	79
6.2. Diagrama representativo do processo.....	83
6.3. Análise do Estudo de Caso.....	92
7. A CONTRIBUIÇÃO DO PROCESSO PARA A APRENDIZAGEM DE ALGUNS ASPECTOS CONCEITUAIS DE EQUILÍBRIO QUÍMICO: ANÁLISE DOS TRÊS ESTUDOS DE CASO.....	95

## INVESTIGANDO O APRENDIZADO DE ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS AO TEMA EQUILÍBRIO QUÍMICO

### 1. INTRODUÇÃO

A primeira questão de pesquisa que orientou este estudo foi: *Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam os principais aspectos conceituais relativos ao tema equilíbrio químico?* Neste capítulo será apresentada a discussão geral desta questão.

A proposta de ensino fundamentado em atividades de modelagem desenvolvida objetivou trabalhar apenas aspectos qualitativos sobre o equilíbrio químico. A proposta incluiu, inicialmente, a construção de um modelo para reação química, pré-requisito para trabalhar a idéia de equilíbrio químico. Esse e os próximos modelos desenvolvidos buscaram enfatizar *como* ocorrem as reações em estudo.

As atividades foram propostas buscando evitar enfoques que levassem a concepções alternativas sobre o tema, conforme aquelas apresentadas pela literatura, mas que favorecessem a discussão de concepções desse tipo expressas pelos alunos. Como um todo, as atividades buscaram propiciar o desenvolvimento de algumas idéias fundamentais para a compreensão do equilíbrio químico, como:

- equilíbrio químico é dinâmico, ou seja, a reação não pára de ocorrer;
- reagentes e produtos coexistem em um mesmo recipiente (contrapondo à visão compartimentalizada do equilíbrio);
- as reações envolvidas em uma situação de equilíbrio ocorrem simultaneamente (contrapondo à idéia do equilíbrio apresentado como um pêndulo, em que ora ocorre a reação direta, ora a inversa);
- as concentrações de todas as espécies presentes no equilíbrio são constantes, e não iguais;
- as concentrações de todas as espécies presentes no equilíbrio se mantêm inalteradas devido à igualdade de velocidade das reações direta e inversa.

Para o desenvolvimento desse modelo para o equilíbrio químico, a elaboração desse processo de ensino envolveu a escolha das atividades e metodologias de ensino utilizadas, perpassando também a escolha de sistemas empíricos que acreditávamos poder contribuir significativamente para a aprendizagem do tema.

Todo o processo foi pensado com base no modelo de modelagem proposto por Justi e Gilbert (2002) (figura 2.2), de maneira que cada atividade e cada ação desenvolvida foram inseridas no processo com propósitos particulares em termos de fundamentar a aprendizagem em sucessivas construções e reconstruções de modelos.

Visando caracterizar detalhadamente o processo de ensino em termos químicos, assim como contextualizar os dados que serão apresentados e analisados na discussão da primeira questão de pesquisa, cada um dos sistemas químicos disponibilizados para os alunos e as atividades a eles relacionadas serão apresentados de forma detalhada a seguir.

Como a proposição da elaboração de um modelo para o equilíbrio químico, bem como o desenvolvimento de idéias associados a esse tema, iniciaram-se na segunda aula (a partir da proposição do problema para a turma com o primeiro sistema empírico), a descrição do processo, apresentada a seguir, inicia-se a partir da mesma.

## **2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO EM TERMOS QUÍMICOS**

Antes do estudo do primeiro sistema empírico, na segunda aula, os alunos realizaram a *Atividade 03* (Anexo III), que tinha por objetivo caracterizar suas idéias prévias sobre uma reação química. A realização dessa atividade se deveu ao fato de que a idéia dos estudantes sobre *o que é uma reação química* influenciaria diretamente a construção dos modelos que eles teriam de propor nesse processo. Assim, as respostas a essa atividade foram utilizadas para ajudar a professora a conduzir o processo, conhecendo os modelos prévios dos alunos que poderiam contribuir com elementos para a construção dos novos modelos. Os alunos mostraram, através dessa atividade, que tinham a idéia de reação química como um ‘rearranjo de átomos’, que envolvia a quebra de ligações entre átomos de uma substância e formação de novas ligações, originando uma substância diferente daquela existente anteriormente. Os alunos também enfatizaram questões energéticas da reação, apresentando a idéia de que reações

químicas envolvem ganho ou perda de energia pelo sistema. Essas idéias foram condizentes com os modelos propostos por todos os grupos para o primeiro sistema que, por sua vez, envolvia a ocorrência de uma reação química que se processava em um único sentido.

### **2.1. O 1º SISTEMA: $N_2O_4(g) \rightarrow 2NO_2(g)$**

Esse primeiro sistema foi selecionado por apresentar claras evidências físicas da ocorrência de reação química, uma vez que os gases envolvidos apresentam cores bem distintas. Outros motivos bastante relevantes para a utilização desse sistema foram a relativa simplicidade de representação das estruturas das moléculas e o envolvimento de poucas substâncias na reação (facilitando tanto a própria elaboração do modelo mental quanto a sua representação).

Nessa primeira etapa, a reação foi demonstrada pela professora, enfocando apenas uma das reações (transformação do tetróxido de dinitrogênio,  $N_2O_4$ , em dióxido de nitrogênio,  $NO_2$ ). Para isso, um tubo de ensaio fechado, contendo gás  $N_2O_4$  (informação fornecida pela professora, que esclareceu que esse gás é incolor) foi transferido de um banho de gelo para o banho-maria. Observou-se a alteração da coloração do conteúdo do tubo, que passou de incolor para castanho. Nesse momento, a professora informou aos alunos que aquela coloração era atribuída ao gás  $NO_2$ . Após a observação desse sistema, foi solicitada a construção de um modelo que representasse *como* tal processo ocorria, utilizando o material disponibilizado.

A construção do primeiro modelo objetivou a elaboração e/ou reflexão sobre o processo de uma reação química (o que é, como ela ocorre, que fatores permitem e/ou dificultam a reação), permitindo que os alunos integrassem seus conhecimentos prévios sobre modelo cinético de partículas, quebra e formação de ligações químicas, entre outros.

O contato com o sistema físico e as informações que foram fornecidas sobre o mesmo tiveram a intenção de permitir que os alunos “tivessem experiência com o alvo”, uma vez que o propósito da atividade já estava definido pela professora (construir um modelo que representasse como aquela reação ocorria). Assim, eles poderiam compreender melhor o objetivo definido pela professora, tentando incluir em seus modelos aspectos que explicassem as evidências observadas.

**2.2. O 2º SISTEMA:  $2NO_{2(g)} \rightarrow N_2O_{4(g)}$** 

Após a apresentação dos modelos propostos anteriormente, foi apresentado o processo inverso envolvendo o mesmo sistema anterior. O tubo de ensaio, anteriormente na água quente (contendo o gás castanho), foi submetido ao resfriamento em banho de gelo, ficando incolor. Conhecendo as fórmulas dos gases e as respectivas colorações, os alunos, juntamente com a professora, interpretaram que aquele fenômeno envolvia a reação inversa daquela representada anteriormente, isto é, compreendia a transformação do gás  $NO_2$  em gás  $N_2O_4$ . Novamente foi solicitada a construção de um modelo para esse processo.

Essa atividade teve o propósito de os alunos conhecerem melhor a reação em questão e verificarem a possibilidade de uma reação ser reversível, uma vez que eles ainda não haviam estudado reversibilidade. Esse experimento buscou ampliar a “experiência com o alvo”, propiciando uma oportunidade para que os alunos incluíssem novos elementos no modelo anterior, modificassem ou abandonassem o mesmo. Dessa maneira, os alunos foram solicitados a comparar esse novo modelo àquele proposto anteriormente.

**2.3. O 3º SISTEMA:  $2NO_{2(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4(g)}$** 

Nessa terceira etapa envolvendo o sistema  $NO_2/N_2O_4$ , o tubo de ensaio foi retirado do banho de gelo e deixado à temperatura ambiente, assumindo uma coloração intermediária entre os outros dois sistemas observados anteriormente. Dois outros tubos foram utilizados para comparação: um na água quente e outro no banho de gelo. A solicitação nessa etapa foi a formulação de um modelo que explicasse a coloração do sistema à temperatura ambiente, com base nos modelos propostos anteriormente.

Essa atividade tinha o propósito de permitir que os alunos desenvolvessem a idéia de coexistência de espécies reagentes e produtos em um mesmo sistema. Além disso, as discussões com os grupos e com a turma possibilitaram perceber como eles concebiam aquele estado, isto é, se eles pensavam nas idéias de que: a reação ainda poderia estar ocorrendo, sem ter se processado por completo; apenas parte das espécies tinha reagido; ou a reação tinha parado de ocorrer (concepções alternativas freqüentemente relatadas na literatura). Em cada caso, as discussões também favoreceram a explicitação das justificativas das idéias dos alunos.

Essa etapa, além de permitir mais “experiência com o alvo”, propiciou, de certa forma, o teste dos modelos propostos anteriormente, uma vez que os mesmos deveriam ser utilizados nessa atividade.

#### 2.4. O 4º SISTEMA: $CrO_4^{2-}/Cr_2O_7^{2-}$

Esse sistema foi escolhido por ser, entre muitos exemplos envolvendo equilíbrio, um sistema relativamente simples, considerando a representação das estruturas das espécies envolvidas e o número dessas espécies, e que permite a visualização de espécies diferentes.

Na realização do experimento, que foi feito por cada grupo, os alunos transferiram 3,0 mL de uma solução aquosa de cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) 1,0 mol/L para um tubo de ensaio e, em seguida, acrescentaram 3,0 mL de solução, de mesma concentração, de ácido clorídrico (HCl). A relação estequiométrica entre os reagentes foi verificada junto aos alunos a partir da apresentação e discussão da equação da reação. Em seguida, mais ácido clorídrico foi acrescentado ao sistema, a fim de que ficasse certificado que havia ácido suficiente para reagir com todo o cromato. Na sequência, foram adicionadas algumas gotas de acetato de chumbo ( $Pb(C_2H_3O_2)_2$ )<sup>12</sup>, verificando-se a formação de um precipitado amarelo, cromato de chumbo ( $PbCrO_4$ ). Dessa maneira, verificou-se a existência de íons cromato em solução, mesmo após a adição do excesso de ácido.

A realização desse experimento objetivou evidenciar a existência de espécies reagentes e produtos em um sistema e favorecer o estabelecimento da conclusão de que há reações que não se processam por completo. Esse experimento foi planejado para evidenciar diferentes aspectos do equilíbrio químico, fazendo o aluno testar seu modelo anterior e, principalmente, para conflitar com uma concepção alternativa relatada na literatura, de que apenas parte dos reagentes do sistema com  $NO_2$  se transformam em  $N_2O_4$  por não haver energia suficiente para que a transformação ocorra por completo.

Nesse mesmo sentido, duas questões foram formuladas para o desenvolvimento da idéia de equilíbrio químico: estando trabalhando com o estado físico líquido (e considerando-se a existência de choques entre as espécies), o que faz com que algumas

---

<sup>12</sup> A fórmula do acetato de chumbo foi apresentada aos estudantes apenas de maneira ilustrativa, sendo posteriormente escrita de forma simplificada como  $PbAc_2$ . Aos alunos foi esclarecido que a espécie que reagia com o cromato era o íon chumbo ( $Pb^{2+}$ ), não havendo a necessidade de representação do íon acetato.

espécies se transformem em produtos e outras não? Qual a diferença entre elas? A partir dessas questões, esperava-se que os alunos pensassem no sistema como um todo, envolvendo choques entre todas as espécies.

Esse experimento possibilitou teste e, quando necessário, reformulação do modelo anterior.

### **2.5. TESTANDO O MODELO DE EQUILÍBRIO**

A reação anterior, entre cromato e ácido ( $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ ), foi novamente utilizada na atividade seguinte, mas com enfoque no deslocamento do equilíbrio químico. Cada grupo realizou o experimento colocando cerca de 3,0 mL da solução de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) em um tubo de ensaio ao qual, posteriormente, adicionou-se ácido clorídrico (HCl). Nessa etapa não foram consideradas as quantidades adicionadas, pois não havia a necessidade do estabelecimento de uma relação estequiométrica, como anteriormente. Esse experimento limitou-se à observação da alteração visual do sistema que, com a adição de ácido, fica alaranjado (evidenciando a existência de íons dicromato –  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). Posteriormente, adicionou-se uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), observando-se a alteração da coloração do sistema novamente para amarelo (evidenciando a existência de íons cromato –  $\text{CrO}_4^{2-}$ ). Através da evidência da coloração, os alunos, juntamente com a professora, interpretaram a reação em termos de produção dos íons cromato e dicromato.

Assim, esse último experimento objetivou fornecer evidências para o teste do modelo proposto para o experimento anterior. Isto poderia ser feito levando em consideração a frequência de choques entre as espécies de acordo com a concentração de cada reagente.

Durante a discussão final, esse último modelo foi relacionado àquele proposto para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ , contribuindo para que os alunos refletissem sobre o que realmente poderia estar ocorrendo naquele sistema.

Esse último experimento foi importante para que os alunos percebessem que atividades experimentais não são usadas apenas para coleta de dados (que, às vezes, podem subsidiar respostas para questões previamente definidas). Elas também podem

ser usadas, como nesse caso, para subsidiar a elaboração, avaliação e revisão de modelos.

### 3. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os dados que permitiram a elucidação de uma resposta para a primeira questão de pesquisa originaram-se, principalmente, da transcrição das aulas descritas na seção anterior, das atividades escritas realizadas durante esse período (*Atividades 3 a 8 – Anexos III a VIII*) e da avaliação final que os alunos realizaram sobre o tema (*Anexo XI*).

O processo de análise dos dados para responder a essa questão envolveu, inicialmente, a organização das discussões transcritas e dos dados escritos, para cada grupo. A partir desses dados foram escritos estudos de caso do processo vivenciado por cada grupo, buscando evidenciar os modelos que foram produzidos, quais aspectos foram reformulados em cada modelo e quais etapas do processo contribuíram para o desenvolvimento de cada uma das idéias no processo. Ao final de cada estudo de caso, os dados escritos da avaliação final foram utilizados no sentido de caracterizar os modelos individuais de cada aluno duas semanas após o término do processo de ensino. Nos textos dos estudos de caso, não foi identificada a origem de cada dado apresentado. Isto porque tal identificação não contribuiria em nada para uma melhor compreensão do texto. Além disso, de acordo com os princípios da pesquisa qualitativa, os vários dados coletados a partir de instrumentos diversos foram utilizados de forma integrada (complementando, explicando, corroborado uns aos outros) na redação de cada estudo de caso.

Os estudos de caso foram representados através de diagramas, construídos para evidenciar as etapas e os elementos do processo que influenciaram a aprendizagem dos principais conceitos de equilíbrio químico desenvolvidos por cada grupo, assim como os principais atributos dos sucessivos modelos elaborados por cada grupo. Todos esses aspectos estão presentes nos textos dos estudos de caso, mas a construção do diagrama favoreceu a visualização dos mesmos.

Nos diagramas, os dados estão apresentados em três colunas (não delineadas). Na coluna central encontra-se a esquematização do processo vivido por cada grupo. Os códigos aí utilizados – EEn, IPn e Mn – referem-se, respectivamente, a evidências experimentais, idéias prévias e modelos. Em todos eles, ‘n’ é o número de ordem. Em

relação aos modelos, é importante esclarecer que o número de ordem só foi modificado, isto é, só se considerou que os alunos elaboraram um modelo diferente, quando os atributos essenciais do modelo (aqueles que o caracterizam e que se relacionam com as concepções centrais de ‘ocorrência de reação química’ e ‘equilíbrio químico’) foram mudados. Quando os alunos apenas acrescentaram elemento mais periférico (por exemplo, o detalhamento de uma idéia diferente das concepções centrais, mas importante para o modelo como um todo), ou quando eles modificaram alguma dessas idéias, mas sem alterar as concepções centrais de um determinado modelo, a distinção foi feita acrescentando-se sucessivas apóstrofes ao código do modelo (por exemplo, M1’, M1’’, etc.).

Os diferentes códigos M foram representados dentro de figuras geométricas diferentes, a fim de facilitar a visualização da ocorrência de mudanças mais significativas nos modelos propostos pelos grupos. Ainda sobre as formas apresentadas nos diagramas, uma figura em branco foi representada para alguns grupos, em algum momento do processo. Tal figura se refere a um modelo que deveria ter sido expresso pelo grupo em um determinado momento, mas não o foi (apesar de as transcrições das discussões indicarem que alguns integrantes do grupo expressaram várias idéias, mas sem chegar a nenhuma conclusão, isto é, sem organizá-las em um modelo coerente com as mesmas).

Ao final dos processos vivenciados pelos grupos, foi indicada nos diagramas a idéia de ter se passado determinado ‘tempo’. Esse tempo foi o período de duas semanas que se passaram entre o término do processo e a realização da avaliação final. Durante esse período os alunos estiveram envolvidos com avaliações finais de outras disciplinas e aulas de química nas quais ocorreram atividades avaliativas sobre conteúdos anteriores. O tema equilíbrio químico não foi retomado em aulas durante esse período.

Os diagramas representam também modelos que apareceram simultaneamente no processo, o que é indicado através da bifurcação da linha vertical central. Isso ocorreu quando alunos do grupo apresentaram modelos diferentes para um mesmo processo. A continuidade a partir de um desses modelos indica o modelo que foi adotado consensualmente pelo grupo para aquela determinada situação.

Na representação do processo, as principais etapas foram nomeadas (expressão do modelo, apresentação para a turma, questionamento da professora, etc.) ao longo de

uma linha vertical. A única etapa não nomeada foi a discussão entre os alunos. Tal opção foi feita porque essa discussão ocorreu em praticamente todo o processo. Assim, quando nenhuma outra etapa é nomeada em um segmento da linha vertical, deve-se entender que ali ocorreu discussão entre os alunos.

A representação do processo através de uma linha central não remete à idéia de linearidade do processo. Tal linha se refere à seqüência em que os dados foram registrados, isto é, ela indica a continuidade de uma idéia a partir da anterior e a influência de todas essas idéias em modelos seguintes. Além disso, muitos acontecimentos ocorreram simultaneamente. Entretanto, a representação dos acontecimentos segue a ordem em que eles foram evidenciados nos dados disponíveis, não correspondendo exatamente à ordem em que ocorreram no processo. Por exemplo, algumas vezes a elaboração de um modelo precede sua expressão. Todavia, é possível que, na discussão interna do grupo, a elaboração do modelo só tenha se completado a partir de discussões de formas diferentes de expressá-lo.

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

Finalmente, na última coluna do diagrama, são apresentados os atributos principais dos modelos. Eles podem ou não se relacionar às concepções centrais, mas sempre caracterizam os modelos elaborados pelos alunos.

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

Na etapa final, foi feita uma comparação da análise dos três estudos de caso. Isto possibilitou traçar uma interseção entre os processos vivenciados pelos três grupos, destacando os elementos que contribuíram para o desenvolvimento de idéias sobre um mesmo aspecto em todos os processos. Dessa comparação também foi possível perceber

as diferentes influências de determinadas atividades ou intervenções no processo de cada grupo. Em suma, esta etapa final foi a que efetivamente respondeu a questão de pesquisa enfocada neste capítulo.

#### 4. GRUPO 3

##### 4.1. ESTUDO DE CASO

Esse grupo identificou a presença de  $\text{NO}_2$  para o primeiro sistema, apontando que mesmo no sistema gelado haveria esse gás (e não apenas  $\text{N}_2\text{O}_4$ ) devido ao sistema não ser totalmente incolor. A ocorrência da reação foi atribuída, pelo grupo, ao fornecimento de uma ‘energia de ativação’, que causaria o desprendimento das moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  em moléculas de  $\text{NO}_2$ .

Na representação do modelo, o grupo utilizou bolinhas de massinha para representar os átomos. Apesar de representar várias moléculas, ao serem questionados, os constituintes do grupo não souberam explicar o porquê disso.

Durante a apresentação do primeiro modelo, o grupo mostrou a representação de moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  (sistema resfriado) em um béquer com gelo ao redor (eles desenharam um béquer com gelo no caderno e seguraram as moléculas à frente dele). Em seguida, eles separaram as moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  em moléculas de  $\text{NO}_2$ , dizendo que era o que ocorria com o aumento da temperatura (nesse momento, o grupo alterou o desenho do béquer no caderno, colocando o desenho de um béquer apenas com água – a qual eles disseram estar aquecida – e fazendo a animação das moléculas de massinha de  $\text{NO}_2$  à frente deste). O grupo repetiu a explicação para socializá-la na turma e, ao fazer isso, refinou a explicação, falando de energia cinética e agitação das moléculas:

*“As moléculas estão na água fria, têm pouco movimento, passou para a água quente a energia cinética é maior, elas vão agitar mais. Aí, o que a gente pensou: aumentando a energia, vai transformar, elas vão se separar formando  $\text{NO}_2$ .” (A1G3)*

Após a apresentação do grupo, a professora propôs algumas questões, o que fez o grupo pensar em ‘o que promove a quebra da ligação do  $\text{N}_2\text{O}_4$  para a formação de  $\text{NO}_2$ ’. Inicialmente, os alunos responderam a esse questionamento atribuindo a quebra da ligação ao aumento da energia. Em seguida, o grupo relacionou a quebra da ligação ao movimento das moléculas, em especial aos choques. O grupo apresentou a idéia de

que a ligação entre os átomos de nitrogênio era mais fraca do que a ligação entre nitrogênio e oxigênio como justificativa para a quebra do  $N_2O_4$  em  $NO_2$  e para os átomos de oxigênio permanecerem ligados ao nitrogênio. Apesar dessa explicação, o grupo ressaltou que essa era uma limitação do modelo construído por eles, uma vez que eles não buscaram representar isso.

Na apresentação do modelo para a segunda situação ( $NO_2/N_2O_4$ ), o grupo afirmou não ter feito modificação no modelo anterior por ser “*quase a mesma coisa*”. Na explicação desse modelo, o grupo afirmou que a diminuição da temperatura provocaria a diminuição da energia cinética das moléculas e, em função disso, ocorreria a aproximação entre essas moléculas. O grupo apresentou, ainda, a idéia de que quanto menor a temperatura, maior a força de atração entre as moléculas.

Quando a professora solicitou uma melhor explicação dessa última idéia, um integrante do grupo (A2G3) recapitulou o modelo anterior<sup>13</sup> ( $N_2O_4/NO_2$ ), relacionando os choques, a energia cinética e a força (ou energia) de ligação das moléculas. O aluno afirmou que o aumento da temperatura provocaria o aumento da energia cinética das moléculas, fazendo com que ocorressem mais choques que quebrariam as moléculas, pois a força dos choques seria maior do que a “*força da ligação*”.

Nesse momento, a professora propôs uma outra questão: “*E na temperatura mais baixa, não vai haver choques?*”.

Ao responder essa pergunta, o mesmo aluno, inicialmente, afirmou que ocorreriam menos choques. Entretanto, à medida que foi respondendo, ele voltou atrás e afirmou que haveria choques do mesmo jeito que antes, mas que a energia da ligação seria maior do que a energia desses choques.

Na construção do modelo para o sistema à temperatura ambiente, o grupo iniciou com a idéia de que haveria um pouco de  $NO_2$  e um pouco de  $N_2O_4$ . Isso foi justificado considerando que não haveria energia suficiente para todas as moléculas de  $N_2O_4$  “virarem”  $NO_2$ :

*“Porque para virar um (composto) tem que ter a temperatura muito baixa e para formar o outro (composto) tem que ter a temperatura mais*

---

<sup>13</sup> Como se estivesse buscando a resposta para a pergunta da professora no modelo anterior, ou comparando os dois modelos.

*alta. Aí uns<sup>14</sup> conseguem e os outros não, aí fica um meio termo.”*  
(A4G3)

Após essa explicação do grupo, a professora apresentou uma outra questão:

*“Por que umas moléculas conseguem e as outras não conseguem? Qual a diferença de umas para as outras?”*

Como nenhum dos componentes do grupo a respondeu de imediato, a professora os aconselhou a pensar um pouco mais sobre isso, buscando relacionar as idéias de choques, energia e ligação.

Ao construir o modelo, o grupo colocou as duas espécies presentes no sistema: duas moléculas de  $\text{NO}_2$  e uma molécula de  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Ao serem questionados sobre o porquê dessa quantidade, o grupo afirmou que eles estavam fazendo mais moléculas. Entretanto, isto não pôde ser verificado antes do encerramento da aula.

Durante a exposição do modelo para a turma, a professora introduziu novamente a pergunta que havia sido feita ao grupo anteriormente (sobre por que uma molécula de  $\text{N}_2\text{O}_4$  havia se quebrado e outra não). Alguns membros do grupo (A3G3 e A4G3) responderam retomando a idéia de que a energia fornecida foi suficiente para quebrar apenas uma molécula; ao que outro aluno (A1G3) complementou dizendo que as outras duas moléculas de  $\text{NO}_2$  não se juntam por terem muita energia.

Nesse momento, A4G3 apresentou a primeira idéia relacionada mais diretamente com o equilíbrio químico:

*“O que eu pensei é que essas ( $\text{NO}_2$ ) juntam, essa separa, aí a outra separa e essa junta. (...) Como ela juntou, ela pode separar também.”*  
(A4G3)

A professora iniciou, então, uma discussão sobre como aquelas moléculas se juntavam, o que as fazia juntar. Para isso, foram propostas questões que fizeram os alunos recapitularem algumas características importantes do sistema, como o fato de ele ser gasoso, de que nesse estado as moléculas apresentam muito movimento, se chocam e transmitem energia através deles. Essa discussão foi apenas conduzida pela professora, de maneira que os próprios alunos discriminaram as características. Com isso, os alunos associaram a formação das ligações também aos choques, que eles atribuíram ao movimento das moléculas. Um aluno destacou, ainda, a necessidade de

---

<sup>14</sup> A análise do vídeo da aula evidenciou que ao falar “uns” a aluna se referia a “algumas moléculas”.

esses choques ocorrerem com uma orientação adequada para resultarem na formação da ligação.

Com o intuito de checar a confiança no modelo apresentado, a professora propôs a possibilidade de as moléculas se movimentarem infinitamente sem a ocorrência de choques ou de quebra de ligação, o que deixou o grupo em dúvida. Nesse momento, os alunos foram convidados a refletir sobre qual modelo estaria mais de acordo com o sistema com o qual eles estavam trabalhando.

Durante a discussão desse modelo com a turma, o grupo expressou sua opção pelo modelo em que as moléculas estariam se convertendo infinitamente umas nas outras, o que eles atribuíram ao movimento das moléculas no estado gasoso e aos choques. Assim, o grupo reafirmou a importância dos choques tanto para quebrar quanto para formar ligações. A professora questionou a diferença desse modelo para os anteriores, ao que o grupo reconheceu a inserção de outras idéias como movimento e posição de choques.

Para o sistema seguinte ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{CrO}_4^{2-}$ ) o grupo apresentou um modelo de ‘captura’ de um oxigênio do  $\text{CrO}_4^{2-}$  pelo íon  $\text{H}^+$ , formando uma espécie intermediária  $\text{CrO}_3$ , que se uniria ao íon  $\text{CrO}_4^{2-}$  para formar o íon  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . A justificativa para a ocorrência dessa reação foi apresentada pelo grupo como uma necessidade de o  $\text{CrO}_3$  se estabilizar. O oxigênio capturado pelo  $\text{H}^+$  formaria água, que era um dos produtos apresentados na equação geral da reação que havia sido fornecida a eles.

Ao serem questionados sobre o porquê da existência do cromato em solução mesmo após adição de ácido, os integrantes do grupo afirmaram que não conseguiam explicar. A professora, então, estimulou os alunos a comparar esse sistema ao sistema do modelo anterior, o que os levou a lembrar da existência de movimento das partículas também no estado líquido.

Apesar de pensarem na questão do movimento das espécies no sistema líquido, os membros do grupo não chegaram a formular um modelo que incluísse tal explicação. Na atividade seguinte, em que o modelo proposto foi testado, o grupo teve dificuldade em formular uma explicação, não chegando a uma conclusão sobre o que estava acontecendo. Diante disso, a professora explicitou, juntamente com os alunos, as

espécies participantes do sistema, enfatizando qual reagia com qual e sugerindo que eles relacionassem esses aspectos ao modelo anterior.

A participação desse grupo foi reduzida na discussão final. Entretanto, seus integrantes foram capazes de relacionar algumas das principais características do equilíbrio químico (como, por exemplo, o equilíbrio ser um processo dinâmico, em que a reação não pára de ocorrer, a velocidade da reação de formação dos produtos e da de formação dos reagentes serem iguais e a concentração dos reagentes e dos produtos serem constantes no equilíbrio), além de responderem corretamente às questões propostas pela professora.

Na avaliação final foi observado que a maioria dos integrantes do grupo apresentou, no geral, respostas coerentes em relação ao equilíbrio químico, como:

- a reação continua ocorrendo quando o sistema está em equilíbrio (A1G3, A2G3 e A3G3);
- as concentrações dos reagentes e produtos no equilíbrio são constantes e não iguais (A2G3 e A3G3);
- no equilíbrio químico há espécies reagentes e produtos (A1G3, A2G3 e A3G3).

Entretanto, os quatro alunos constituintes desse grupo, permaneceram com uma idéia incorreta sobre o equilíbrio químico: a confusão entre estequiometria da reação e quantidades no equilíbrio químico.

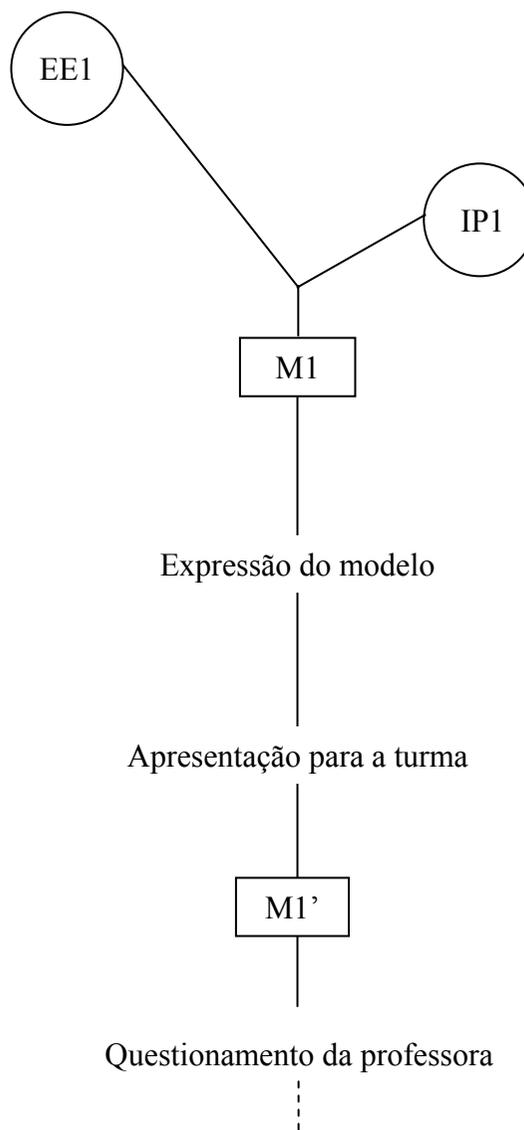
Além disso, observou-se que os alunos tiveram grande dificuldade para analisar as situações que envolviam deslocamento do equilíbrio químico, pois todas as respostas para esse item foram incorretas.

#### ***4.2. DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO***

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Mudança de coloração no sistema indicando a transformação  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{NO}_2$ .
- Energia de ativação.
- Relação entre energia cinética e temperatura.
- Utilização de bolinhas de massinha formando moléculas, desenhos de recipientes (aquecido e resfriado) no caderno e animação das partículas com velocidades diferentes.
- O que promove a quebra das ligações no  $\text{N}_2\text{O}_4$  para formar  $\text{NO}_2$ ?

## PROCESSO



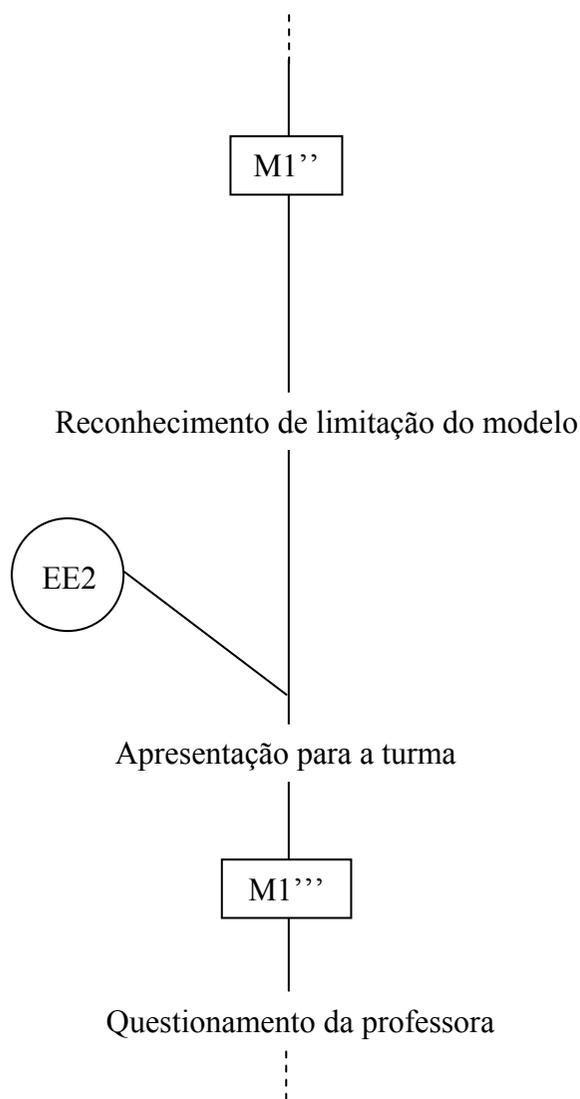
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Uma energia de ativação, fornecida pelo aquecimento, transforma o  $\text{N}_2\text{O}_4$  em  $\text{NO}_2$ .
- O aumento da energia cinética provoca mais agitação, fazendo com que as moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  se quebrem em  $\text{NO}_2$ .

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Elementos apresentados pelo grupo em M1'' não estavam em M1'.
- Mudança de coloração do sistema indicando a transformação inversa:  $\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$
- Solicitação de melhor explicação da última idéia.

## PROCESSO



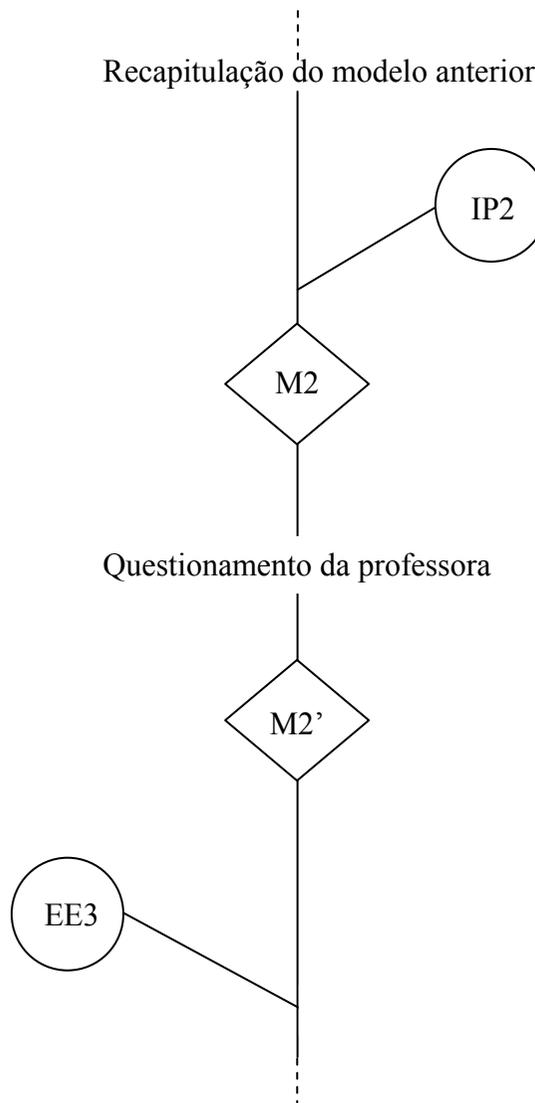
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A quebra da molécula de  $\text{N}_2\text{O}_4$  ocorre devido aos choques, conseqüentes do movimento.
- A ligação N-O é mais forte do que a ligação N-N, resultando na formação de moléculas de  $\text{NO}_2$ .
- A diminuição da temperatura provoca diminuição da energia cinética e conseqüente aproximação entre as moléculas.
- Quanto menor a temperatura, maior a força de atração entre as moléculas.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Relacionamento de choques, energia cinética e energia da ligação.
- Características do sistema: movimento, energia cinética, choques.
- Na temperatura mais baixa também vão ocorrer choques?
- Coloração intermediária do sistema, indicando presença de  $N_2O_4$  e  $NO_2$ .

## PROCESSO



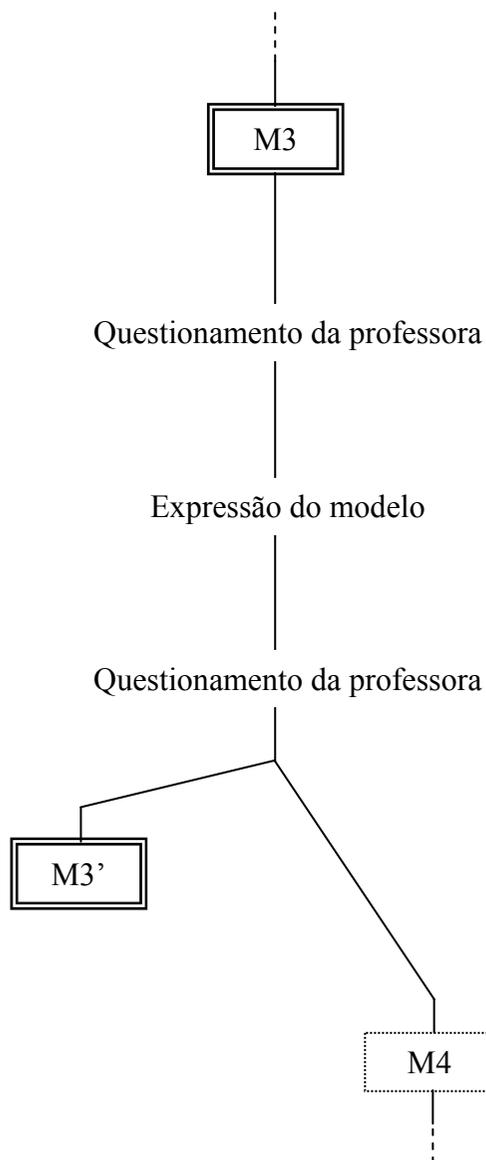
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Na temperatura mais elevada, a força dos choques é maior do que a força da ligação, o que resulta na quebra das moléculas.
- Haverá choques mesmo a uma temperatura mais baixa, mas a energia da ligação é maior do que a dos choques.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Por que algumas moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  se quebram e outras não? Qual a diferença entre elas?
- Representação de duas moléculas de  $\text{NO}_2$  e uma de  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- Por que a representação dessa quantidade de moléculas?

## PROCESSO



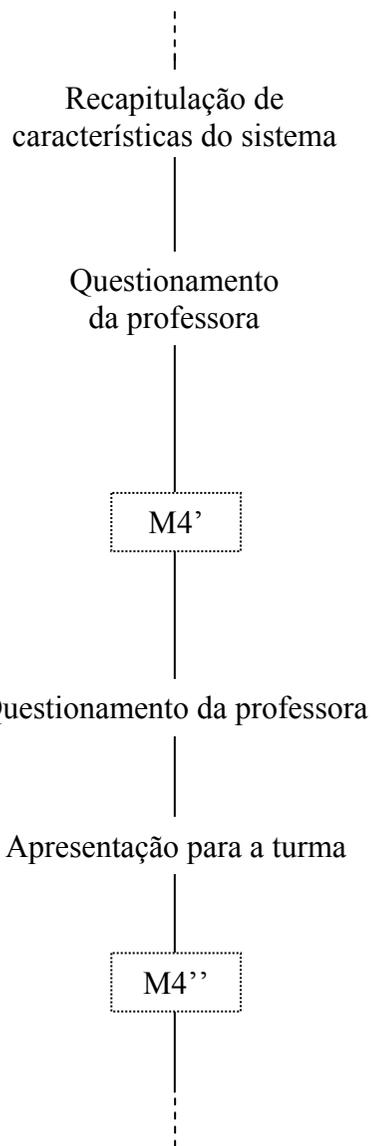
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Presença de  $\text{N}_2\text{O}_4$  e  $\text{NO}_2$  no sistema.
  - Não há energia suficiente para quebrar todo o  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- 
- A energia fornecida foi suficiente para quebrar apenas algumas moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
  - As moléculas de  $\text{NO}_2$  não se juntam por terem muita energia.
  - As moléculas de  $\text{NO}_2$  se juntam, a de  $\text{N}_2\text{O}_4$  se separa, e assim sucessivamente.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Movimento, choque e energia no estado gasoso.
- Como as moléculas se juntam? O que as faz juntar?
- É possível que essas moléculas se movimentem indefinidamente sem choques ou quebra de ligação? Qual modelo vocês acham mais adequado?

## PROCESSO



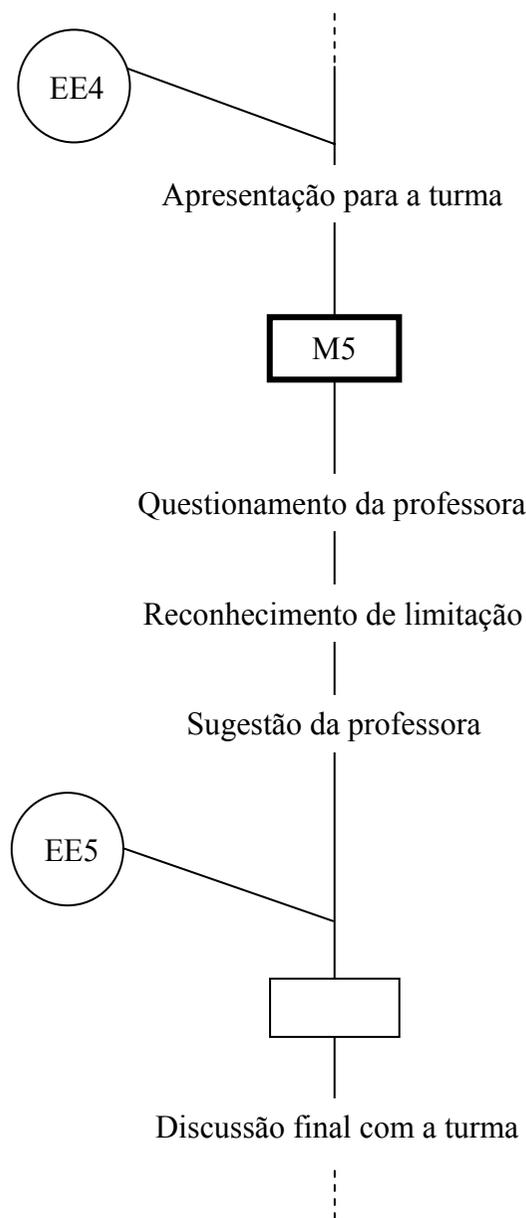
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A formação das ligações pode ser atribuída aos choques.
- Os choques devem ocorrer em orientação determinada para a ocorrência de ligação.
- As moléculas se convertem infinitamente umas nas outras, devido aos choques resultantes do movimento no estado gasoso.
- Os choques são responsáveis pela quebra e pela formação das ligações.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Visualização de coloração laranja (indicando a formação de dicromato a partir do cromato) e de precipitado indicando a presença de cromato.
- Por que sobra cromato mesmo após a adição de ácido?
- Recapitulação das IP2 relacionadas ao sistema líquido.
- Deslocamento do equilíbrio cromato/dicromato pela adição de ácido e base.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

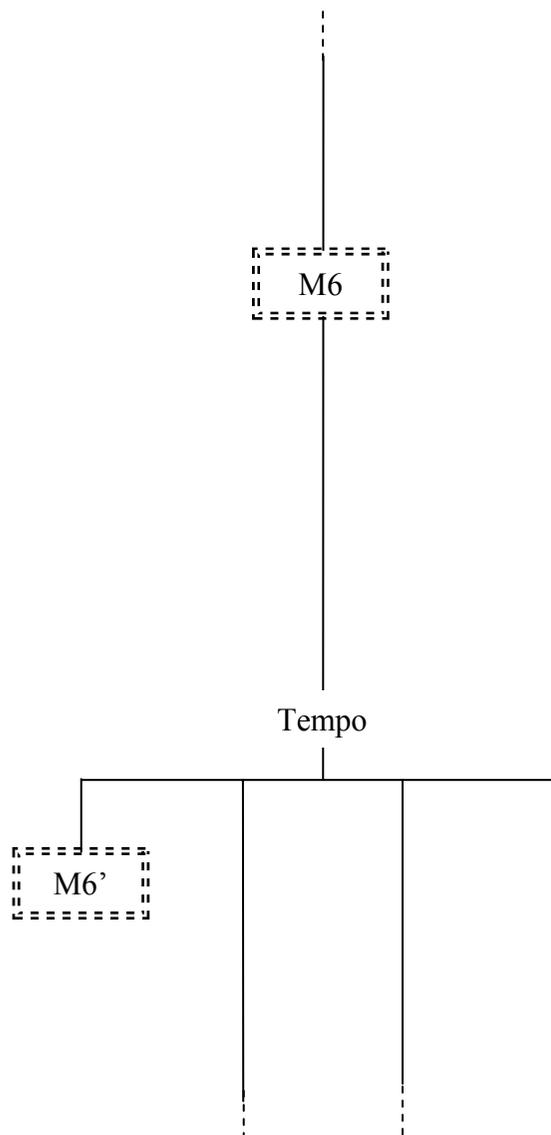
- O íon  $H^+$  captura um oxigênio do  $CrO_4^{2-}$ , formando uma espécie de  $CrO_3$ , que se une ao  $CrO_4^{2-}$  e forma  $Cr_2O_7^{2-}$ .
- A ligação ocorre pela necessidade do  $CrO_3$  se estabilizar.
- O  $H^+$  ligado ao oxigênio forma água.
  
- O modelo não consegue explicar a presença de cromato.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Na discussão, o grupo enfatizou as seguintes características:

- Equilíbrio é dinâmico.
- Concentrações dos reagentes e dos produtos são constantes no equilíbrio.
- Velocidade de formação de reagente é igual à velocidade de formação dos produtos no equilíbrio.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Todas as espécies (reagentes e produtos) coexistem no equilíbrio.
- Equilíbrio é dinâmico.
- Velocidade direta é igual à velocidade inversa no equilíbrio.
- Concentrações dos reagentes e dos produtos são constantes no equilíbrio.
- Existem diferentes estados de equilíbrio em diferentes temperaturas.
- Há diferentes proporções entre reagentes e produtos para cada estado de equilíbrio.
- O equilíbrio é deslocado pela alteração da quantidade de alguma espécie no equilíbrio.

- Velocidades iguais e constantes das reações direta e inversa; concentrações constantes no equilíbrio; concentração dos reagentes é igual à concentração dos produtos; sistema dinâmico.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

M6''

M6'''

M7

- Velocidade direta é igual à velocidade inversa; concentrações dos reagentes e concentrações dos produtos constantes; coloração intermediária; a reação não pára.
- Concentrações dos reagentes e dos produtos são constantes; reação reversível.
- Concentração igual de reagentes e produtos; a reação pára de ocorrer.

### 4.3. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

A partir da análise do diagrama construído para o grupo 3, é possível identificar a relevância de cada um dos elementos do processo de ensino na aprendizagem dos alunos de alguns conceitos de Equilíbrio Químico.

As evidências empíricas introduzidas no processo (EE) foram fundamentais para trazer aos estudantes novos elementos sobre os sistemas estudados, o que os levou a reformular os modelos propostos (EE2), ou mesmo propor novos modelos (EE3 e EE4).

Apesar de as EE5 terem sido introduzidas no processo com o propósito de contribuir para que o grupo testasse o modelo produzido anteriormente (podendo reformulá-lo ou abandoná-lo), o grupo não conseguiu interpretar essas evidências e relacioná-las ao modelo anterior. Apesar de o grupo ter apresentado uma idéia consistente de equilíbrio químico para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ , a não aplicação dessa idéia ao sistema cromato/dicromato tornou o modelo proposto por eles (M5) inconsistente com as EE5. Entretanto, as EE5 foram um elemento importante para que o grupo, na discussão final, retomasse a idéia de processo dinâmico no equilíbrio, contribuindo para a elaboração do modelo consensual da turma (M6).

Outros aspectos do processo fundamentais para o desenvolvimento dos modelos foram os questionamentos e sugestões da professora. É possível observar que essas intervenções da professora levaram os alunos a refletir sobre os modelos que eles construíram, o que resultou, muitas vezes, em reformulação ou proposição de novos modelos. Os questionamentos da professora também foram importantes para os alunos refletirem a respeito das características do sistema e para que eles pudessem relacionar seus conhecimentos prévios àquela nova situação (como relacionar o movimento das moléculas e os choques à ocorrência da reação e à dinâmica do processo).

Durante o processo foi possível observar que os estudantes recapitularam conceitos e modelos já estudados, integraram esses conhecimentos e, principalmente, construíram novos significados a partir da aplicação desses conhecimentos. Isso pode ser observado, por exemplo, quando os estudantes apresentaram o primeiro modelo que envolvia uma idéia de equilíbrio químico mais consistente (M4). O relacionamento do que eles estavam investigando naquele sistema com o conhecimento prévio sobre energia e movimento envolvidos no estado gasoso (IP2) foi fundamental para o desenvolvimento desse modelo. Vale ressaltar, nesse momento, a contribuição do

questionamento da professora para o relacionamento dessas idéias e desenvolvimento do novo modelo:

*“Por que umas moléculas de  $N_2O_4$  quebram e outras não? O que há de diferente entre elas?”*

O processo de expressar os modelos de maneira concreta possibilitou à professora identificar elementos não expressos nas falas dos alunos e questioná-los (como ocorreu após a expressão de M3), verificando o que os alunos realmente tinham pensado a respeito de determinado modelo. A expressão dos modelos também permitiu aos alunos refletir sobre questões que não necessariamente estavam presentes em seus modelos mentais, como a estrutura das moléculas em estudo e o direcionamento dos choques.

A expressão dos modelos foi importante para os alunos comunicarem suas idéias para a turma. Além disso, a apresentação dos seus próprios modelos foi um fator que favoreceu a ocorrência de reformulações desses. Isso foi observado, por exemplo, durante a apresentação de M1”, seja pela incorporação de idéias apresentadas por outros grupos, seja pela percepção da necessidade de agregação de novos elementos à explicação.

Como todo o processo foi socializado entre todos os grupos da turma, existe a possibilidade de as idéias de outros grupos terem contribuído para os modelos construídos por esse grupo. Entretanto, isso não foi evidenciado pelos dados disponíveis.

Ao final do processo, foi possível observar que, em geral, os modelos que os alunos expressaram na avaliação final mantiveram características coerentes com o equilíbrio químico, apesar de terem se mostrado bastante incompletos. O caráter dinâmico do processo e as concentrações dos reagentes e dos produtos constantes no equilíbrio foram características apresentadas por três dos quatro integrantes do grupo (A1G3, A2G3 e A3G3).

Uma característica bastante incoerente apresentada nos modelos de A1G3 e A4G3 foi a igualdade de concentrações de reagentes e produtos no equilíbrio.

O modelo apresentado pelo aluno A4G3 se destacou por se distanciar do modelo consensual desenvolvido pela turma e mesmo dos modelos elaborados pelo grupo durante o processo, chegando a apresentar a idéia de que a reação pára de ocorrer

quando atinge o equilíbrio. Essa observação parece incoerente com a participação desse aluno ao longo do processo, que foi uma das mais ativas do grupo, chegando a ser o primeiro a apresentar uma idéia próxima à aceita cientificamente para o equilíbrio químico. A única hipótese plausível que conseguimos elaborar para explicar tal observação foi o fato de os modelos individuais dos alunos terem sido expressos na avaliação que foi aplicada em uma das últimas aulas do ano letivo. Nessa circunstância, alunos menos comprometidos, ou que já estavam aprovados na disciplina, podem ter-se furtado de pensar seriamente e expressar suas idéias de forma coerente com o processo vivido.

A limitada compreensão do equilíbrio químico pelos integrantes do grupo vai de encontro à restrita participação desses alunos na construção e discussão do modelo consensual da turma. O modelo M6', que foi o mais completo dentre os apresentados pelos integrantes do grupo, foi apresentado pelo aluno A1G3, o qual se destacou dentro do grupo nessa mesma discussão final.

Todos os integrantes do grupo apresentaram dificuldades em relação à compreensão do deslocamento do equilíbrio químico, o que pode ser atribuído ao fato de apenas um momento, ao final desse processo, ter contemplado a discussão dessa característica. Talvez por isso, e pelo fato de os alunos desse grupo não terem se engajado na discussão desse ponto no momento do desenvolvimento do modelo consensual da turma, ele tenha sido um aspecto que os integrantes desse grupo não conseguiram incorporar ao seu último modelo.

## 5. GRUPO 4

### 5.1. ESTUDO DE CASO

Os alunos desse grupo iniciaram a discussão do primeiro sistema ( $N_2O_4/NO_2$ ) apontando a reação como sendo reversível (apesar de até esse momento não terem dados para afirmar isso). Ao serem questionados pela professora sobre o significado de 'ser reversível', um integrante do grupo (A1G4) argumentou que, neste caso, os produtos são menos estáveis do que os reagentes; por isso só existem numa determinada condição de temperatura e pressão. Outro integrante do grupo (A3G4) complementou a resposta afirmando que a reação poderia ser revertida apenas mudando a temperatura, devido à diferença de energia entre reagentes e produtos não ser tão grande.

Para começar a construir o modelo, o grupo identificou características que deveriam aparecer no mesmo: movimento e interação entre as partículas.

Após pensar um pouco mais sobre o modelo, os alunos propuseram que inicialmente só haveria moléculas de  $N_2O_4$ , que seriam duas moléculas de  $NO_2$  ligadas por uma “*ligação pouco estável*”. Com o aumento da temperatura, essa ligação se romperia e ocorreria a formação de duas moléculas de  $NO_2$ . Apesar de ainda não terem observado nenhuma evidência da reação inversa, o grupo apresentou também a idéia de que, com a diminuição da temperatura, a ligação se formaria de novo.

A professora questionou o grupo sobre a representação de uma única molécula de  $N_2O_4$ , ao que eles argumentaram que aquilo representaria o que eles queriam mostrar, mas não o que acontece no sistema, por haver mais moléculas no sistema e pela possibilidade de existirem outros gases no mesmo. Um dos integrantes do grupo complementou essa resposta atribuindo a coloração do sistema à interação entre as moléculas.

Na apresentação do modelo para a segunda situação ( $NO_2/N_2O_4$ ), o grupo afirmou não ter feito nenhuma modificação no modelo anterior, pois eles já tinham tentado explicar a reação inversa. Ao descrever o modelo, o grupo apresentou que a diminuição da temperatura levaria à formação da ligação entre duas moléculas de  $NO_2$ . Entretanto, nesse momento um integrante do próprio grupo (A1G4) questionou: “*Mas como?*”.

Perante esse questionamento, o grupo prosseguiu a discussão apresentando o porquê da formação da ligação. Inicialmente foi apresentada a explicação de que a diminuição da temperatura causaria a aproximação das moléculas devido à diminuição da energia cinética. Nesse momento, a professora formulou algumas questões:

“*Com qual estado físico vocês estão trabalhando?*”; “*As moléculas ficarão mais próximas (com a diminuição da temperatura)?*”

Mediante esse questionamento, o grupo percebeu a inconsistência da explicação anterior e, com base nas características do estado gasoso, os alunos passaram a afirmar que não ocorreria aproximação entre as moléculas, mas apenas diminuição da energia cinética. A professora, então, propôs outro questionamento: “*E agitando menos, forma ligação?*”. A1G4 respondeu que não necessariamente. Porém, na tentativa de explicar a formação da ligação, A4G4 afirmou que, naquele caso, deveria formar.

Em uma outra tentativa de explicar a formação da ligação no  $N_2O_4$ , o grupo discutiu em relação à absorção ou liberação de energia para formar ligação e relacionou isso à estabilidade da molécula. Esta idéia se apresentou bastante confusa para o grupo, que não conseguiu chegar a uma conclusão sobre se para quebrar uma ligação ocorreria absorção ou liberação de energia. Ao final dessa discussão, A3G4 introduziu a idéia de formação de ligação em função de cargas, idéia esta que foi retomada posteriormente (no estudo do sistema contendo  $NO_2$  e  $N_2O_4$  à temperatura ambiente).

No modelo para o sistema à temperatura ambiente, apesar de os alunos do grupo afirmarem que estavam observando a possibilidade da ocorrência da ligação devido à existência de cargas da molécula, eles não aplicaram essa idéia. Ao invés disso, tentaram explicar a formação da ligação através da energia da ligação e da estabilidade das espécies.

Os alunos afirmaram discordar do modelo que eles mesmos propuseram anteriormente, uma vez que acreditavam ser o  $NO_2$  mais estável do que o  $N_2O_4$ . Em seguida, afirmaram que, com o aumento da temperatura, as moléculas começariam a se chocar mais. Após a professora questionar o papel dos choques nesse processo, um integrante do grupo associou a quebra da ligação à ocorrência dos choques. A formação da ligação, porém, ainda não foi explicada pelo grupo.

Ao tentar explicar as evidências do sistema à temperatura intermediária, o grupo fez uma analogia com um outro sistema: um copo com água. O grupo apresentou a idéia de que a tendência do sistema em estudo seria conter apenas  $NO_2$  ou apenas  $N_2O_4$ , semelhante à tendência que a água de um copo tem de se transformar em vapor. Essa idéia foi justificada pela crença de que, com o tempo, todas as moléculas tenderiam a ter a mesma energia, ou seja, dessa forma elas teriam a “*mesma tendência*”.

Ao ser questionado pela professora sobre a idéia de estabilidade, A1G4 explicitou uma situação de ensino que ele vivenciou anteriormente sobre reversibilidade das reações e estabilidade:

*“E eu vi uma vez num trabalho que antigamente a gente tinha a idéia que reação química era irreversível; eu vi que não era, mas que tinham algumas reações só. E a gente fez o trabalho sobre formação de pedras calcárias e a gente viu que os produtos formados eram menos estáveis que os reagentes, por isso depois a reação voltava. Aí, eu pensei que o produto formado é menos estável que os reagentes para ele poder voltar no final aos reagentes.” (A1G4)*

Nesse momento, a professora redirecionou o foco da discussão para ‘como a reação ocorre de maneira que as duas espécies coexistam no mesmo sistema’, ao que o aluno A3G4 apontou o efeito dos choques. Outro integrante do grupo (A1G4) retornou ao exemplo da água, afirmando que se fosse só por causa dos choques tudo viraria uma coisa ou outra. A professora então propôs uma questão sobre a analogia do aluno: “*Vocês já fizeram isso com a água com o copo fechado?*” A partir dessa questão, os alunos do grupo discutiram entre si e desprezaram a analogia do copo com água.

O grupo não chegou a uma conclusão, ou a um modelo, para o sistema à temperatura ambiente. Entretanto, após a apresentação do grupo 6, os integrantes desse grupo disseram que achavam que a idéia daquele grupo explicava bem o que poderia estar acontecendo (que a reação ocorria numa espécie de ‘ciclo’, reagentes virando produtos e, ao mesmo tempo, produtos virando reagentes):

*“As partículas se chocam e formam  $NO_2$ , aí elas continuam se chocando e formam  $N_2O_4$ .” (A3G4)*

A professora questionou os integrantes do grupo sobre a representação de um maior número de moléculas nesse modelo, comparado aos modelos anteriores, ao que os alunos alegaram que essa representação era para justificar a formação da coloração.

Naquele momento, um integrante de outro grupo (A1G6) observou que, segundo essa idéia, poderia haver  $NO_2$  no sistema resfriado. Ao discutir esse comentário, A1G4 afirmou que elas existiriam sim, o que era justificado pela leve coloração do conteúdo do tubo.

Na construção do modelo para o sistema cromato/dicromato, a professora sugeriu, inicialmente, que eles pensassem no estado físico com o qual estavam trabalhando e nas características dele.

Quando da apresentação do modelo construído, o grupo mostrou um modelo segundo o qual dois íons  $H^+$  “pegavam” um átomo de oxigênio de um cromato, formando água e um “pedaço de cromato” (algo como  $CrO_3$ ). Esse ‘pedaço de cromato’ se ligaria a um outro cromato (possivelmente por atração entre cargas) e formaria o dicromato. Continuando essa explicação, para explicar a presença de cromato na solução, esse grupo apresentou uma idéia de ressonância do oxigênio entre dois átomos de cromo:

*“O cromato vai estar compartilhando um oxigênio com o outro cromato faltando um oxigênio. Então ora o oxigênio vai estar formando um*

*cromato, ora ele vai estar formando um dicromato inteiro. Ou não! Ou sim!” (A1G4)*

O aluno A2G4 questionou se a reação se processou por completo ou não. Ao responder, a professora lembrou a evidência empírica observada – formação de um precipitado quando do gotejamento de solução de  $\text{Pb}^{2+}$  – para comprovar que ainda existia cromato na solução e, imediatamente, devolveu o questionamento aos alunos.

Apesar de não explicitarem um modelo final para essa reação, os alunos desse grupo passaram à atividade seguinte, realizando outro experimento para testar as idéias desenvolvidas por eles. A seguir, eles recapitularam o experimento anterior em conjunto com a professora, lembrando que, apesar da adição em proporções estequiométricas de ácido e cromato, nem todo cromato reagia, indicando também a presença de ácido na solução.

O grupo questionou, ainda, a possibilidade de variar a coloração do sistema ao variar a quantidade de cromato e dicromato. Entretanto, o modelo final apresentado por eles, não explicava a mudança de coloração devido à adição de  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$ . Segundo o grupo, inicialmente tinha-se cromato, dicromato e  $\text{H}^+$  no sistema. A adição de  $\text{OH}^-$  levaria à formação de água pela reação com a espécie  $\text{H}^+$ . Dessa forma, não haveria alteração nas concentrações de cromato e de dicromato e, conseqüentemente, não haveria alteração na coloração.

O grupo participou ativamente da discussão final, enfatizando questões como a possibilidade de haver equilíbrio em diferentes temperaturas e as diferentes proporções de reagentes e produtos para cada caso.

Na avaliação final, os três integrantes do grupo apresentaram claramente as seguintes idéias sobre equilíbrio químico:

- as concentrações dos reagentes e produtos no equilíbrio são constantes e não iguais;
- no equilíbrio, a reação continua a ocorrer;
- no equilíbrio, há presença de reagentes e produtos;
- a alteração da concentração de alguma espécie levará o sistema a buscar um novo estado de equilíbrio.

Todavia, foi possível observar que, mesmo participando ativamente de todas as aulas e discussões, A1G4 apresentou dificuldades em relação à compreensão da alteração do equilíbrio químico. Uma concepção interessante apresentada por ele foi a impossibilidade de a concentração de reagentes ser igual à dos produtos. Isso foi apresentado na questão 3e da avaliação final (Anexo XI), em que a figura mostra uma mesma quantidade de moléculas de reagentes ( $H_2$  e  $I_2$ ) e produto (HI). O aluno assinalou que aquela representação estaria falsa e colocou a seguinte justificativa:

*“Porque a concentração de  $H_2$  e  $I_2$  está igual à concentração de HI.”*  
(A1G4)

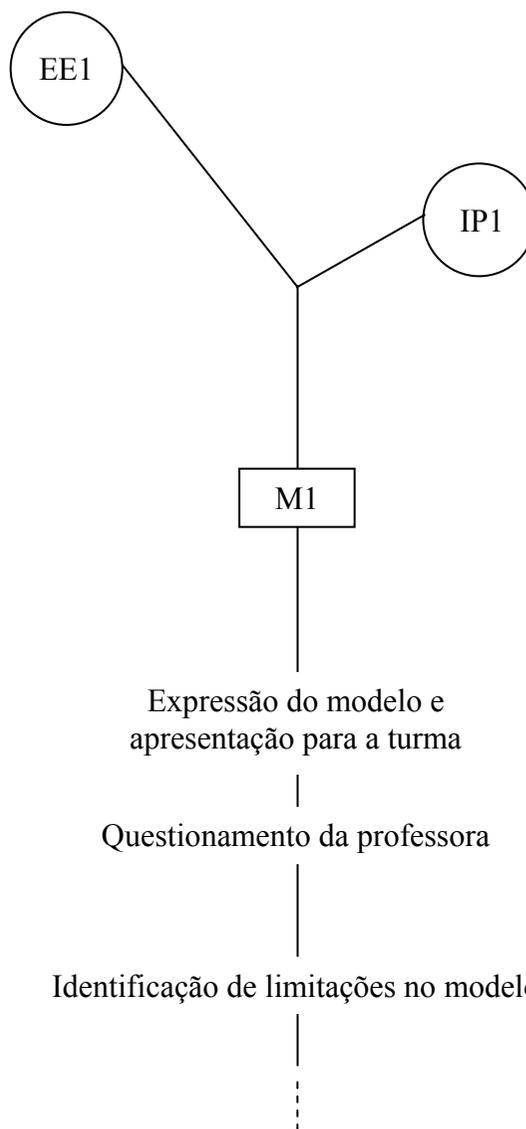
## **5.2. DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO**

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Mudança de coloração no sistema indicando a transformação  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{NO}_2$ .
- Reversibilidade.
- Movimento das partículas no estado gasoso.
- Interações entre as partículas.

- Por que a representação de apenas uma molécula de  $\text{N}_2\text{O}_4$ ?

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

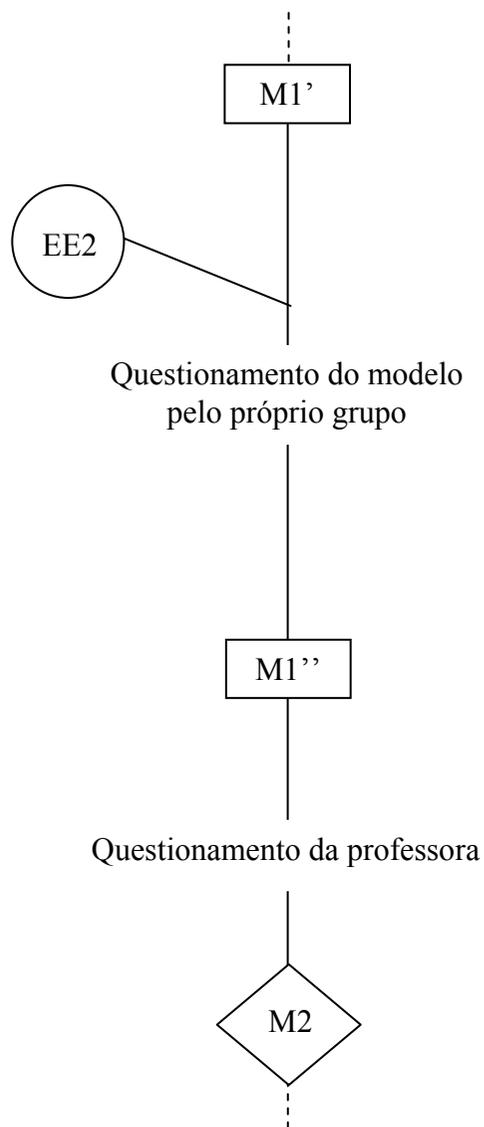
- Moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  (formadas por duas moléculas de  $\text{NO}_2$  ligadas por uma ligação pouco estável) se quebram em moléculas de  $\text{NO}_2$  com o aumento da temperatura.
- A diminuição da temperatura provocaria a formação de  $\text{N}_2\text{O}_4$  pela ligação de moléculas de  $\text{NO}_2$ .

- O sistema tem mais moléculas do que representado no modelo.
- Pode haver outros gases no sistema que não apenas  $\text{N}_2\text{O}_4$  e  $\text{NO}_2$ .
- O modelo não mostra a mudança de coloração.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Mudança de coloração do sistema indicando a transformação inversa:  $\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$
- Como a diminuição da temperatura levaria à formação da ligação entre duas moléculas de  $\text{NO}_2$ ?
- Com qual estado físico vocês estão trabalhando?
- As moléculas ficarão mais próximas com a diminuição da temperatura?

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A coloração do sistema se deve à interação entre as moléculas.
- A diminuição da temperatura causaria a aproximação das moléculas devido à diminuição da energia cinética.
- Não ocorre a aproximação das moléculas, apenas a diminuição da energia cinética.

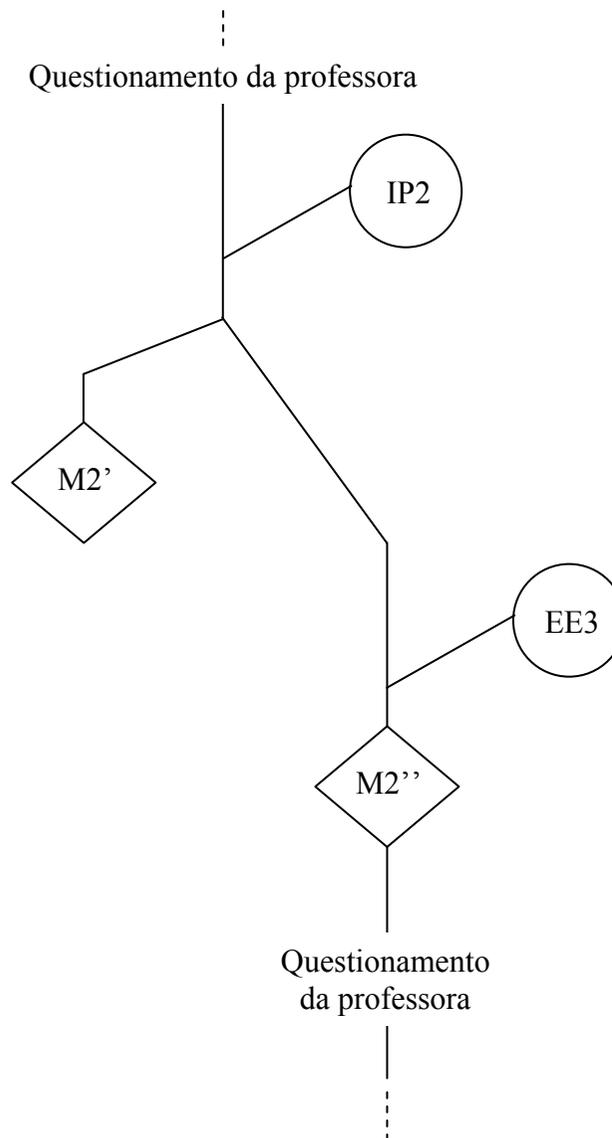
## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Menor grau de agitação das moléculas provoca a formação de ligação?
- Estabilidade da molécula para explicar a formação da ligação.

- Coloração intermediária do sistema indicando presença de  $\text{NO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

- Qual o papel dos choques nesse processo?

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

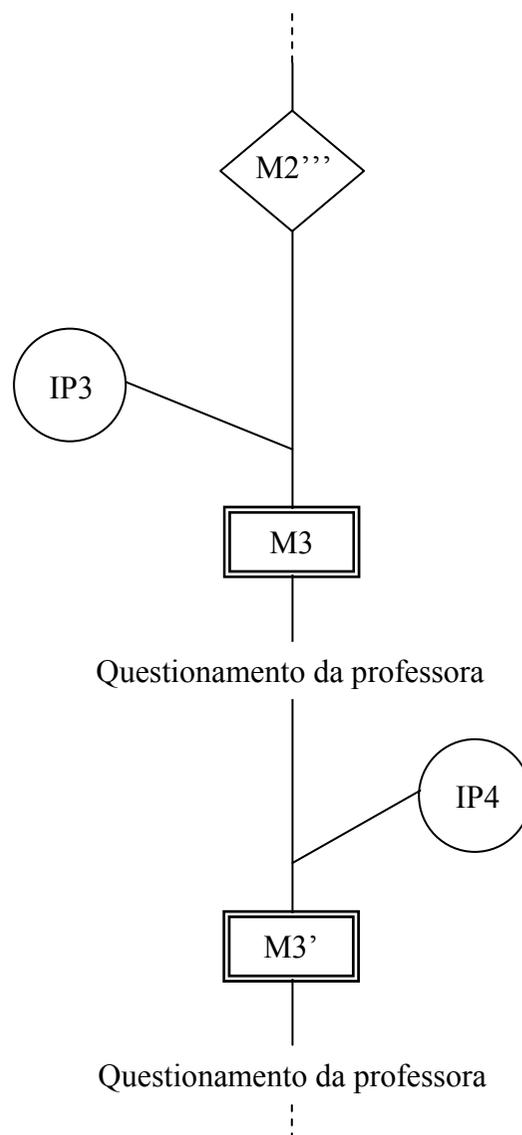
- A formação da ligação é atribuída à existência de cargas. (Explicação não expressa no modelo.)

- A formação da ligação se deve à energia de ligação e estabilidade das espécies.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Estabelecimento de uma analogia do sistema em estudo com um copo com água.
- O que é estabilidade?
- Exemplo de uma reação reversível em decorrência da menor estabilidade dos produtos.
- Como a reação ocorre de forma a existirem as duas espécies no sistema?

## PROCESSO



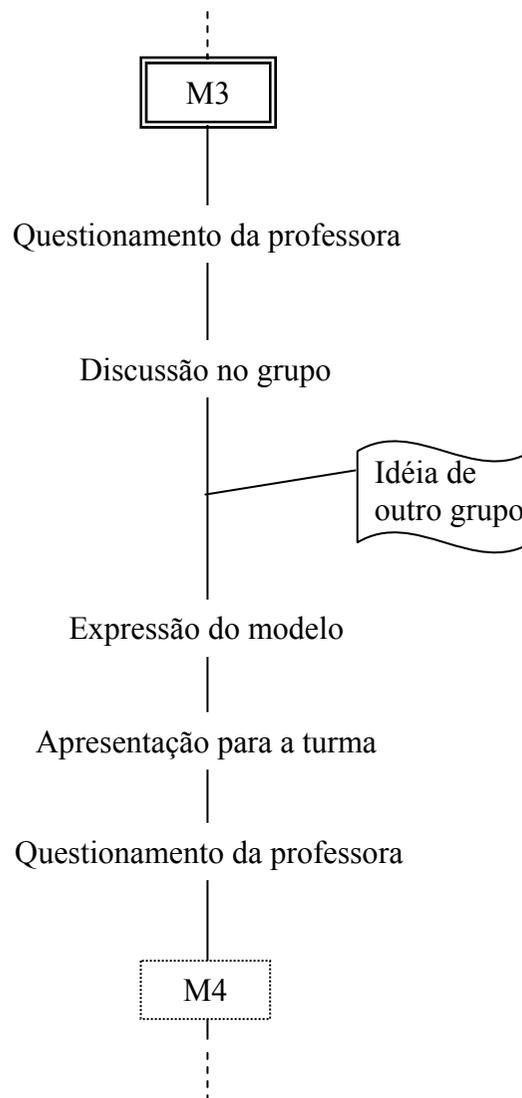
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- $\text{NO}_2$  é mais estável do que  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- O aumento da temperatura provoca mais choques.
- A quebra da ligação está associada à ocorrência dos choques.
- A formação da ligação ainda não é explicada.
- Com o tempo, todas as moléculas tendem a ter a mesma energia, restando apenas  $\text{NO}_2$  ou  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- Uma reação é reversível quando o produto formado é menos estável do que os reagentes.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Vocês já fizeram isso com o copo d'água fechado?
- Desprezam a analogia com o copo d'água.
- Concordância com a idéia apresentada pelo grupo 6, de ocorrência de uma espécie de ciclo.
- Moléculas semelhantes aos modelos anteriores, porém em maior número.
- Por que esse número de moléculas?

## PROCESSO



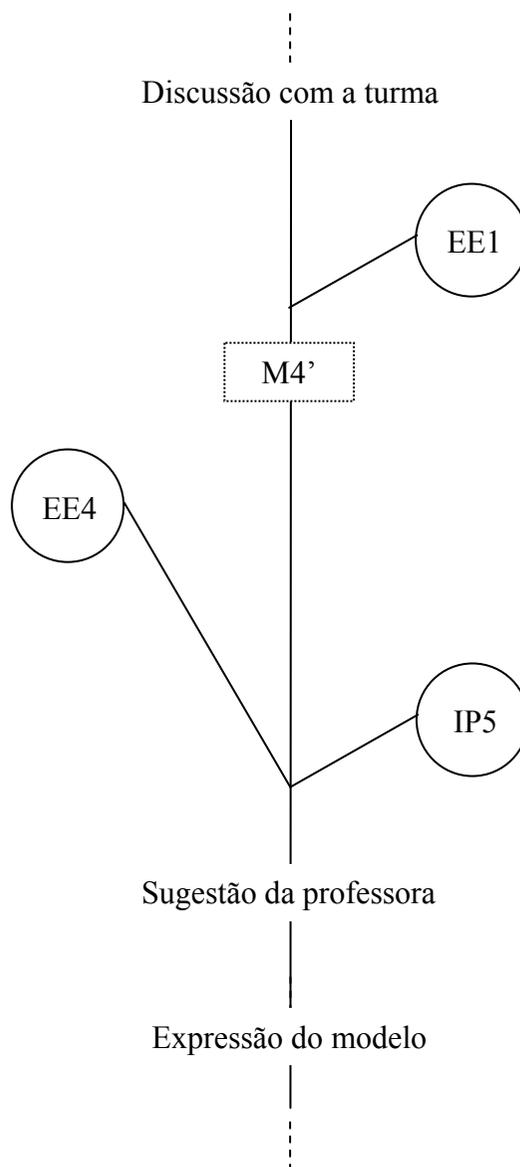
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Devido aos choques haveria apenas  $\text{NO}_2$  ou  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- Os choques promovem a formação de  $\text{NO}_2$  e, ao mesmo tempo, de  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
- Representação de maior número de moléculas para representar a cor.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Recapitulação do primeiro sistema à luz de M4 (aluno do grupo 6).
- Retomada do primeiro sistema enfatizando a coloração levemente castanha do sistema resfriado.
- Visualização de coloração laranja (indicando a formação de dicromato a partir do cromato) e de precipitado indicando a presença de cromato.
- Características do sistema líquido: movimento das partículas, choques, energia.
- Pensem no movimento das moléculas no estado líquido.
- Bolinhas de massinha para os átomos e palitos para as ligações. Representação das espécies  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ .

## PROCESSO



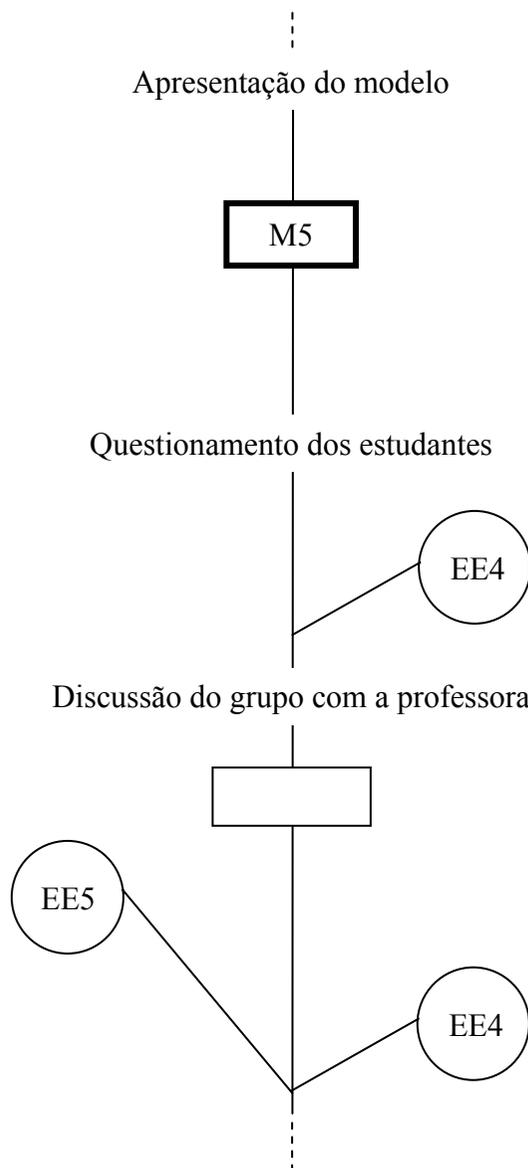
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Mesmo no sistema resfriado há  $\text{NO}_2$ .

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- A reação se processa por completo?
- Retomada pelos alunos.
- Resposta ao questionamento a partir das EE4.
- Deslocamento do equilíbrio pela adição de ácido ou base.
- Recapitulação das EE4 e conclusão de que resta cromato no sistema mesmo com a adição de ácido suficiente para a reação se completar.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Íons  $H^+$  'pegam' um átomo de oxigênio de um cromato, formando água e  $CrO_3$ . O  $CrO_3$  se liga a um outro cromato e forma o dicromato.
- O cromato ainda estaria presente em solução devido à ressonância do oxigênio entre dois átomos de cromo.

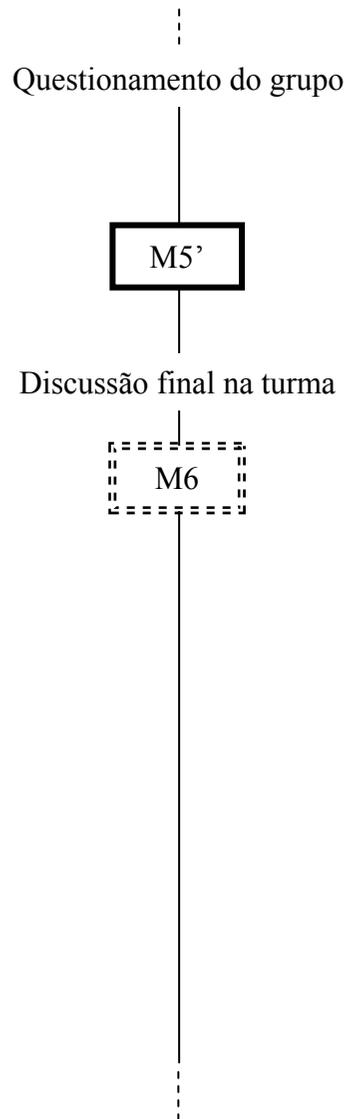
## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Possibilidade de variação de coloração com a variação da quantidade de cromato e dicromato.

Participação ativa do grupo enfatizando:

- Possibilidade de haver equilíbrio em diferentes temperaturas.
- Diferentes proporções de reagentes e produtos para cada diferente estado de equilíbrio.

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A adição de  $\text{OH}^-$  leva à formação de água pela reação com  $\text{H}^+$ . Não ocorre alteração nas concentrações de cromato e de dicromato.
- Todas as espécies (reagentes e produtos) coexistem no equilíbrio.
- Equilíbrio é dinâmico.
- Velocidade direta é igual à velocidade inversa no equilíbrio.
- Concentrações dos reagentes e dos produtos são constantes no equilíbrio.
- Existem diferentes estados de equilíbrio em diferentes temperaturas.
- Há diferentes proporções entre reagentes e produtos para cada estado de equilíbrio.
- O equilíbrio é deslocado pela alteração da quantidade de alguma espécie no equilíbrio.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS



- Idem M6.
- Todos os atributos de M6, exceto deslocamento do equilíbrio.
- A concentração dos reagentes não pode ser igual à concentração dos produtos.

### 5.3. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

A partir da análise do diagrama construído para o estudo de caso do grupo 4, é possível observar que todas as evidências empíricas apresentadas ao longo do processo foram importantes para a introdução de novas informações sobre os sistemas. Isso levou, em todos os casos, à formulação ou reformulação de um modelo pelo grupo, diante da percepção de um novo elemento do sistema, teste do modelo anterior ou percepção de alguma inconsistência do modelo construído pelo grupo.

As EE2, apesar de terem sido introduzidas com o propósito de trazer ao grupo uma nova situação do sistema para ampliação da aplicação do modelo, serviram como dado confirmatório à proposição que havia sido feita no modelo anterior (M1), uma vez que o grupo já havia considerado a possibilidade de reversibilidade da reação.

A observação das evidências empíricas também levou o grupo a buscar em seus conhecimentos prévios elementos que justificassem e/ou explicassem suas observações. Isso ocorreu, por exemplo, a partir das EE3, que fizeram o grupo introduzir uma discussão sobre estabilidade.

As EE4 e EE5 tinham o propósito inicial de favorecer a aplicação do modelo construído por eles para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$  e o teste desse modelo, respectivamente. Entretanto, os dados das EE4 levaram o grupo à formulação de um novo modelo (M5), bastante distinto do M4, apesar de ainda manter uma idéia de equilíbrio químico associada ao processo de ressonância com o átomo de oxigênio. Ao observar as EE4, o grupo propôs um modelo para como as ligações ocorriam nas espécies em estudo a fim de explicar a ocorrência daquela reação e a presença de tais espécies ( $\text{CrO}_4^{2-}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) no sistema.

As EE5, por sua vez, tinham o objetivo de favorecer o teste do modelo construído até o momento. Entretanto, o grupo propôs acréscimos ao modelo anterior (M5), de modo a expressar a formação da ligação entre  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  (M5'), sem conseguir chegar a um modelo coerente com a observação da alteração da coloração desse sistema.

Os questionamentos promovidos pela professora e pelo próprio grupo foram outros elementos bastante relevantes para o desenvolvimento do processo que levaram,

por exemplo, à busca de novas informações sobre o sistema (como ocorreu entre M5 e M5’).

Os questionamentos também contribuíram para a reflexão a respeito da aplicabilidade dos modelos propostos, para a identificação de limitações e conseqüente reformulação do modelo (como foi observado na construção de M2, quando, mediante o questionamento da professora, os alunos perceberam a inconsistência do modelo proposto com modelos estudados anteriormente). Também foram os questionamentos que levaram à recapitulação de idéias prévias que pudessem ser aplicadas para a construção e/ou explicação dos modelos (como aconteceu, por exemplo, nas transições de M1’’ para M2 e de M2’’ para M2’’’).

Outro papel do questionamento, principalmente o direcionado pela professora, foi a promoção de maior controle do processo mediante a investigação das idéias e modelos prévios dos alunos (como aconteceu na elaboração de M3, por exemplo). Durante a expressão dos modelos concretos pelo grupo esse tipo de questionamento permitiu à professora perceber elementos não expressos na explicação dos alunos e sondar os mesmos. Um exemplo interessante ocorreu na representação de várias moléculas para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$  à temperatura ambiente (M4).

Finalmente, os questionamentos também foram essenciais para que os alunos percebessem inconsistências em seus modelos. Isso foi observado, por exemplo, quando o grupo elaborou uma analogia com um sistema previamente conhecido (analogia do copo d’água – IP3), analogia esta que foi abandonada após o questionamento da professora.

As idéias prévias dos estudantes foram importantes para propor a explicação de como a reação ocorre. Isto porque elas favoreceram a percepção da dinâmica da reação mediante as idéias de movimento e interações (IP1 e IP5), estudados no modelo cinético molecular dos gases e dos líquidos. Idéias como a estabilidade da molécula para explicar a ocorrência da reação (IP2) e a explicação da reversibilidade em função da estabilidade das espécies (IP4) foram buscadas pelos participantes deste grupo para explicar a viabilidade dos modelos.

Esse grupo chegou a explicitar a influência das idéias de outro grupo (grupo 6) na construção de um modelo para explicar a dinâmica da reação (idéia do ‘ciclo’). Entretanto, consideramos a possibilidade de todo esse processo ter sido permeado por

idéias dos outros grupos, uma vez que a apresentação dos modelos permitia aos alunos incorporar novos elementos e/ou idéias dos outros grupos. Todavia, não temos evidências que explicitem isso.

A expressão concreta dos modelos contribuiu para a explicitação das idéias dos alunos para a turma. A expressão de forma verbal permitiu que o grupo apresentasse elementos do modelo impossíveis de serem expressos concretamente (como estabilidade), além de promover a reflexão sobre o próprio modelo ao expressá-lo.

Após o encerramento do processo, na avaliação final, foi possível perceber que todos os alunos apresentaram idéias bastante completas e coerentes, o que pode ser atribuído, principalmente, à participação ativa de todos os integrantes do grupo e ao engajamento contínuo dos mesmos ao longo do processo. Um aspecto a ser ressaltado é que os alunos A2G4 e A3G4 se destacaram na análise do deslocamento do equilíbrio químico.

O aluno A1G4, apesar de apresentar ao final um modelo de equilíbrio químico ainda bastante próximo do modelo consensual da turma (M6), expressou também uma idéia de que “*no equilíbrio químico, as concentrações de reagentes e produtos não podem ser iguais*”. É possível que essa concepção tenha sido gerada pela ênfase dada, durante a discussão final, ao fato de que as concentrações de reagentes e produtos no equilíbrio devem ser constantes, e não iguais, isto é, de que o equilíbrio químico é caracterizado pela constância na concentração de reagentes e produtos, não pela igualdade entre elas. Assim, tal aluno pode ter compreendido de maneira equivocada que elas não poderiam ser iguais.

Esse mesmo aluno apresentou dificuldades em relação ao deslocamento do equilíbrio, o que pode ter acontecido devido ao fato de essa discussão ter ocorrido ao final do processo e a partir de um único sistema (EE5), para o qual os estudantes desse grupo não chegaram a elaborar um modelo independente que fosse coerente com as observações. Assim, o deslocamento do equilíbrio foi abordado apenas em M6 (modelo consensual da turma).

## 6. GRUPO 6

### 6.1. ESTUDO DE CASO

Para o primeiro sistema ( $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ ), os alunos desse grupo representaram dois átomos de oxigênio ligados a um átomo de nitrogênio através de uma “*ligação mais forte*”, utilizando, para isso, a união das bolinhas feita com palitos. Dessa maneira foram representadas as moléculas de  $\text{NO}_2$  e, para a representação das moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$ , o grupo uniu duas moléculas de  $\text{NO}_2$  por um dos átomos de oxigênio, utilizando apenas a massinha das próprias bolinhas. Assim, o grupo tentou representar que essa última ligação seria mais fraca do que aquela representada pelo palito.

Os alunos chamaram atenção para as estruturas das moléculas, que eles não sabiam se estavam corretas, mas ressaltaram que tal aspecto não havia influenciado o modelo elaborado.

O modelo proposto pelo grupo utilizou o fator energia, associado à temperatura, para explicar a maior movimentação das partículas e, conseqüentemente, a quebra de ligação. Eles colocaram em um recipiente dois modelos de molécula de  $\text{N}_2\text{O}_4$  e, no momento da apresentação do modelo, foi realizado o teste da simulação proposta. O grupo agitou o recipiente (o que corresponderia a colocar o tubo na água quente) e verificou que houve rompimento da ligação entre duas moléculas de  $\text{NO}_2$ . Um integrante do grupo, justificando o fato de a reação não ter se processado por completo, afirmou:

*“É assim mesmo, a reação acontece com o tempo.”* (A1G6)

Os próprios alunos do grupo perceberam uma outra limitação do modelo proposto: ele não representava a mudança de cor observada no sistema.

Para o modelo de transformação de  $\text{NO}_2$  em  $\text{N}_2\text{O}_4$ , o grupo recorreu à idéia de “*tendência das moléculas de  $\text{NO}_2$  se ligarem*”, fazendo analogia com ímãs. Eles, inclusive, pensaram na possibilidade de usar ímãs na construção do modelo (o que não foi feito apenas porque não existiam ímãs entre os materiais disponibilizados para a construção dos modelos concretos).

Apesar de considerar agitação no sistema quente e no sistema resfriado, o grupo atribuiu a formação de ligação entre as moléculas de  $\text{NO}_2$  no sistema resfriado a uma

força de atração entre essas moléculas e a um menor grau de agitação das partículas, conforme explicado por um integrante do grupo:

*“... e quando se coloca na água fria a agitação é menor. Então tende a fazer a ligação, porque a atração, a tendência que elas têm para fazer a ligação, é maior que a agitação na água gelada.” (A3G6)*

No modelo para o resfriamento do sistema, o grupo utilizou vários aspectos representacionais diferentes do modelo apresentado anteriormente, apesar de eles terem afirmado que seria o mesmo modelo inicial. Nessa representação não esteve presente a caixinha (utilizada como recipiente no modelo anterior). Os integrantes do grupo argumentaram que não houve a necessidade da mesma por desejarem representar apenas a ocorrência da ligação para formação do  $N_2O_4$ . Além disso, o grupo representou apenas duas moléculas de  $NO_2$  se transformando em  $N_2O_4$ , quantidade diferente da representada no modelo anterior (duas moléculas de  $N_2O_4$ ). Isso também foi devido à intenção do grupo de representar apenas a ligação de uma molécula de  $NO_2$  com outra.

Na construção do modelo para o sistema à temperatura ambiente, os alunos reconheceram prontamente a existência das duas espécies:  $NO_2$  e  $N_2O_4$  e pensaram na existência do  $NO_2$  como proveniente da quebra de  $N_2O_4$ . Nesse momento, um dos integrantes do grupo (A3G6) formulou uma questão: *“Por que uma quebrou e outra não?”*.

O grupo tentou explicar essa questão utilizando o raciocínio de que em uma temperatura intermediária não haveria energia suficiente para quebrar todas as moléculas de  $N_2O_4$ , surgindo a idéia de que nessa temperatura a reação pararia de ocorrer, sem se completar. Em relação a isso, a professora solicitou que o grupo pensasse no estado físico com o qual estavam trabalhando. Isso foi feito a fim de que eles considerassem o aspecto do movimento das moléculas.

Durante a apresentação dos modelos para a turma, além da idéia anterior, os alunos afirmaram, baseados na idéia do grupo 4, sobre o sistema ‘copo com água’<sup>15</sup>, que acreditavam que o sistema ficaria *“homogêneo”* (sic).

*“... a gente pensou porque todo  $N_2O_4$  não quebrou e virou  $NO_2$ , ou vice-versa. Só que a dúvida que a gente ficou foi a seguinte: que depois de um*

---

<sup>15</sup> Em que o grupo apresentou a idéia de que, assim como a água de um copo tem tendência a evaporar com o tempo, no sistema estudado haveria uma tendência de as moléculas serem encontradas todas em um mesmo estado físico.

*tempo o sistema vai ficar homogêneo. Igual o --- (A1G4) falou lá do copo d'água, você deixa lá e depois de um tempo vai evaporar tudo. Se a gente deixa lá muito tempo ou tudo tem que virar NO<sub>2</sub> ou tudo tem que virar N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.” (A3G6)*

Observa-se que o grupo utilizou uma analogia com um outro sistema conhecido por eles, porém sem analisar a aplicabilidade daquela analogia naquele contexto. Nesse momento, a professora direcionou uma pergunta para o grupo com o intuito de fazer os alunos pensarem nas limitações da analogia aplicada: “O copo d'água no qual vocês estão pensando é aberto ou é fechado?”.

Apesar de perceber a inconsistência da analogia realizada e, perante isso, abandoná-la, o grupo insistiu na idéia de que a tendência do sistema era de todas as moléculas ficarem com a mesma energia, só restando, conseqüentemente, NO<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Para discutir essa idéia, a professora relatou para os alunos uma evidência empírica (mas não observada na sala de aula) de que a idéia apresentada por eles não é verificada na prática: ela afirmou que o tubo de ensaio continha o sistema há um mês e que tal tendência não se observou. Mesmo diante desse dado, o grupo manteve a idéia apresentada anteriormente, buscando uma alternativa para conciliar o modelo que eles elaboraram aos dados apresentados pela professora, conforme evidenciado no diálogo a seguir:

A3G6: *Então é mais de um mês.*

Professora: *E se eu te disser que ano que vem vou fazer esse experimento com esse mesmo tubo?*

A3G6: *Então é mais de um ano.”*

Prosseguindo a discussão, o grupo voltou a examinar algumas evidências do sistema e relacionou aspectos como agitação, movimento das partículas e choques à reação química. Frente a isso, o mesmo aluno que participou da discussão citada anteriormente, numa espécie de insight, elaborou um modelo para explicar a presença das duas espécies, NO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:

*“Eu acho que é o seguinte: é porque com o movimento delas uma está chocando com a outra, e é o que eu pensei aqui agora, ao mesmo tempo que está formando partícula de N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> outras desfazem e faz tipo um ciclo”. (A3G6)*

Essa idéia do ciclo permaneceu na construção do modelo para o sistema cromato/dicromato, no qual o grupo afirmou que, em função da agitação das partículas

no sistema, haveria sempre a formação das duas espécies, havendo também a presença de outras espécies como  $H^+$ .

Ao testar o modelo para o último sistema (deslocamento do equilíbrio), o grupo aplicou a idéia do ‘ciclo’ e da coexistência de todas as espécies no sistema (em função desse ciclo). Visando verificar o que esses estudantes estavam realmente pensando sobre *como* ocorre esse ciclo e, ao mesmo tempo, perceber a possível existência de alguma concepção alternativa nessa etapa, a professora fez um questionamento para esses estudantes:

*“A reação se processa por completo para a formação de uma das espécies e, só depois, se processa formando o outro composto (idéia de reação pendular, conforme descrito como concepção alternativa na literatura), ou ocorre tudo ao mesmo tempo?”.*

O grupo apresentou claramente a idéia de que tudo estaria reagindo o tempo inteiro, introduzindo o termo “*dinâmico*” para caracterizar esse processo.

Dando seqüência à discussão e criando outras situações para o teste do modelo apresentado pelo grupo, a professora introduziu questões sobre a diferença de coloração do sistema, aspecto que o grupo associou à diferença de concentrações das espécies presentes no sistema. A professora continuou a questionar a relação da concentração com o modelo da reação proposto e os alunos permaneceram com a idéia de ciclo, de reação dinâmica, associando a maior formação de determinada espécie ao favorecimento da ocorrência de determinada reação ou diminuição da ocorrência de outra.

Nesse momento, mais uma vez, observou-se a influência das idéias de outro grupo na fala desses alunos. Ao tentar propor um modelo para as ligações que estavam ocorrendo no sistema, o grupo utilizou a idéia do grupo 4, que considerava a possibilidade de existência de uma espécie  $CrO_3^{2-}$  proveniente da adição de  $H^+$  ao  $CrO_4^{2-}$  (e a conseqüente formação de  $OH^-$ ).

A participação dos integrantes desse grupo foi bastante ativa na discussão coletiva final, quando eles enfatizaram a idéia do dinamismo da reação e da coexistência de todas as espécies no sistema. O grupo também foi bastante atuante no momento da interpretação do fenômeno do deslocamento do equilíbrio químico para o sistema cromato/dicromato.

Na avaliação final, todos os três integrantes frequentes do grupo expressaram claramente as seguintes idéias sobre o equilíbrio químico:

- as concentrações de reagentes e produtos são constantes e não iguais;
- esse é um processo dinâmico, portanto a reação não pára de ocorrer;
- as concentrações constantes de reagentes e produtos indicam que o sistema atingiu o equilíbrio.

Apesar de as atividades desenvolvidas em sala não envolverem a análise de gráficos, os alunos desse grupo mostraram destreza na associação dos aspectos qualitativos estudados sobre velocidade das reações e sua representação gráfica.

Dois pontos observados em termos de dificuldades dos alunos A1G6 e A2G6 sobre o tema, foram:

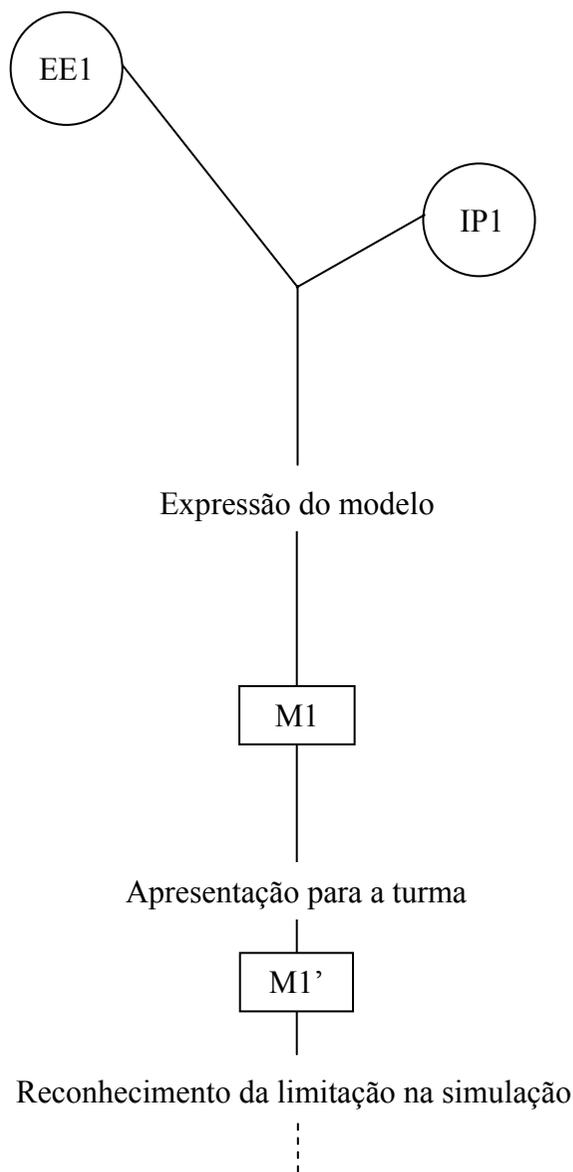
- O relacionamento da estequiometria da reação à quantidade de reagentes e produtos presentes no sistema.
- O deslocamento do equilíbrio químico: esses alunos não compreenderam que a alteração da concentração de uma determinada espécie do sistema provocará a alteração da concentração de todas as outras espécies, no processo de restabelecimento do equilíbrio químico.

## **6.2. DIAGRAMA REPRESENTATIVO DO PROCESSO**

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Mudança de coloração no sistema indicando a transformação  $N_2O_4 \rightarrow NO_2$ .
  - Algumas ligações podem ser mais fortes do que as outras.
  - Associação entre energia cinética e temperatura.
  - Quebra da ligação associada à movimentação das partículas.
  - Utilização de bolinhas de isopor, bolinhas de massinha e palitos.
  - Palitos representando ligação forte e união de bolinhas de massinha representando ligação fraca.
- 
- Nem todas as moléculas de  $N_2O_4$  se quebram na simulação.

## PROCESSO



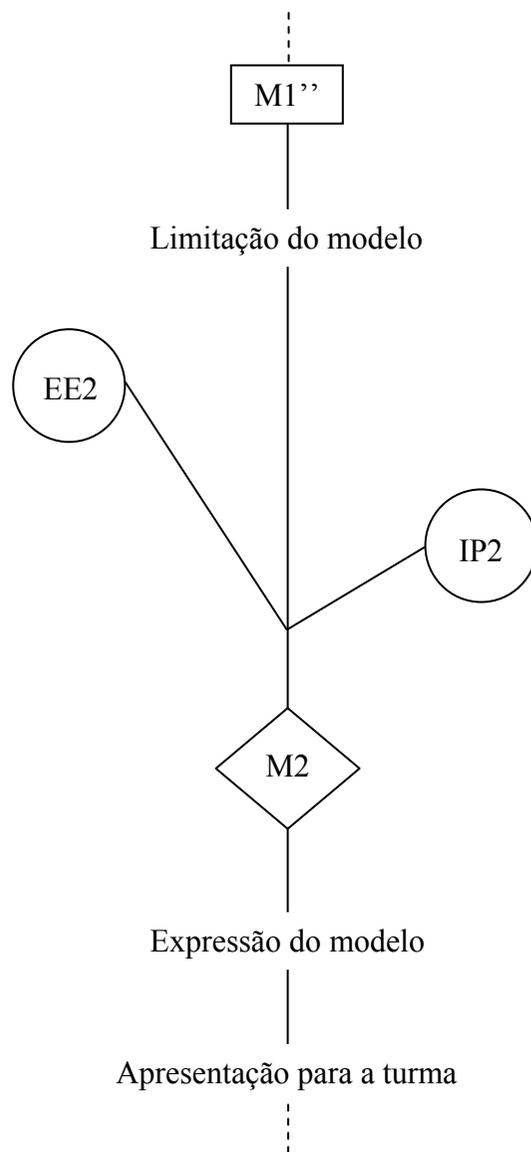
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Moléculas de  $NO_2$  unidas por átomos de massinha para representar  $N_2O_4$ . Moléculas de  $N_2O_4$  dentro de uma caixa.
- O aumento da energia quebra  $N_2O_4$  em  $NO_2$ .
- Simulação do processo através da agitação da caixinha.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- O sistema resfriado fica incolor, indicando a formação de  $N_2O_4$ .
- Analogia entre a formação da ligação e a atração magnética.
- Não utilizaram recipiente.
- Presença de apenas duas moléculas de  $NO_2$ .

## PROCESSO



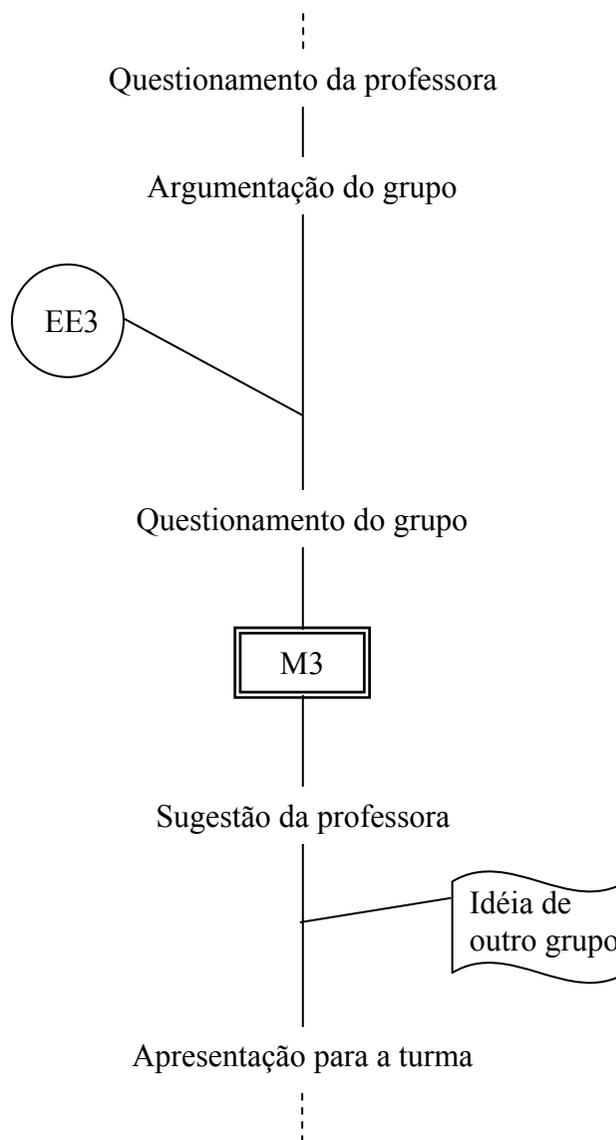
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A reação não se processa de uma vez, ela ocorre com o tempo.
- O modelo não representa a mudança de cor.
- As moléculas de  $NO_2$  tendem a se juntar, como ímãs.
- A ligação se forma pela menor agitação e pela existência de uma força de atração.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Por que não utilizaram caixinha?
- Intenção de representar apenas as ligações.
- Sistema com coloração intermediária à temperatura ambiente, indicando presença de  $N_2O_4$  e  $NO_2$ .
- Por que algumas moléculas de  $N_2O_4$  se quebram e outras não?
- Pensar no movimento das partículas nesse sistema.
- Analogia feita pelo grupo 4 com o sistema 'copo com água'.

## PROCESSO



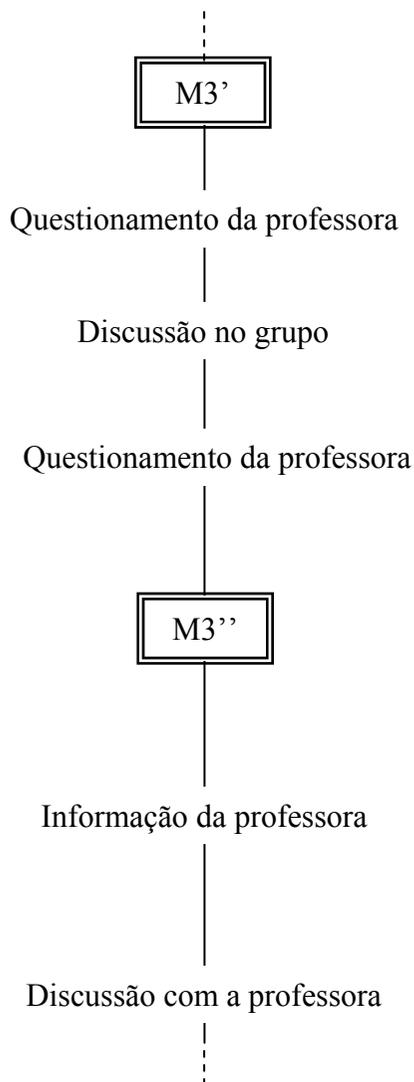
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Em uma temperatura intermediária não há energia suficiente para quebrar todas as moléculas de  $N_2O_4$ . Por isso a reação pára sem se completar.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- O copo d'água é aberto ou fechado?
- O grupo abandona a analogia.
- Por que a representação dessa quantidade de moléculas?
  
- Não se observa a tendência de o sistema chegar a ter apenas uma espécie, mesmo após um ano.
- Conclusão de que o sistema levaria mais de um ano para chegar a ter apenas uma espécie.

## PROCESSO



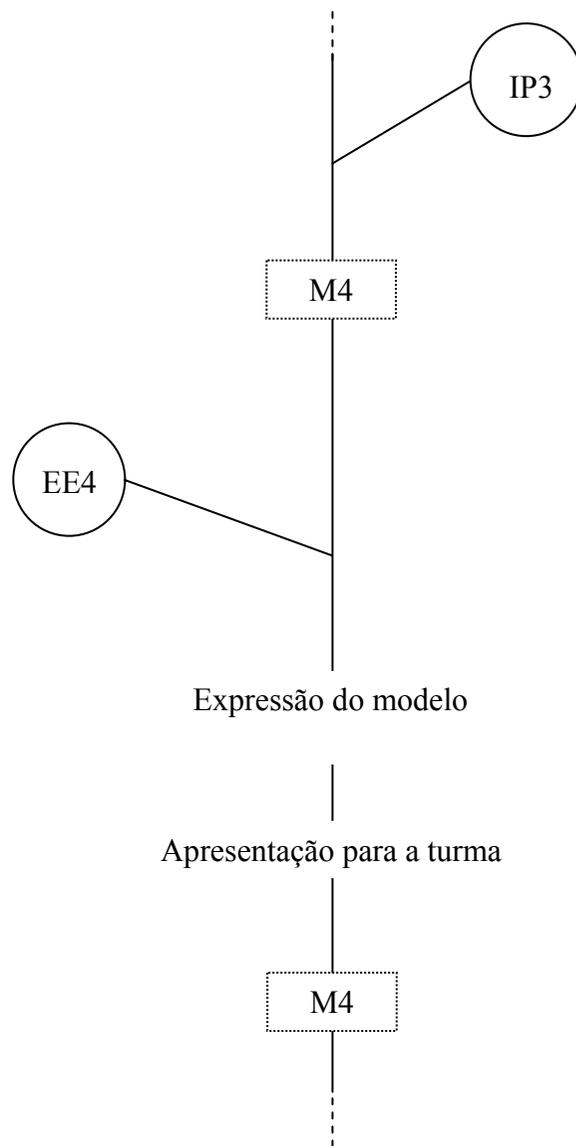
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Após certo tempo, só haverá a espécie  $\text{NO}_2$  ou a espécie  $\text{N}_2\text{O}_4$  no sistema.
  
- Ao final, todas as moléculas ficam com a mesma energia, restando apenas  $\text{NO}_2$  ou apenas  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Relação entre choques e reação química.
- Visualização de coloração laranja (indicando a formação de dicromato a partir do cromato) e de precipitado indicando a presença de cromato.
- Bolinhas de massinha representando todas as espécies coexistindo no sistema (produtos e reagentes).
- Utilização adequada do M4 para explicar o novo sistema.

## PROCESSO



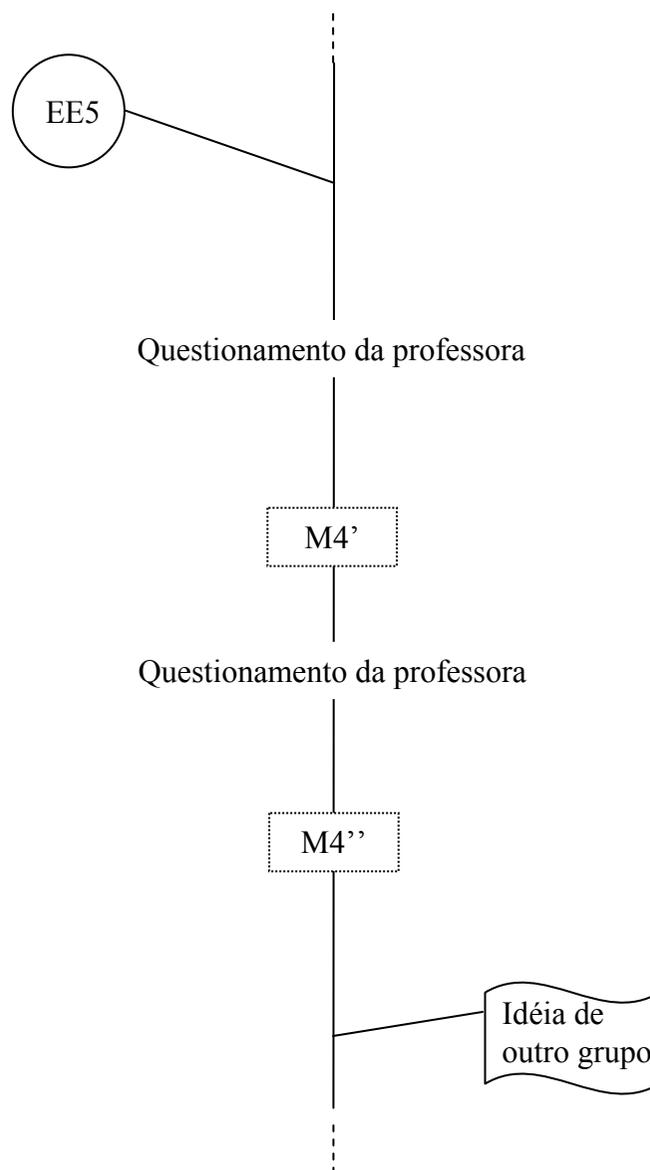
## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- A reação ocorre em uma espécie de ciclo, formando e 'desformando'  $N_2O_4$  o tempo todo.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

- Deslocamento do equilíbrio cromato/dicromato pela adição de ácido e base.
- A reação se processa por completo para a formação de uma das espécies e, só depois se processa formando o outro composto? Ou ocorre tudo ao mesmo tempo?
- Questões sobre a diferença de coloração no sistema.
- Possibilidade de existência de uma espécie  $\text{CrO}_3$ , proveniente da adição de  $\text{H}^+$  a  $\text{CrO}_4^{2-}$  (Grupo 4).

## PROCESSO



## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

- Todas as espécies reagem o tempo inteiro, sendo um processo dinâmico.
- A reação é dinâmica e a coloração está associada à maior quantidade de determinada espécie.
- A formação de maior quantidade de determinada espécie está associada ao favorecimento da ocorrência de uma reação em detrimento à outra.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS

Apresentação para a turma

M4''''

Discussão final na turma

M5

Participação ativa do grupo enfatizando:

- O equilíbrio químico é dinâmico.
- Todas as espécies (reagentes e produtos) estão presentes no equilíbrio.

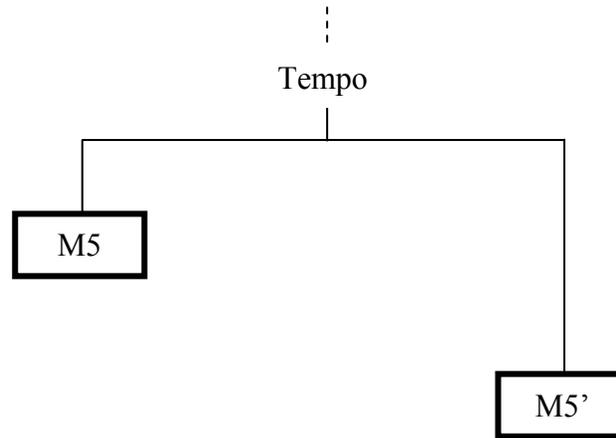
- A espécie  $H^+$  reage com a espécie  $CrO_4^{2-}$ , formando  $CrO_3$  e  $OH^-$ .
- A espécie  $CrO_3$  se une a outra espécie  $CrO_4^{2-}$ , formando  $Cr_2O_7^{2-}$ .

- Todas as espécies (reagentes e produtos) coexistem no equilíbrio.
- Equilíbrio é dinâmico.
- Velocidade direta é igual à velocidade inversa no equilíbrio.
- Concentrações dos reagentes e dos produtos são constantes no equilíbrio.
- Existem diferentes estados de equilíbrio em diferentes temperaturas.
- Há diferentes proporções entre reagentes e produtos para cada estado de equilíbrio.
- O equilíbrio é deslocado pela alteração da quantidade de alguma espécie no equilíbrio.

## CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

## PROCESSO

## ATRIBUTOS PRINCIPAIS DOS MODELOS



- Todos os apresentados anteriormente.

- Todos os atributos de M5, exceto explicação para deslocamento de equilíbrio.

### **6.3. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO**

A análise dos elementos do processo, vivenciado pelo grupo 6, mostra a contribuição de cada um deles para o desenvolvimento das idéias dos estudantes a respeito do equilíbrio químico.

Ao observarmos a influência das evidências empíricas no processo é possível detectar a contribuição das mesmas como precursoras de novos modelos, por trazerem novas situações e/ou disponibilizarem novos elementos acerca dos sistemas em estudo (como pode ser observado no diagrama a partir de EE2 e EE3).

Por outro lado, as EE4 foram importantes para que os alunos pudessem aplicar o modelo anteriormente desenvolvido a uma nova situação (sistema cromato/dicromato), permitindo que eles fizessem as adequações necessárias do modelo e avaliassem a aplicabilidade do mesmo em outros contextos.

A apresentação das EE5, por sua vez, possibilitou o teste do modelo anterior, permitindo que os alunos desse grupo construíssem um modelo mais adequado para ‘como ocorre o equilíbrio’, percebendo a dinâmica do processo ao explicarem as novas evidências observadas.

A condução do processo e os questionamentos da professora permitiram disponibilizar e integrar, àquela situação, conceitos previamente estudados pelos estudantes (como a idéia do movimento das partículas). Os questionamentos também foram importantes para os alunos desse grupo avaliarem a aplicabilidade de seus modelos, como ocorreu no momento do estabelecimento da analogia do copo d’água, quando os alunos perceberam a inviabilidade de aplicação da analogia e a abandonaram.

Os questionamentos que conduziram a testes também contribuíram para que os alunos avaliassem seus modelos, como ocorreu no momento em que a professora aprofundou a descrição do modelo M4 (o que levou ao M4’) e no momento em que a professora propôs uma outra situação para ser explicada com esse mesmo modelo (a diferença de coloração dos sistemas cromato/dicromato, o que resultou na proposição de M4’). Tais exemplos evidenciam o papel dos questionamentos e sugestões da professora na criação de situações que configuraram uma necessidade de reformular um modelo.

Os alunos também introduziram questionamentos durante o processo. Isso mobilizou a busca de explicações para suas questões a partir da construção de novos modelos e a introdução de idéias prévias ou de novos elementos que viessem a justificar algum aspecto do modelo. Isto foi observado, por exemplo, na elaboração de M3.

Não apenas os questionamentos, mas também as discussões do grupo com a professora e as sugestões da mesma, mobilizaram a inserção de novas idéias ou a recapitulação de modelos anteriormente estudados, a fim de propor explicações para as observações que estavam sendo realizadas (como foi evidenciado na elaboração de M3' e M4).

Das idéias prévias utilizadas pelos alunos, vale ressaltar a contribuição do modelo cinético molecular para a compreensão de elementos como relação entre energia cinética e temperatura e quebra de ligação associada à movimentação das partículas (IP1).

As idéias prévias dos estudantes também foram importantes na construção de uma analogia para a formação da ligação química, pensada como atração magnética (IP2). É importante destacar, ainda, que essa analogia repercutiu na expressão do modelo pelos alunos, que relataram a possibilidade de usar ímãs para a construção do modelo concreto.

As idéias prévias dos estudantes contribuíram também na construção de novos significados, como ocorreu ao relacionarem a ocorrência de choques (aspecto anteriormente estudado no modelo cinético molecular) à quebra de ligação para a ocorrência da reação química (IP3).

Não apenas as idéias prévias dos alunos foram relevantes para a elaboração dos modelos pelo grupo. As idéias de outros grupos também tiveram um papel relevante nesse processo. Apesar de todo o processo ter sido socializado por toda a turma e de ser possível considerar a influência das idéias de outros grupos em outros momentos, no processo vivido por este grupo, isso ficou explícito apenas na elaboração de M4'''. Nesse momento, o grupo afirmou concordar com as idéias apresentadas pelo grupo 4 e as incorporou ao modelo que havia sido proposto anteriormente (explicando como ocorre a formação das espécies cromato e dicromato no sistema, a partir da adição de  $H^+$ ).

A expressão dos modelos possibilitou a comunicação das idéias do grupo entre seus integrantes e para a turma. A tentativa de representar de maneira concreta suas idéias fez com que os estudantes criassem mecanismos para isso, como na construção de M1, quando o grupo buscou, na representação concreta, uma maneira de representar a diferença da força das ligações.

Ao discutir a melhor maneira de representar M2, um dos alunos do grupo levantou a possibilidade de usar ímãs. Essa é uma idéia resultante da consideração de uma analogia de ligação química com atração magnética. Entretanto, os dados disponíveis não nos possibilitaram identificar se a analogia foi a precursora da idéia do modelo concreto usando ímãs, ou se a idéia de usar ímãs para mostrar a formação de ligação no modelo concreto conduziu à formulação da analogia.

A expressão do modelo influenciou, ainda, a delimitação do foco do modelo. Isso foi evidenciado, por exemplo, no modelo concreto expresso para o sistema cromato/dicromato, em que os alunos representaram todas as espécies no sistema (reagentes e produtos), sem se preocuparem com a estrutura dessas espécies, uma vez que desejavam representar apenas a dinâmica do processo.

A apresentação do modelo para a turma foi um outro fator que permitiu a reflexão a respeito do modelo proposto, levando à análise de sua aplicabilidade e, assim, à identificação de limitações no modelo. O exemplo mais marcante foi observado em M1'', quando os alunos identificam que o modelo não representava a mudança de cor do sistema.

Um aspecto bastante interessante observado no processo desse grupo foi a apresentação de uma simulação para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$  (em M1'), que permitiu o teste do próprio modelo concreto. A partir dos resultados obtidos da simulação (nem todas as moléculas de  $\text{N}_2\text{O}_4$  quebraram), o grupo incluiu mais um elemento – o tempo de ocorrência do processo – ao seu modelo (o que resultou em M1''). Isso mostra que não apenas altera-se o modelo concreto para que ele consiga expressar mais adequadamente o modelo mental, mas que também é possível alterar o modelo mental mediante observações do modelo concreto.

A análise dos modelos finais dos alunos, identificados a partir de suas respostas à avaliação final, permitiu identificar que os três alunos do grupo apresentaram idéias

claras sobre o equilíbrio químico e coerentes com o modelo consensual da turma. Vale ressaltar que os alunos desse grupo tiveram uma participação bastante ativa durante todo o processo, aplicando suas idéias e aquelas socializadas na turma aos modelos que construíram. Os alunos A1G6 e A2G6, entretanto, não mostraram terem desenvolvido conhecimentos sobre o deslocamento do equilíbrio químico. Suas respostas na avaliação final evidenciaram um desconhecimento da ocorrência desse processo. Uma possível explicação para isso pode ser a inclusão desse aspecto apenas na última aula e em relação a apenas um sistema (cromato/dicromato). Entretanto, parece estranho o fato de isto ter acontecido exatamente em relação ao grupo que mais contribuiu para a elaboração da idéia de deslocamento do equilíbrio químico no modelo consensual da turma (discussão esta que contou, inclusive, com a participação dos alunos A1G6 e A2G6).

#### **7. A CONTRIBUIÇÃO DO PROCESSO PARA A APRENDIZAGEM DE ALGUNS ASPECTOS CONCEITUAIS DE EQUILÍBRIO QUÍMICO: ANÁLISE DOS TRÊS ESTUDOS DE CASO**

A comparação da análise dos estudos de caso dos três grupos tem por objetivo identificar elementos que foram importantes no processo de construção do conhecimento de todos os grupos, além de verificar se algum desses elementos teve influência particular em algum grupo específico. A fim de facilitar o entendimento desta análise comparativa, cada vez que um novo elemento do processo for introduzido no texto, ele será enfatizado.

Inicialmente, é importante considerar que a motivação para os grupos participarem do processo partiu das **evidências experimentais** EE1. O sistema ( $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ ) permitiu o engajamento dos estudantes na proposição de um modelo aparentemente simples, que era acessível aos alunos à medida que poderia ser trabalhado apenas com a interpretação das observações à luz de seus conhecimentos prévios. Ao mesmo tempo, o sistema escolhido apresentava novos elementos, exigindo dos estudantes uma reflexão sobre o processo, integração e aplicação de seus conhecimentos, não sendo uma questão resolvida com mero conhecimento declarativo. O papel desse elemento novo foi, primordialmente, o de desafiar os estudantes a construir um novo conhecimento.

O sistema escolhido apresentava pouco a pouco novos elementos, contribuindo para promover o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes a partir de cada modelo que eles construíam. Consideramos que isso acontecia, provavelmente, em função de os alunos se sentirem instigados a compreender o processo. É importante ressaltar que, até essa etapa dos estudos, os estudantes haviam trabalhado apenas com a ocorrência das reações em único sentido. Assim, as EE2 foram importantes para a introdução de um elemento fundamental para a existência de equilíbrio químico: a reversibilidade. Apesar de esse elemento já fazer parte do modelo inicial do grupo 4, essas evidências confirmaram a ocorrência da reversibilidade para aquela reação, fazendo com que os demais alunos também passassem a considerá-lo no processo de modificação de seus modelos iniciais ou de elaboração de modelos futuros.

Pensar a partir das EE3 e relacionar o movimento das moléculas à ocorrência de uma reação química foi fundamental para permitir a elaboração de um modelo mais diretamente relacionado ao equilíbrio químico: a interpretação do sistema como algo dinâmico. Entretanto, o desenvolvimento dessa idéia pelo grupo 4 ocorreu somente após a apresentação do modelo elaborado pelo grupo 6. Dessa maneira, o processo de socialização se mostrou importante para que o grupo 4 desenvolvesse uma primeira idéia relacionada ao equilíbrio químico.

As EE4, introduzidas com o objetivo de fornecer novos contextos de aplicação do modelo elaborado para o sistema  $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ , assim como as EE5, que deveriam favorecer o teste do modelo construído, só foram interpretadas de maneira mais adequada – em termos científicos – pelo grupo 6, que manteve em seu modelo a idéia de dinamismo da reação.

De maneira geral, as evidências empíricas desempenharam o papel de apresentar novos elementos ou informações sobre os sistemas em estudo, gerar novas expectativas em relação aos modelos construídos pelos grupos e permitir a reflexão sobre a aplicabilidade do modelo, o que resultou, muitas vezes, na reformulação dos modelos no sentido de ampliar seus contextos de aplicação.

Outro elemento bastante relevante, comum aos três estudos de caso, foram os **questionamentos da professora**. Apesar de, em geral, esses questionamentos serem direcionados a cada grupo e levar em conta o conhecimento prévio, os modelos e as idéias de cada um deles, eles desempenharam alguns papéis em comum entre os grupos.

Pôde-se observar em todos os grupos o papel dos questionamentos na busca por explicações não propostas pelos grupos – ou explicações mais completas – e na proposição da ampliação da aplicabilidade dos modelos, perante a introdução de novas informações ou perante novas questões para serem explicadas pelo modelo. Os questionamentos da professora direcionaram todo o processo para a construção da compreensão de como ocorre o equilíbrio químico.

A condução do processo pela professora ajudou a elucidar os exemplos abordados, a tornar acessível e interpretar as evidências empíricas e as questões a serem respondidas nos modelos, a fornecer respostas para outros contextos de aplicação dos modelos, a gerar reflexões e teste dos modelos, além de avaliar a confiança dos alunos em suas próprias idéias.

Em muitos momentos, os questionamentos permitiram a recapitulação de idéias e/ou modelos prévios, a identificação de limitações, a proposição de novos modelos (de acordo com a demanda das novas situações) e o teste dos mesmos. Muitos questionamentos geraram conflitos nas idéias dos estudantes, levando-os a perceber as inconsistências de determinado modelo e a propor modificações no mesmo.

Dentre os questionamentos e sugestões da professora, destacou-se a recorrência às características do modelo cinético molecular (já estudado pelos alunos) como: movimento das partículas, energia e choque, o que forneceu aos alunos subsídios para a construção dos modelos a partir da integração desse conhecimento prévio à interpretação das novas interpretações.

As **idéias prévias dos alunos** foram precursoras para o desenvolvimento da idéia do equilíbrio químico em todos os grupos, principalmente quando eles pensaram em termos da dinâmica do processo. A aplicação de algumas idéias prévias, no entanto, forneceu dados inconsistentes com o sistema em estudo, como ocorreu com os grupos 4 e 6, ao aplicar a analogia do copo d'água. Por outro lado, o processo de análise da aplicabilidade da analogia àquele contexto específico, proporcionou a ênfase numa característica importante do sistema: o fato de ele ser fechado.

Através dessa analogia que foi utilizada pelos dois grupos, podemos perceber a contribuição do processo de **socialização dos modelos na turma**, através de sua expressão (concreta, verbal ou gestual) na apresentação. Esse processo permitiu o

compartilhamento de hipóteses, dúvidas, informações e soluções. Apesar de os dados explicitarem apenas poucos momentos em que ocorreu a apropriação da idéia de um grupo por outro, julgamos coerente considerar que isso pode ter ocorrido em vários outros momentos durante o processo, dado o seu caráter de interatividade entre os grupos.

A expressão e a apresentação dos modelos também foram importantes para a **reformulação** desses, uma vez que observamos que todos os grupos reformularam ou complementaram alguns de seus modelos no momento da exposição desses para a turma. Isso pode ter ocorrido pela incorporação de idéias de outros grupos, pela percepção da necessidade de inserção de elementos à explicação dos modelos (o que pode ter sido observado pelo aluno durante a própria apresentação), ou mesmo por uma súbita reorganização das idéias dos alunos, numa espécie de insight, ocorrida durante a exposição dos modelos. É possível, ainda, que devido à impossibilidade de registrarmos todas as discussões de todos os grupos anteriormente às apresentações<sup>16</sup>, alguns elementos que os grupos já haviam considerado durante a elaboração dos modelos tenham sido explicitados nos dados apenas durante a apresentação dos mesmos.

A **expressão do modelo concreto** merece ser particularmente citada por contribuir para a explicitação das idéias dos alunos, ou mesmo por trazer elementos implícitos que conduziram ao questionamento da professora para a elucidação das idéias dos alunos. Além disso, vale destacar a possibilidade de o modelo concreto ajudar os alunos a pensar no processo da reação, como foi possível observar na simulação realizada pelos alunos do grupo 6, no desenvolvimento de modelos de ligação para o sistema cromato/dicromato pelo grupo 4, e na proposição de um direcionamento de choques para a ocorrência da reação no grupo 3.

Esse processo se mostrou eficiente em promover o desenvolvimento de atributos essenciais para o equilíbrio químico, como: o processo ser dinâmico, as velocidades das reações de formação de produtos e de reagentes serem constantes, as espécies reagentes e produtos coexistirem no mesmo sistema.

---

<sup>16</sup> Em função da já comentada má qualidade das gravações em áudio das discussões em cada um dos grupos.

As dúvidas que os alunos apresentaram sobre equilíbrio químico, mesmo ao final desse processo, se concentraram em dois aspectos: deslocamento do equilíbrio químico e relação entre estequiometria da reação e extensão da mesma.

As dificuldades apresentadas pelos alunos em relação ao deslocamento do equilíbrio podem estar relacionadas à utilização, na estratégia de ensino, de um único exemplo que contemplava essa idéia. Isso provavelmente contribuiu para que os alunos não apresentassem uma interpretação clara e coerente sobre esse aspecto no último modelo que construíram. A idéia de deslocamento de equilíbrio químico só foi abordada mais consistentemente na discussão final sobre os modelos, no momento do compartilhamento das idéias sobre equilíbrio químico e da elaboração do modelo consensual da turma.

Apesar de os alunos terem apresentado uma idéia clara da coexistência de reagentes e produtos no equilíbrio químico, foi detectada na avaliação final uma certa dificuldade no estudo da extensão de uma reação em equilíbrio. A noção da reação se processar por completo e em um único sentido (conforme havia sido apresentado aos alunos até o início desse processo de ensino) se mostrou tão arraigada nas idéias dos estudantes que eles não perceberam conflito entre essa idéia e o modelo de equilíbrio químico discutido e aceito consensualmente na turma. Assim, metade dos alunos dos três grupos analisados apresentou, na avaliação final, uma idéia de total conversão de reagentes em produtos coexistindo com a idéia de equilíbrio químico.

Infelizmente, o fato de o processo ter ocorrido no final do ano letivo inviabilizou a possibilidade de discutir novamente esses pontos em que os alunos mostraram dificuldades. Isso também contribuiu para que não fosse possível detectarmos as reais origens dessas idéias incoerentes.

A partir de tudo o que foi comentado sobre as influências de elementos específicos do processo de ensino na aprendizagem dos alunos é possível afirmar que, apesar de nem todos os estudantes terem demonstrado conhecimentos claros sobre todas as idéias discutidas durante o processo, emergem da análise dos dados evidências de que o envolvimento no processo de construir e reformular os modelos contribuiu para a compreensão de *como* ocorre o processo do equilíbrio químico em termos qualitativos. Mesmo que de maneiras diferentes, todos os três grupos apresentaram em dado momento o desenvolvimento de um modelo básico de equilíbrio químico: a idéia de que

a reação não pára, isto é, na proposição de um modelo dinâmico (grupo 3), o modelo de reações ocorrendo em ciclo (grupo 6), ou o modelo de ressonância (grupo 4). É relevante destacar também que cada grupo chegou a esse modelo básico por um processo diferente do outro, mas todos participando ativamente na construção de seus próprios conhecimentos. Isso foi feito analisando e interpretando evidências e dados, integrando seus conhecimentos prévios às novas observações, avaliando o conhecimento produzido, testando-o e aplicando-o a novas situações.

Assim, a análise do processo vivido pelos alunos na construção do conhecimento sobre equilíbrio químico evidenciou como cada um dos elementos planejados para constituírem o processo de ensino (idéias prévias, evidências empíricas, questionamentos, discussão, expressão dos modelos, etc.) contribuiu para promover a aprendizagem de aspectos conceituais do equilíbrio químico. A análise evidenciou também que cada um desses elementos influenciou o desenvolvimento de idéias específicas e de maneira idiossincrática em cada um dos grupos. Nesse sentido, a análise aqui realizada corrobora a idéia de que o processo dinâmico e não linear de aprendizagem de ciências (particularmente de química) pode ser interpretado como ocorrendo a partir de sucessivas construções e reconstruções de modelos.

## CAPÍTULO 5

### INVESTIGANDO O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS

1. INTRODUÇÃO.....	102
2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO RELATIVO A MODELOS .....	102
3. COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	105
3.1. A natureza do modelo.....	106
3.2. Utilização dos modelos.....	107
3.3. Construção e modificação dos modelos .....	109
3.4. Modelos na ciência .....	112
4. O APRENDIZADO DE MODELOS E MODELAGEM.....	114

## INVESTIGANDO O APRENDIZADO SOBRE MODELOS E CONSTRUÇÃO DE MODELOS

### 1. INTRODUÇÃO

A segunda questão definida para ser investigada nesta pesquisa foi: *Como a utilização de atividades de modelagem pode contribuir para que alunos do ensino médio aprendam sobre modelos e construção de modelos?* Neste capítulo, discutiremos como os dados referentes a ela foram coletados e apresentaremos a análise realizada a partir dos mesmos.

O desenvolvimento desse processo de ensino incluiu um trabalho específico com modelos, sob um aspecto geral, para subsidiar o restante da proposta, desenvolvido de maneira específica na primeira aula do processo. Os objetivos dessa aula incluíam sondar o conhecimento prévio dos alunos sobre modelos e permitir que eles percebessem aspectos específicos do trabalho com modelos e modelagem. Em relação a esse último item, a primeira aula objetivou, especificamente, desenvolver: a confiança dos alunos nos modelos que eles viriam a construir posteriormente, reconhecendo a validade dos mesmos; o senso crítico sobre os seus e outros modelos que lhes fossem apresentados, além de discutir alguns elementos do processo de elaboração de modelos e, a partir disso, desenvolver uma visão mais adequada sobre como o conhecimento científico é produzido.

### 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO RELATIVO A MODELOS

Visando atingir os objetivos definidos nessa primeira aula, os alunos realizaram inicialmente a *Atividade 1* (Anexo I), que tinha como meta trabalhar o modelo sob um aspecto representacional, discutindo sua construção e suas limitações. Essa atividade era constituída de uma série de comandos, escritos e verbais, através dos quais os alunos foram solicitados a ‘fazer uma televisão’. A cada comando, eles eram solicitados a acrescentar elementos como: ligar a televisão, conectar a televisão a um aparelho de vídeo (ou DVD) e consertar a televisão. A discussão dessa atividade abordou: o papel representacional dos modelos, a diferenciação modelo *versus* realidade, a promoção de

alterações em um modelo diante de novas demandas e a construção de novos modelos para representar novos aspectos de um mesmo sistema. Essa discussão foi bastante interativa com a turma. A professora atuou, basicamente, coordenando a discussão, relacionando idéias e questões relevantes dos próprios alunos de forma que eles mesmos percebessem tais aspectos relativos a modelos.

Em seguida, foram apresentadas transparências com alguns mapas. O objetivo era trabalhar outros aspectos dos modelos como: todo modelo apresenta limitações, modelos representam apenas determinados aspectos da realidade, modelos diferentes podem ser utilizados para representar um mesmo fenômeno ou situação e, ainda, o fato de modelos poderem ser utilizados para fazer previsão.

Para isso, os alunos foram informados que os mapas utilizados representavam a mesma região de uma cidade. O primeiro mapa representava as linhas do metrô e o segundo representava as ruas dessa mesma região da cidade. Mediante questionamentos da professora, os alunos foram convidados a apontar a aplicabilidade e as limitações dessas duas representações. Eles identificaram a aplicabilidade dos dois mapas servindo a diferentes propósitos, reconhecendo não ser possível afirmar que um é melhor do que o outro sem considerar seu contexto de aplicação. Os alunos também foram questionados sobre se os mapas analisados seriam modelos ou não, questionamento este que favoreceu a discussão sobre o reconhecimento do papel e emprego dos modelos. Todas as características observadas nos mapas foram generalizadas para modelos.

Na seqüência, mais um mapa foi apresentado aos alunos, agora em outro contexto: um mapa da previsão de tempo no Brasil. A discussão dessa representação com a turma envolveu: o reconhecimento daquele mapa como um modelo, a avaliação da aplicabilidade daquele modelo, o seu processo de construção e a sua aplicação para simulação. Assim, importantes aspectos foram relacionados e generalizados: modelos são construídos com determinado propósito, simulações são tipos de modelos, e ainda, modelos podem ser usados para fazer previsões.

Em seguida os alunos fizeram a *Atividade 2* (Anexo II) com o objetivo de avaliar individualmente se eles reconheciam o que eram modelos ao exemplificar alguns. Os exemplos que cada aluno mencionou foram socializados com a turma. Nesse momento, foi trabalhada a diferenciação do emprego comum da palavra ‘modelo’ e o que seria o

modelo no contexto científico. Foram citados modelos do cotidiano, de várias áreas da Ciência e, posteriormente, essa discussão foi limitada aos modelos da Química.

Nesse último momento da discussão, todas as características até então mencionadas sobre modelos foram identificadas nos modelos já estudados pelos alunos na Química. Por exemplo, utilizou-se a comparação entre os modelos de Dalton, Thomson e Bohr para o átomo, mostrando a validade desses três modelos ainda hoje, dependendo do aspecto que queremos focar em um sistema. O modelo de Rutherford foi também abordado quando se falou sobre a construção dos modelos, o papel do conhecimento prévio dos cientistas e a interpretação de evidências empíricas.

Essa discussão foi encerrada com a análise de uma equação química, quando os alunos reconheceram-na como um modelo e apontaram os aspectos da reação representados pela equação (proporção entre as espécies, estado físico das substâncias, constituição das substâncias envolvidas, espécies participantes, variação de entalpia, etc.) e suas limitações (não fornecer informações sobre as ligações entre os átomos, energia de ativação da reação, entre outros).

Resumindo, a partir dessa primeira etapa do processo e das atividades nela compreendidas, foram discutidos os seguintes principais aspectos sobre modelos e seu processo de construção:

- modelos podem representar objetos, processos, ações ou idéias;
- modelos são representações de uma realidade, não a realidade em si;
- é inerente aos modelos que eles possuam limitações;
- é possível a existência de vários modelos para representar a mesma realidade;
- modelos são criados com propósitos específicos;
- modelos podem ser usados para favorecer a visualização, explicar, simular, prever ou, simplesmente, representar;
- modelos são importantes no processo de desenvolvimento do conhecimento.

As próximas aulas, assim como as atividades que foram realizadas nas mesmas, não envolveram nenhuma outra discussão sobre o tema específico ‘modelo’. Como apresentado no capítulo anterior, as atividades subsequentes envolveram a construção e reformulação de modelos específicos para os sistemas que estavam sendo abordados.

Nesse processo, os alunos tiveram a oportunidade de aplicar e desenvolver seus conhecimentos sobre modelos, ficando a cargo deles e, em alguns momentos, da professora, recapitular os aspectos da discussão inicial e perceber a influência dos mesmos e/ou sua contribuição para o processo de construção de conhecimento vivido por eles.

### **3. COLETA E ANÁLISE DE DADOS**

A metodologia usada para responder à segunda questão de pesquisa compreendeu a identificação e análise de elementos, ao longo do processo, que evidenciaram o desenvolvimento da compreensão dos alunos sobre a contribuição dos modelos no processo de construção do conhecimento.

Tais evidências foram extraídas das falas dos alunos – nas discussões dos grupos, no processo de expressão e de comunicação do modelo para a turma – além de alguma referência a isso que tenha aparecido nos dados escritos (principalmente os das Atividades 1, 2 e 10).

A análise desses dados foi realizada considerando os dez alunos freqüentes durante o processo, conforme descrito na metodologia desse trabalho, mas sem distinção entre os grupos dos quais eles participaram.

Essa forma de análise permitiu avaliar o conhecimento dos alunos de maneira aplicada, não apenas de maneira declarativa e desvinculada de contexto. Assim, foi possível observar o que os alunos realmente depuraram e interiorizaram durante o processo, uma vez que o conhecimento sobre modelos apareceu como um conhecimento tácito, aplicado durante o processo.

A análise dos dados buscou identificar os aspectos sobre modelos, trabalhados na primeira aula do processo, que foram recorrentes durante o mesmo, avaliando como esses aspectos influenciaram a construção dos modelos. A fim de facilitar a compreensão da análise, ela será apresentada em itens correspondentes a cada um desses aspectos.

### 3.1. A NATUREZA DO MODELO

Desde a realização da Atividade 1 (Anexo I), os alunos demonstraram uma compreensão sobre aspectos relacionados à natureza do modelo, distinguindo o modelo da realidade. Isso foi evidenciado pelas respostas dos alunos, como exemplificado a seguir:

*“Modelos são a representação da realidade, apenas isso. Não se comportam como o objeto representado e nem possuem as suas características, utilidades ou habilidades.” (A2G4)*

Dessa maneira, os alunos demonstraram reconhecer que um modelo não é a realidade em si, mas uma representação parcial da mesma e, assim, as limitações são inerentes a qualquer modelo. Além disso, através dessa primeira atividade, foi possível perceber que os alunos reconheciam a validade de um modelo, mesmo diante de limitações. A possibilidade de alterar um modelo mediante o surgimento de novas demandas ou aplicação em outros contextos também foi bastante recorrente nas respostas dos alunos, como no seguinte exemplo:

*“Eu percebi que os modelos que criamos para representar a realidade nem sempre conseguem atender às nossas necessidades, tendo que sofrer, então, várias alterações para que possam satisfazer às nossas demandas.” (A2G6)*

Essas idéias apareceram de maneira bem clara durante todo o processo, contribuindo para que os alunos confiassem em seus modelos e, mesmo diante da identificação de alguma limitação, reconhecessem o contexto de aplicação do modelo e, portanto, sua validade. Vários trechos do processo ilustram a aplicação desse conhecimento pelos estudantes, como, por exemplo, a fala do estudante A1G6, na apresentação do modelo de transformação do  $N_2O_4$  em  $NO_2$ :

*“Ali, no primeiro tubinho, está mostrando que tem moléculas de  $N_2O_4$ . Então, a gente está representando inicialmente a paradinha no gelo. Aqui (levanta a molécula). Só que a gente não se preocupou com a estrutura da molécula. Eu pelo menos não sei. E também o modelo não é para se preocupar, o modelo é só para mostrar a transformação de  $N_2O_4$  para  $NO_2$ .” (A1G6)*

Esta fala evidencia a compreensão de que um modelo serve a determinado propósito e, com isso, não há necessidade de explicar todos os aspectos da realidade, reconhecendo, dessa maneira, sua validade mesmo diante de limitações.

Outros momentos do processo evidenciaram a internalização dessa idéia por parte dos estudantes, contribuindo para encorajar a proposição dos modelos, mesmo diante de dificuldades encontradas em sua utilização. Isso pode ser ilustrado pela discussão da professora com o grupo 4, sobre o modelo para a transformação de  $\text{NO}_2$  em  $\text{N}_2\text{O}_4$ :

“Professora: *E uma só (molécula de  $\text{NO}_2$ ) representa isso que vocês queriam mostrar?*”

A1G4: *Para o que a gente queria mostrar sim! Agora, o que acontece ali (no sistema gasoso) não.*

Professora: *Por que não representa? Eles estão dizendo que uma molécula só não representa o que eles estão vendo ali. Vamos ouvir o porquê.*

A1G4: *Porque ali você tem uma quantidade muito maior que uma. Você tem oxigênio sobrando. Não sei se tem, pressupõe-se que tenha. Você tem nitrogênio sobrando depois da reação.*

A3G4: *Eu acho que assim, que as moléculas não dá para ver a cor. Porque eu acho que é a interação entre as moléculas que dá a cor. A interação entre os  $\text{NO}_2$  que dá a cor escura e a interação entre os  $\text{N}_2\text{O}_4$  que dá incolor.”*

Essa passagem mostra que os alunos identificaram algumas limitações no modelo proposto por eles. Entretanto, como tais limitações não se referiam ao aspecto essencial que eles pretendiam representar, isso não abalou a confiança do grupo nesse modelo, sendo o mesmo utilizado para o próximo sistema portando as mesmas limitações.

Em outros momentos, a identificação de limitações nos modelos levou os grupos a propor modificações nos mesmos, de maneira a atender determinado propósito. Devido à sua natureza, esse aspecto será discutido no item ‘processo de construção e reformulação do modelo’.

### **3.2. UTILIZAÇÃO DOS MODELOS**

O emprego dos modelos com propósitos variados foi citado pelos alunos tanto nas discussões e atividades da primeira aula (*Atividades 1 e 2*), quanto ao longo do processo.

Um aspecto que pareceu bem claro para os alunos, a julgar pela recorrência desse dado nas respostas dos mesmos, é a utilização dos modelos para simplificar a realidade, de maneira a torná-la mais acessível à nossa compreensão. Esse aspecto esteve bastante presente nas respostas da Atividade 1, em que os alunos enfatizaram a possibilidade de simplificar a realidade, principalmente em relação ao momento de ‘consertar a televisão’, que envolvia um sistema complexo para eles, que fugia do domínio dos seus conhecimentos.

A utilização dos modelos para simplificação também foi apontada por alguns alunos (A2G6, A3G4 e A2G4) na Atividade 2, quando eles expressaram suas idéias sobre o papel dos modelos para a construção do conhecimento. Nesse mesmo item da atividade, outras funções dos modelos apareceram de maneira bastante clara, principalmente a utilização dos mesmos para explicar e para representar:

*“Os modelos são importantes na representação de situações que não podemos ver, como por exemplo nos modelos atômicos.” (A2G6)*

*“São úteis, pois coisas difíceis de simplesmente imaginar podem ser vistas para entendermos o seu funcionamento.” (A2G4)*

*“É uma forma de facilitar o que está sendo estudado, pelo fato de existir uma visualização.” (A3G6)*

*“Os modelos são fundamentais para a construção do conhecimento, pois eles explicam coisas não observáveis, ajudando a entender como algumas coisas acontecem.” (A1G4)*

Todas as respostas acima evidenciam como os alunos associaram os modelos a sistemas não observáveis, permitindo uma “visualização” dos mesmos. Esse é um aspecto interessante, pois, conforme comentado na literatura (Grosslight *et al*, 1991, por exemplo), uma das dificuldades apresentadas por alunos em relação à compreensão dos modelos se deve à associação dos mesmos unicamente a entidades concretas e visualizáveis. O fato de os alunos não apresentarem tal dificuldade indica que a discussão inicial e as atividades realizadas por eles possibilitaram o desenvolvimento de idéias adequadas sobre a utilização de modelos. Acreditamos que também contribuiu para isso o fato de todo o processo de modelagem vivenciado pelos alunos ter envolvido a representação de modelos para sistemas microscópicos e para fenômenos, isto é, o fato de eles terem construído modelos para entidades não observáveis e para idéias.

Os modelos construídos ao longo do processo, pelos três grupos, foram utilizados com objetivos variados, como: representar, explicar, simular e prever.

O papel do modelo enquanto representação incluiu ‘visualizar’ as espécies participantes do processo para favorecer pensar em suas características. Esses modelos foram usados pelos grupos para expor e explicar suas idéias aos seus colegas e à professora.

A simulação também foi utilizada pelos grupos com o propósito de explicar, à medida que eles representavam o movimento das partículas, choques, quebra e formação de ligações. Entretanto, uma simulação realizada pelo grupo 6 mereceu destaque dentro desse processo: a da quebra da ligação das moléculas de  $N_2O_4$  para a formação de  $NO_2$ , através da agitação da caixa que continha as moléculas representadas como bolinhas de massinha. Isto porque, através dela, os alunos não apenas explicaram o que ocorria no sistema, mas também testaram o próprio modelo concreto.

A necessidade de explicar o deslocamento do equilíbrio no sistema cromato/dicromato favoreceu o uso dos modelos elaborados pelos alunos com mais um propósito: fazer previsão sobre o comportamento ou características do sistema em cada situação. Nesse aspecto, a participação do grupo 6 se destacou da dos outros grupos, tanto na discussão do grupo com a professora, quanto no desenvolvimento do modelo consensual da turma. Isso porque este foi o único grupo que chegou a propor e aplicar um modelo que, efetivamente, podia ser usado para prever o deslocamento do equilíbrio químico.

### **3.3. CONSTRUÇÃO E MODIFICAÇÃO DOS MODELOS**

O processo de construção e reformulação de modelos foi vivenciado pelos alunos com certa autonomia. Mesmo tendo sido fornecido um determinado subsídio para a proposição dos modelos (as evidências experimentais e os materiais concretos que foram disponibilizados), cabia aos alunos a decisão sobre a origem do mesmo, as idéias que seriam aproveitadas para sua construção, a forma de expressão utilizada e, mesmo, a definição da aplicabilidade do modelo.

Acreditamos que essa autonomia permitiu aos alunos uma maior conscientização sobre todo o processo. Além disso, as evidências coletadas ao longo do processo indicam que a vivência de um processo de construção de modelos permitiu aos alunos

desenvolver conhecimento sobre esse próprio processo, e não apenas o desenvolvimento de um conhecimento conceitual sobre equilíbrio químico.

À medida que os alunos propuseram seus modelos, eles tiveram de tomar decisões sobre a própria condução do processo, decidindo quais conhecimentos eles deveriam utilizar, aprendendo a interpretar as evidências empíricas e a integrar diversos conhecimentos prévios às novas situações. Assim, os alunos passaram a lidar com muita naturalidade com os modelos e seus atributos, como é possível observar quando um grupo se deparou com limitações em seus modelos:

*“As ligações fazem e depois elas se desfazem, mas a gente não faz idéia de como. Nosso modelo não explica porque ocorreu, como se forma a ligação... Agora a gente está tentando achar alguma explicação para o que está ocorrendo.” (A3G4)*

O modo com que os alunos lidaram com as limitações de seus modelos, buscando alterá-los ou apenas definindo seu contexto de aplicação, indica que eles perceberam a construção dos modelos como algo processual, sujeito a falhas e alterações. O trecho de transcrição, apresentado a seguir, ilustra como os alunos incorporaram novos elementos aos seus modelos à medida que eles percebiam incoerências ou tinham novas idéias:

A1G4: *A gente tem duas moléculas de NO<sub>2</sub> e quando você abaixa a temperatura, a ligação ocorreria novamente. Mas... como?*

Professora: *É. Por quê?*

A3G4: *Deve ser porque quando diminui a temperatura as moléculas ficam mais próximas.*

Professora: *Se diminui a temperatura elas ficam mais próximas? O que leva vocês a acharem que elas estão mais próximas?*

A3G4: *É porque a energia cinética delas está menor.*

Professora: *E qual é o estado físico dessas substâncias?*

A3G4: *Gás.*

Professora: *Gás? E diminuiu o espaço entre elas? Elas estão mais próximas?*

A3G4: *Não. É o mesmo.*

- Professora: *E por que o espaço é o mesmo? (...) Tem alguma implicação?*
- Grupo: *Tem.*
- Professora: *O que tem de implicação?*
- A3G4: *O gás tende a ocupar todo o espaço.*
- Professora: *O gás tende a ocupar todo o espaço? Qual é o problema disso no modelo de vocês?*
- A1G4: *Não é que elas vão se aproximar.*
- Professora: *Então é o quê?*
- A3G4: *É que elas vão agitar menos.”*

Dessa maneira, os modelos não apareceram para os alunos como um conhecimento imutável, mas, pelo contrário, como um conhecimento em produção, sujeito a alterações.

Outro tipo de limitação com o qual os estudantes se depararam ao longo do processo de modelagem relacionou-se não à idéia do modelo em si, mas à sua forma de representação. O trecho abaixo, extraído do momento em que o grupo 6 propõe seu primeiro modelo (transformação de  $N_2O_4$  em  $NO_2$ ), ilustra este aspecto:

- “A1G6: *É, tipo, quando a gente agita vai mostrando a transferência. Quando põe na água quente é instantâneo. Então quando separa vai mudando de cor.*
- Professora: *E teria uma outra forma que vocês acham que dava para representar melhor esse modelo? Vocês pensaram em alguma outra forma? Algum material que não tem aqui e vocês gostariam de ter usado?*
- A3G6: *O ideal seria se tivesse uma forma de prender para não acontecer o que aconteceu.*
- Professora: *Prender o quê?*
- A3G6: *Prender a molécula de  $N_2O_4$ , para quando agitar formar dois  $NO_2$  certinho, e não acontecer o que aconteceu (todas as bolinhas se separaram quando o recipiente que as continha foi agitado).*

A2G6: *É, nosso modelo não representa a mudança de cor, sabe? A gente não conseguiu pensar em uma forma que desse para representar. Deve existir alguma forma que possa.”*

Nesse trecho é possível observar que o grupo encontrou dificuldade em conseguir representar de maneira concreta o modelo que eles tinham elaborado. O resultado obtido com o teste do modelo concreto (momento de realização da simulação, conforme descrito anteriormente) não foi coerente com o que os alunos esperavam demonstrar. Além disso, para esse mesmo modelo, o aluno A2G6 apresentou mais uma limitação sob o aspecto representacional: a dificuldade de representar a mudança de cor observada no sistema.

Muitas vezes, esse tipo de dificuldade – limitação da representação – foi contornado pelos grupos através de complementações com explicações verbais durante a apresentação dos modelos. Isso permitiu aos estudantes diferenciar a representação concreta, apresentada por eles, do modelo em si, que envolvia outros atributos não necessariamente expressos de maneira visual.

Outro aspecto interessante, referente ao início do processo de construção de qualquer modelo, é que modelos são criados a partir de necessidades e/ou contextos específicos. Tal aspecto apareceu nas respostas à *Atividade 1* e durante todo o processo, quando os estudantes limitaram o contexto de aplicação de seus modelos. Esse conhecimento viabiliza a idéia de coexistência de modelos com diferentes atributos, para representar um mesmo fenômeno. Isso pode ser observado durante o processo quando, mesmo identificando diferenças entre o seu modelo e o dos colegas, um grupo reconhecia a viabilidade dos dois modelos. Um exemplo disso aconteceu quando os grupos apresentaram seus modelos para o sistema cromato/dicromato. Nesse momento, o grupo 6 expressou a idéia de ‘ciclo’ (reagentes formando produtos ao mesmo tempo em que produtos formavam reagentes). O grupo 4, apesar de afirmar que achava a idéia do ciclo um bom modelo para o processo, não abriu mão do próprio modelo, aplicando-o ao sistema seguinte (deslocamento do equilíbrio), sem incorporar elementos do modelo do grupo 6.

### **3.4. MODELOS NA CIÊNCIA**

O papel dos modelos na ciência foi discutido apenas na primeira aula, durante a elucidação de exemplos de modelos na ciência para o estudo de seus aspectos. Além

disso, esta questão esteve presente apenas na *Atividade 2*, principalmente através de uma pergunta específica: “*Como você acha que é elaborado um modelo na ciência?*”. A *Atividade 10* também proporcionava uma reflexão sobre o assunto, mas esta foi direcionada para a percepção do aluno sobre seu processo de aprendizagem (o que será discutido no capítulo seguinte desse trabalho). Além desses dados, a aprendizagem sobre o papel dos modelos na ciência só pôde ser discutida com base em evidências do processo, uma vez que isso não foi retomado explicitamente no mesmo.

Um ponto interessante a ser destacado, que foi possível de ser observado através da discussão da primeira aula e dos dados coletados na *Atividade 2*, foi a relativa dificuldade de os alunos citarem modelos que estivessem presentes no seu dia-a-dia, em detrimento aos modelos científicos. Isso pode indicar que os alunos não reconhecem o processo de modelagem como inerente ao processo de cognição humana, atribuindo-o à atividade científica. Tal suposição pode ser reforçada pela facilidade que os alunos tiveram em enumerar os modelos na ciência.

Nessas atividades iniciais, as respostas dos alunos sobre como um modelo é elaborado na ciência foram bastante superficiais, enfatizando a articulação de hipóteses, teorias e evidências experimentais, mas sem mencionar *como* isso é feito.

A identificação de aspectos que deveriam, posteriormente, ser observados pelos alunos no processo de construção dos seus próprios modelos, apresentando uma interseção entre a construção de modelos na ciência e o processo vivenciado por eles, se limitou à elaboração do modelo a partir da necessidade de compreender um determinado fenômeno ou idéia e à utilização de experimentos e observações para a construção dos modelos.

Apesar da utilização dessas idéias ao longo do processo ter sido bastante freqüente e de os alunos terem demonstrado bastante domínio e desenvoltura no processo de construção de modelos, não houve, durante o processo, nenhuma referência ao papel dos modelos na ciência por parte dos alunos nem da professora.

A única evidência do estabelecimento de relação entre o processo vivido pelos alunos e a construção de modelos na ciência, se deu através da resposta de um aluno a uma questão da *Atividade 10*, em que esse aluno afirmou:

*“Este processo nos colocou no lugar dos pesquisadores (que constroem modelos), dessa forma verificando os passos e as dificuldades na construção dos modelos.” (A3G6)*

Ou seja, apesar de o aluno não ter mencionado diretamente ciência ou cientistas, ele demonstrou perceber as similaridades do processo que ele vivenciou àquele desenvolvido por “pesquisadores” (denominação provavelmente utilizada como sinônimo para cientistas).

Assim, ficou a cargo dos próprios alunos estabelecer algum relacionamento nesse sentido, não sendo possível observar evidências do desenvolvimento dessa compreensão através dos dados coletados. Isso se justifica pela ausência de uma discussão ou atividade específica sobre esse aspecto, o que foi inviabilizado pelo tempo restrito e pela impossibilidade de haver mais uma aula com a turma para discutir aspectos gerais do processo.

Entretanto, acreditamos que o próprio reconhecimento de terem vivenciado um processo de modelagem sugere o desenvolvimento da compreensão desse processo, sob um aspecto geral. Isso foi percebido nas respostas da *Atividade 10*, quando os alunos tiveram uma oportunidade concreta para expressar a compreensão da relação entre o processo vivenciado e a construção de modelos, avaliando sua própria aprendizagem sobre isso. Essa discussão, que se insere no contexto da terceira questão de pesquisa, será apresentada no próximo capítulo.

#### **4. O APRENDIZADO DE MODELOS E MODELAGEM**

Avaliando o processo de uma maneira geral, é possível ponderar a contribuição deste para o desenvolvimento do conhecimento dos alunos sobre modelos e modelagem, bem como a aplicação desse conhecimento.

Por não ser um conhecimento declarativo, esse conhecimento sobre modelos e modelagem teve de ser avaliado ao longo de todo o processo, buscando-se evidências que comprovassem seu desenvolvimento. Dessa maneira, foi possível identificar o que os alunos pensavam sobre os modelos e seu processo de construção, mediante a aplicação que eles fizeram desse conhecimento durante o processo.

A habilidade dos alunos em trabalhar com os modelos, construindo, fazendo alterações, reformulando, testando, expressando e aplicando-os, mostrou o desenvolvimento da compreensão desse processo como um construto dinâmico, sujeito a erros e acertos. Da mesma forma, a liberdade dos alunos em propor mudanças nos modelos ou a naturalidade com que eles lidaram com suas limitações como aspectos inerentes ao processo de modelagem demonstraram compreensão e domínio sobre tal processo.

Vale destacar que, na discussão da primeira aula e nas atividades escritas iniciais, os alunos não conseguiram enumerar todos os atributos e aplicações dos modelos, bem como dar definições e/ou fazer relações teóricas com seu emprego no processo de construção do conhecimento científico. Contudo, o processo oportunizou que os alunos demonstrassem na prática esse conhecimento e, da mesma maneira, também oportunizou o seu desenvolvimento através dessa mesma prática. Isso corrobora a idéia de que o conhecimento sobre modelos e modelagem não pode ser avaliado como um conhecimento declarativo (Morrison & Morgan, 1999). Na verdade, ele emergiu do processo, muitas vezes, como um conhecimento tácito e, por vezes, não foi verbalizado.

De maneira aplicada, os alunos mostraram saber diferenciar o modelo da própria realidade, não demonstrando isso como uma dificuldade ou empecilho para o processo, como alguns estudos (Grosslight *et al.*, 1991; Barab *et al.*, 2000) apontam como recorrente em termos de dificuldade dos alunos.

Pensando na aplicação e atributos dos modelos, os alunos demonstraram reconhecer vários dos contextos de uso e aplicação dos mesmos, sem, ao mesmo tempo, desconhecer suas limitações, possibilidade e necessidade de mudanças.

Assim, podemos afirmar que os estudantes foram capazes de criar, modificar e refinar seus modelos, demonstrando o desenvolvimento da compreensão do processo de modelagem. Mesmo que isso não tenha sido evidenciado de maneira declarada, consideramos que tal compreensão os aproximou da compreensão do processo de construção da ciência.

Na tentativa de exprimir *como* o processo de ensino contribuiu para o desenvolvimento da compreensão dos alunos sobre modelos e modelagem, foi possível

enumerar elementos desse processo que tiveram um papel relevante nesse sentido. Entretanto, como a análise dessa questão de pesquisa partiu do contexto de aplicação desse conhecimento, ficou difícil (se não impossível) distinguir a influência do conhecimento prévio dos alunos da discussão da primeira aula e dos elementos e/ou conhecimentos que emergiram da vivência do processo. Todavia, a análise global dos dados disponíveis – que evidencia a participação ativa dos alunos na construção dos modelos e uma compreensão muito boa de elementos relevantes desse processo (como apresentado neste capítulo) – nos permite afirmar o sucesso do processo de ensino em termos do aspecto aqui analisado.

## CAPÍTULO 6

### INVESTIGANDO A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO PROCESSO DE APRENDIZADO

1. INTRODUÇÃO.....	118
2. METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	118
3. ANÁLISE DOS DADOS .....	119
3.1. Compreensão de aspectos conceituais sobre o equilíbrio químico	119
3.2. Compreensão do processo de construção de modelos.....	120
3.3. Compreensão do papel dos modelos na ciência .....	122
3.4. O sentimento do aluno em relação ao processo.....	123
4. A PERCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO APRENDIZADO.....	124

## INVESTIGANDO A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO PROCESSO DE APRENDIZADO

### 1. INTRODUÇÃO

A terceira questão a ser investigada nesta pesquisa implicava em uma avaliação do processo realizada pelos próprios alunos. Ela foi definida como: *Como os alunos do ensino médio percebem a influência da participação em atividades de modelagem em seu processo de aprendizagem?*

Esse questionamento foi definido para incluir na pesquisa aspectos que talvez não estivessem presentes durante as outras discussões e que viessem a colaborar para a análise desse processo de ensino sob um âmbito mais geral, levando em conta as impressões de quem o vivenciou.

### 2. METODOLOGIA DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os dados para responder à terceira questão de pesquisa foram coletados a partir de um questionário escrito, *Atividade 10* (Anexo X), aplicado na última aula do processo de ensino. Essa atividade objetivou proporcionar uma reflexão dos estudantes sobre o processo por eles vivenciado, de modo a verificar como eles avaliavam o próprio aprendizado e o processo de construção do conhecimento vivenciado por eles.

As questões contidas nessa atividade abordavam pontos específicos sobre o processo de aprendizagem, sendo eles:

- compreensão de aspectos conceituais sobre o equilíbrio químico;
- compreensão do processo de construção de modelos;
- compreensão do papel dos modelos na ciência.

Além disso, a atividade buscou retratar a impressão geral do aluno sobre esse processo, no sentido de ele ter ou não gostado de participar do mesmo.

Os alunos foram solicitados a responder às questões dessa atividade com bastante sinceridade, sem se preocupar com a avaliação da professora sobre suas

respostas. Isso foi favorecido pelo clima amistoso entre os alunos e a professora, e pelo propósito da pesquisa ter-lhes sido explicitado desde o início.

A análise dos dados será apresentada a partir da análise de cada aspecto abordado pela *Atividade 10*. Para cada aspecto serão apresentadas as impressões do processo descritas pelos alunos, suas implicações e/ou origens no processo de ensino.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.1. COMPREENSÃO DE ASPECTOS CONCEITUAIS SOBRE O EQUILÍBRIO QUÍMICO

A primeira questão da *Atividade 10* era:

*“Você acredita ter aprendido o que é um equilíbrio químico através dessas atividades? Justifique.”*

Esse questionamento permitiu observar a convicção dos estudantes no aprendizado que eles tiveram em função da participação nesse processo, avaliando, ao mesmo tempo, a convicção que eles tinham no modelo de equilíbrio químico desenvolvido por eles ao final do processo.

Em relação a esse questionamento, todas as respostas dos alunos foram positivas. Apesar de suas justificativas terem sido variadas, elas convergiram para apontar aspectos do processo que implicaram na promoção de uma aprendizagem significativa.

Dos dez alunos participantes cujos dados estão sendo considerados nesta dissertação, seis deles (A1G3, A2G3, A3G3, A2G4, A2G6, A3G6) apresentaram a justificativa dessa questão baseada no fato de o processo ser gradual e envolver a participação ativa deles. Isso pode ser observado nos seguintes exemplos:

*“Através da tentativa de construção de um modelo tivemos que levantar hipóteses para explicar a reação, e isso levou à hipótese do equilíbrio.”*  
(A1G3)

*“Pois com os problemas e dúvidas dos acontecimentos que nos envolve fica fácil entender depois. Você pensa em um problema e depois que ele é esclarecido você não esquece mais.”* (A2G3)

*“Fazendo-se, aprende-se muito mais que apenas lendo.”* (A2G4)

Outros dois alunos (A2G6 e A4G3) apresentaram suas justificativas para essa questão em função da percepção do dinamismo do processo, através da integração de idéias como movimento de partículas, choques e formação e quebra de ligação:

*“... pois pude perceber o dinamismo das reações, que permite que as concentrações de reagentes e produtos sejam constantes.” (A2G6)*

Os outros dois alunos (A1G4 e A3G4) apresentaram características dos sistemas em equilíbrio químico, sem relacioná-las a como o processo contribuiu para o desenvolvimento das mesmas. Por isso consideramos essas duas justificativas incoerentes com a questão proposta na atividade.

Em síntese, podemos afirmar que as respostas dos alunos a essa questão enfatizaram a relevância da participação do aluno em seu próprio processo de aprendizagem, mostrando como isso pode promover a consciência do estudante sobre o processo em que ele está envolvido e sobre seu próprio conhecimento.

As respostas dos estudantes evidenciaram, ainda, como esse processo permitiu o desenvolvimento da compreensão da dinâmica da reação, característica fundamental do equilíbrio químico. A possibilidade de o estudante elaborar modelos mentais para os processos, rodá-los e testá-los em sua mente, contribuiu para o desenvolvimento da compreensão do equilíbrio químico em nível microscópico e, em função disso, favoreceu a aprendizagem de *como* ocorre o equilíbrio químico.

### **3.2. COMPREENSÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MODELOS**

A segunda questão da *Atividade 10* era:

*“O processo do qual você participou (elaborar, modificar a partir de evidências, discutir e revisar os modelos) contribuiu para sua compreensão sobre como os modelos são construídos?”*

Assim, essa questão buscava avaliar a percepção dos alunos sobre a própria aprendizagem do processo de construção de modelos.

A essa questão todos os alunos apresentaram resposta positiva, sendo suas justificativas um pouco variadas. Três alunos (A1G3, A2G3 e A2G4) apresentaram suas respostas em termos de uma participação ativa no processo, sendo a aprendizagem da construção de modelos conseqüente do próprio processo de construção em que eles

estiveram envolvidos, como um aprendizado resultante da prática. Isso fica evidenciado, por exemplo, na justificativa do aluno A2G3:

*“Pois elaborando estes modelos podemos entendê-los.”* (A2G3)

O aluno A2G4 ressaltou a dificuldade do processo de modelagem:

*“Isso me mostrou como é difícil montar um modelo.”* (A2G4)

A justificativa apresentada pelo aluno A3G4 também se baseou no aprendizado decorrente da participação no processo. Entretanto esse aluno estabeleceu um relacionamento entre o processo vivenciado por ele e o processo de construção de modelos na ciência, evidenciando o desenvolvimento da compreensão do processo de construção do conhecimento na ciência:

*“Pois este processo nos colocou no lugar dos pesquisadores (que constroem modelos) dessa forma verificando os passos, as dificuldades, na construção de modelos.”* (A3G4)

Outras justificativas apresentadas pelos alunos salientaram aspectos aprendidos sobre o processo de construção de modelos, decorrentes das situações evidenciadas no processo. Entre esses aspectos foram apresentados: a construção de um modelo oriunda de uma necessidade específica; os diferentes empregos dos modelos (previsão, explicação, representação, etc.), a existência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno e/ou sistema, entre outros, como exemplificado a seguir:

*“Pois nós mesmos montamos o modelo, observando uma experiência. Além disso, na sala houveram diferentes modelos sobre uma mesma coisa, aí podemos observar as diferenças entre os modelos.”* (A1G4)

*“Pois pude ampliar o meu conceito sobre os modelos e que eles não servem apenas para representar, mas também para explicar e prever vários fenômenos.”* (A3G4)

*“Percebi que os modelos são elaborados a partir da necessidade de compreender e/ou explicar uma determinada situação.”* (A2G6)

Esses dados possibilitaram perceber a contribuição do processo para o desenvolvimento não apenas de conhecimento conceitual sobre equilíbrio químico, ou mesmo sobre modelos. Os alunos mostraram o desenvolvimento do conhecimento sobre o processo de modelagem, bem como o desenvolvimento da capacidade de aplicação desse conhecimento na construção de seus próprios modelos. Além disso, os alunos evidenciaram ter compreendido não apenas o processo de modelagem, mas também

toda sua complexidade, seu relacionamento com outros modelos, com dados empíricos e mesmo com teorias. E, ainda, eles mostraram ter consciência do desenvolvimento desse conhecimento. Isto porque, nas respostas dessa *Atividade 10*, os alunos foram capazes de generalizar esse conhecimento a modelos de maneira geral, deixando clara a compreensão de que o processo vivido por eles é representativo de qualquer processo de construção de modelos.

### 3.3. COMPREENSÃO DO PAPEL DOS MODELOS NA CIÊNCIA

A *Atividade 10* apresentou como terceira questão:

*“Esse trabalho contribuiu para sua compreensão do papel dos modelos na ciência?”*

Ou seja, ela avaliou se os alunos relacionaram a construção e utilização dos modelos ocorridas durante o processo à construção e utilização dos modelos na ciência.

Apesar de, novamente, todas as respostas apresentadas pelos alunos terem sido positivas, nenhum deles apresentou uma justificativa que explicitasse o desenvolvimento da sua compreensão do papel dos modelos na ciência, a partir do processo vivido.

Todas as justificativas apresentadas pelos alunos foram bastante evasivas e inconsistentes, referindo-se, em geral, ao reconhecimento da validade da utilização de modelos para simplificar um fenômeno e ou sistema, para auxiliar na aprendizagem ou, simplesmente, justificaram que tinham participado de um processo de modelagem. Alguns exemplos dessas justificativas são:

*“Eles (modelos) facilitam a observação dos fatos, simplificando a realidade.” (A3G4)*

*“Os modelos nos ajudam a pensar sobre determinada situação.” (A2G6)*

*“Porque através dos modelos podemos explicar, prever e representar vários fenômenos.” (A3G3)*

Essas justificativas podem se dever ao fato de os alunos não conseguirem relacionar o processo vivido por eles ao processo de construção do conhecimento científico ou, ainda, à não compreensão da questão.

A possibilidade de os alunos terem encontrado dificuldades no relacionamento citado acima deve ser considerada, pois em nenhum momento do processo ocorreu uma abordagem específica sobre tal aspecto. Apenas a primeira aula (que trabalhou especificamente com atributos dos modelos) incluiu referência ao processo de construção do conhecimento científico e à utilização de modelos na ciência. Entretanto, essa referência foi realizada apenas no sentido de enfatizar aspectos dos modelos e da construção desses, sem que se tivesse comentado qualquer possível relacionamento com o processo de ensino do qual eles participariam a seguir.

### **3.4. O SENTIMENTO DO ALUNO EM RELAÇÃO AO PROCESSO**

A última questão da *Atividade 10*, ao contrário das questões anteriores, não avaliou a percepção do estudante sobre seu aprendizado, mas um outro aspecto fundamental para o sucesso de uma atividade de ensino: o envolvimento emocional do estudante com o processo. Essa última questão era:

*“Você gostou de participar desse trabalho? Por quê?”.*

Apesar de apresentarem justificativas variadas, todos os alunos responderam positivamente. Entre tais justificativas se destacam: a ocorrência de discussões em sala, a oportunidade de aprofundar nos fenômenos em estudo, a necessidade de refletir e propor explicações. A resposta do aluno, apresentada abaixo, ilustra o caráter investigativo que motivou e agradou os alunos, na participação desse processo. Esse aspecto esteve presente na resposta de quatro, dos dez alunos (A1G4, A2G4, A2G6, A3G6).

*“Porque gosto muito desse trabalho investigativo, levantando evidências e formulando possíveis explicações.” (A3G6)*

Uma justificativa interessante foi apresentada pelo aluno A3G4, que destacou a importância do processo, independente de o grupo ter chegado a uma conclusão final sobre equilíbrio químico:

*“Apesar de ser uma pessoa que não gosta muito de prática, gostei de quebrar a cabeça, apesar de não chegar a uma conclusão.” (A3G4)*

Um aluno reclamou sobre o processo ter sido cansativo mas, mesmo assim, afirmou ter gostado de participar. Essa queixa do aluno pode ter-se originado da grande quantidade de atividades escritas realizadas durante o processo. Entretanto, no contexto

de realização de uma pesquisa, isso se tornou necessário para o fornecimento de mais dados que permitissem caracterizar o processo de maneira mais fiel.

#### **4. A PERCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O PRÓPRIO APRENDIZADO**

A análise apresentada anteriormente evidencia que os alunos avaliaram positivamente o processo vivenciado, mostrando consciência sobre o desenvolvimento do próprio aprendizado, o que pode ser atribuído à participação ativa desses.

Esse processo permitiu certa autonomia dos estudantes em relação às explicações que eles deveriam propor, uma vez que seus modelos não foram julgados como certos ou errados. Em todas as aulas cabia a eles não apenas propor os modelos, mas testá-los e avaliá-los.

Acreditamos poder atribuir o engajamento dos estudantes no processo ao envolvimento que o mesmo proporcionou, instigando os alunos a construir modelos e propor explicações. Para isso, o fato de o processo envolver atividades que demandaram o desenvolvimento de um conhecimento a partir de reflexão, interpretação de dados e integração de idéias foi crucial para atribuir um caráter investigativo ao processo. Isto porque as questões que deveriam ser explicadas e/ou respondidas pelos alunos exigiam mais do que simplesmente a repetição ou aplicação direta de conhecimentos declarativos.

Consideramos também que a autonomia dos alunos durante o processo conferiu-lhes maior responsabilidade sobre os modelos que estavam desenvolvendo, o que contribuiu para tornar-lhes mais cientes do processo no qual eles estavam inseridos.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA

1. INTERFACES DAS QUESTÕES DE PESQUISA.....	126
2. O PROCESSO À LUZ DO DIAGRAMA: AÇÕES PARA SEU DESENVOLVIMENTO .....	128
3. O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA ÁREA: UMA DEMANDA DO ENSINO.....	133
4. A AVALIAÇÃO DO APRENDIZADO SOBRE MODELOS E MODELAGEM .....	134
5. A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO. ....	135

## CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A PESQUISA

### 1. INTERFACES DAS QUESTÕES DE PESQUISA

A presente pesquisa investigou o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes em dois aspectos: conhecimento de aspectos qualitativos sobre equilíbrio químico e conhecimento sobre modelos e modelagem.

Todo o processo contou com a participação ativa dos estudantes, evidenciada pelo engajamento deles na realização de todas as atividades, com destaque para as discussões – nos grupos e com toda a turma – quando eles apresentaram, justificaram e avaliaram o conhecimento que estavam produzindo. Essa intensa participação é um aspecto que merece ser destacado por sua contribuição no desenvolvimento do processo de aprendizagem. A relevância da participação dos alunos no processo foi identificada não apenas pelos pesquisadores envolvidos nesse trabalho, mas também pelos próprios estudantes. Conforme foi possível perceber através da análise da terceira questão de pesquisa (capítulo 6), o desenvolvimento gradual das idéias no processo, a interação entre os grupos – e a conseqüente socialização de idéias –, e a necessidade de integrar conhecimentos prévios a um novo contexto em estudo foram pontos que nitidamente colaboraram para o desenvolvimento das idéias dos alunos sobre ambos os temas: equilíbrio químico e modelos e modelagem.

Avaliando o aprendizado de equilíbrio químico desenvolvido pelos estudantes, podemos afirmar que o processo de ensino contribuiu decisivamente para a compreensão de vários aspectos qualitativos sobre o tema, essencialmente relacionados a *como* o equilíbrio químico ocorre. Essa contribuição pode ser relacionada, principalmente, ao que tange a compreensão do aspecto dinâmico do equilíbrio. Isso foi observado não apenas pela análise da primeira questão de pesquisa (capítulo 4), quando observamos o desenvolvimento de modelos coerentes com esse aspecto essencial do equilíbrio químico, mas também pela análise da terceira questão de pesquisa (capítulo 6), que evidenciou que os próprios alunos reconheceram esse aprendizado. O conhecimento prévio do modelo cinético molecular para os estados líquido e gasoso foi

crucial para que, a partir dele, os alunos considerassem o aspecto dinâmico da reação e, conseqüentemente, pensassem em mecanismos de reação envolvendo choques.

A percepção dos alunos sobre o próprio aprendizado mostrou-se, na maior parte dos casos, coerente com o aprendizado que eles realmente demonstraram ter desenvolvido ao longo do processo e na avaliação final. Vale destacar o bom desempenho dos integrantes dos grupos 4 e 6 na avaliação final, demonstrando uma compreensão melhor e de maior número de aspectos do equilíbrio químico, em relação ao grupo 3. Uma possível justificativa para isso é a participação dos alunos nas sucessivas construções e reconstruções de seus modelos, assim como na aula de elaboração do modelo consensual da turma. A importância dessa última discussão para a compreensão do equilíbrio químico se relacionou à generalização de atributos do modelo aceito como consensual pela turma e aplicação do mesmo a outros contextos, integrando e relacionando vários aspectos trabalhados ao longo do processo. Em tal discussão, os alunos dos grupos 4 e 6 tiveram uma notória participação, enquanto os do grupo 3 participaram apenas mediante solicitação da professora. Essa participação mais restrita desse grupo pode ter comprometido a compreensão de aspectos relevantes do equilíbrio químico, além de limitar a oportunidade desses alunos de esclarecer possíveis dúvidas.

A aprendizagem sobre modelos e, principalmente, sobre modelagem, por outro lado, se mostrou bastante coerente com a avaliação positiva dos alunos sobre seu desenvolvimento. Todos os dez alunos mostraram destreza em elaborar e reformular seus modelos, bem como delimitar seu contexto de aplicação e reconhecer a validade desses, mesmo perante limitações.

Um aspecto que não foi possível identificar nessa pesquisa, em termos de aprendizado dos alunos, foi o desenvolvimento de uma compreensão de como se constrói o conhecimento científico. Isso se deveu à restrição de tempo para a realização de reflexões e discussões sobre o tema, que pudessem propiciar um contexto viável para o aluno demonstrar tal conhecimento de maneira mais explícita. Apesar do direcionamento de uma questão com essa finalidade na Atividade 10, a falta de oportunidade e motivação para os alunos estabelecerem esse relacionamento durante o processo resultou em respostas em desacordo com o objetivo inicial da questão. Talvez a elaboração de questões em um outro formato, que favorecesse a aplicação desse

conhecimento em outros contextos, também pudesse ter auxiliado na investigação desse aspecto.

Entretanto, podemos considerar, conforme apresentado pela literatura (Harrison & de Jong, 2005), que o conhecimento do processo de modelagem já implica, mesmo que de maneira implícita, a compreensão do processo de construção do conhecimento científico, uma vez que modelos estão na base do seu desenvolvimento.

## **2. O PROCESSO À LUZ DO DIAGRAMA ‘MODELO DE MODELAGEM’: AÇÕES PARA SEU DESENVOLVIMENTO**

Analisando o desenvolvimento do processo à luz do diagrama ‘modelo de modelagem’ (Figura 2.2), que subsidiou essa proposta, é possível verificar como cada uma das etapas do processo se inter-relacionaram e como o sucesso na aprendizagem dos alunos corrobora a utilização das etapas propostas no diagrama no ensino.

Na proposta de ensino elaborada a partir desse diagrama, o processo se iniciou com a seleção daquilo que deveria ser estudado (‘definir os objetivos’ no diagrama). Como observado nesse caso, tal etapa foi realizada pela professora ao definir as entidades que deveriam ser modeladas (os sucessivos sistemas experimentais que foram apresentados aos alunos) e os propósitos aos quais tais modelos deveriam servir (basicamente, explicar as observações feitas a partir de cada sistema).

A partir desse momento, a realização de experimentos (previamente selecionados) permitiu aos alunos ‘ter experiência com o alvo’ e, a partir disso, ‘selecionar a origem para o modelo’. Isso favoreceu aos alunos pensar sobre aquele novo sistema em estudo também a partir de seus conhecimentos prévios, definindo algumas características para seus modelos iniciais.

Considerando que essa etapa inicial consistiu, então, da definição do propósito do modelo, da interpretação do fenômeno e da integração com conhecimentos prévios, a professora teve grande responsabilidade por decisões tomadas anteriormente. Primeiro, na seleção de um sistema que desafiasse os estudantes e fizesse com que eles se engajassem na atividade. Esse sistema era acessível à compreensão desses alunos e, ao mesmo tempo, trouxe implícito um problema que provocou um conflito nas idéias que

os estudantes apresentavam anteriormente, de forma que eles tiveram que buscar uma reequilibração para solucioná-lo.

Em segundo lugar, o que deveria ser modelado ficou claro para os alunos, emergindo do problema que foi gerado. Para isso, foi importante a professora saber o nível de conhecimento dos estudantes, julgando se seus modelos anteriores eram suficientes como ponto de partida para a construção e/ou reestruturação do novo modelo. Esse conhecimento também foi importante na condução do processo e na determinação dos aspectos que seriam abordados no modelo.

O sucesso dessa etapa inicial foi observado pelo engajamento dos alunos na solução do problema, buscando integrar seus conhecimentos prévios ao novo sistema em estudo, transpondo seus conhecimentos para um novo contexto.

Após essa etapa, os alunos elaboraram seus modelos mentais e os socializaram dentro dos grupos. Apesar da construção do modelo mental do aluno ser inacessível ao professor, essa é uma etapa inerente ao processo de elaboração do modelo. Isso porque, ao pensar em uma forma de explicar o fenômeno observado ou o problema em estudo, o aluno já está elaborando em sua mente um modelo para aquilo, mesmo que ele não chegue a uma conclusão a respeito.

A expressão dos modelos nesse processo se deu em várias etapas, havendo a expressão do modelo mental do aluno para o seu grupo, expressão do modelo do grupo para a professora e, posteriormente, para a turma. Em todos os casos, isso foi realizado de maneira concreta e verbal.

A utilização de uma seta de duas pontas entre a elaboração do modelo mental e sua expressão, no diagrama, pode ser compreendida através das observações do processo estudado. A dinâmica dessa etapa pôde ser observada pelo processo de exposição dos modelos individuais dos alunos dentro do próprio grupo, seguida de discussões que levaram à reformulação de seus modelos mentais e, então, a novas exposições (expressão verbal) que resultaram na construção dos modelos no grupo. É importante pontuar que, nessa etapa do processo, como os alunos trabalharam em grupo, o processo de expressão do modelo mental de cada aluno constituiu a base para a elaboração e expressão de um modelo consensual do grupo. Algumas vezes tal modelo foi muito próximo do modelo criado e expresso por um determinado aluno, mas, mesmo

assim, ele foi o resultado do processo de socialização das idéias de todos (ou, pelo menos, da maioria de) os alunos do grupo.

Ainda sobre o processo de elaboração dos modelos mentais, vale lembrar que ele é um processo individual e inacessível ao professor – e mesmo a outros alunos dos grupos. Entretanto, tal processo pode ocorrer com a participação de outras pessoas, como foi observado nesta pesquisa. Por exemplo, em uma tentativa de problematizar alguma questão visando auxiliar o aluno a desenvolver seu modelo mental, tanto a professora quanto os colegas formularam questões e colaboraram com sugestões que nortearam cada aluno ao longo desse processo.

Após a elaboração dos modelos de cada grupo que, em geral, foram construídos como um consenso entre os modelos mentais expressos verbalmente pelos alunos, eles passaram a uma outra etapa de expressão do modelo: a construção da representação concreta. Nesse momento, foi necessário existir uma adequação entre o modelo elaborado por cada grupo e o modelo que seria expresso concretamente, o que ocorreu através de uma seqüência de modificações. Tal aspecto também pode ser visto como ilustrativo da dinâmica dessa etapa representada pela seta dupla no diagrama.

O fato de a professora ter disponibilizado diversos recursos e não ter limitado alguma forma de representação convencionada valorizou a criatividade dos alunos, o que os possibilitou buscar dentro dos meios de representação possíveis, formas que se adequassem aos seus diferentes modelos, de acordo com suas habilidades e limitações específicas.

A disponibilidade de materiais e recursos para a expressão do modelo influenciou na capacidade dos alunos expressarem seus modelos, sendo que problemas relacionados a esse aspecto foram, muitas vezes, explicitados pelos alunos. Isso foi observado quando os alunos reconheceram a possibilidade de usar ímãs, ou, ainda, quando dois grupos afirmaram a impossibilidade de representar no modelo a alteração de cor no sistema.

A percepção de algumas limitações nos modelos concretos levou a adequações no modelo consensual do grupo, ao mesmo tempo que adequações do modelo concreto ocorreram perante o surgimento de novas idéias.

Testes mentais foram realizados pelos alunos à medida que foi necessário aplicar seus modelos a novos contextos, o que ocorreu nesse processo mediante a apresentação de novos sistemas empíricos ou a elaboração de alguma questão por algum aluno. A realização desses testes levou à identificação de limitações, o que gerou alterações em um dado modelo. Em alguns momentos, os alunos chegaram a rejeitar um determinado modelo, mediante identificação de sérias limitações. Isto levou à reconsideração radical dos elementos que deram origem à elaboração do modelo, mas com o conhecimento adquirido até então passando a fazer parte das experiências anteriores do indivíduo.

Em relação aos testes empíricos, descritos pelo diagrama, observou-se sua ocorrência de duas formas: teste empírico do modelo elaborado, que ocorreu através da simulação realizada pelo grupo 6 com seu M1'; e teste do modelo mediante realização de experimento empírico, o que ocorreu a partir do último sistema empírico (no qual se observou o deslocamento do equilíbrio no sistema cromato/dicromato). A realização desse último tipo de teste foi feita apenas pelo grupo 6, para testar o modelo que haviam elaborado (M4). Entretanto, é importante pontuar que tal teste só ocorreu em função de a seqüência do processo tê-lo proporcionado, isto é, esta não foi uma etapa elaborada pelo grupo com esse propósito. Os outros grupos não usaram esse experimento com o mesmo propósito por ainda não terem elaborado um modelo para o equilíbrio que conseguisse explicar seu deslocamento. Nesses casos, esse último sistema empírico foi usado para fornecer mais evidências que contribuíram para a construção do último modelo dos grupos.

Apesar de o diagrama de modelagem apresentar a realização de teste empírico posterior à realização de experimentos mentais, o processo de ensino aqui analisado mostrou que as duas formas de teste ocorreram de forma integrada e sem ordem definida. Os testes empíricos forneceram elementos para a realização de outros experimentos mentais, assim como experimentos mentais geraram a oportunidade de condução de teste empírico (como ocorreu no exemplo da simulação realizada pelo grupo 6).

Em vários momentos, quando cada grupo chegava a um modelo que os alunos julgavam que explicava o fenômeno em estudo, ou seja, quando os grupos julgavam ter atingido o objetivo, o processo de socialização com a professora e com a turma levava à consideração das abrangências e limitações daquele modelo. Isso chegou a gerar novos

elementos que faziam com que o modelo entrasse novamente no ciclo de construção. Isso também era gerado pelos novos sistemas empíricos apresentados aos alunos que, igualmente, geravam novos elementos e novas demandas para os modelos.

A maneira com que o processo foi conduzido foi importante para encorajar os alunos a elaborar seus modelos e a reconhecer a validade deles mesmo que os modelos propostos pelos colegas apresentassem atributos diferentes. Para tanto, foi essencial que a professora, ao observar os modelos expressos pelos alunos, estivesse ciente de que esses modelos deveriam estar de acordo com a situação problema, não com o modelo aceito cientificamente.

A ocorrência de múltiplos modelos para um mesmo fenômeno é algo inerente ao processo de modelagem. No processo aqui analisado, pudemos constatar que, muitas vezes, modelos distintos foram elaborados em função de o conhecimento prévio dos estudantes, bem como os aspectos que cada um enfatizou terem resultado em percepções idiossincráticas sobre a relevância de diferentes aspectos.

Uma marca do desenvolvimento do processo – claramente evidenciada nos diagramas representativos dos estudos de caso dos três grupos – foi a ocorrência de questionamentos gerados por alunos e, principalmente, pela professora. Esses questionamentos, na maioria das vezes, levaram à proposição de novas explicações pelos grupos, contribuindo para a elaboração, reformulação ou sofisticação de modelos propostos. Esse papel não pode ser atribuído apenas aos questionamentos diretos, mas a todas as situações que foram precursoras do desenvolvimento das idéias dos estudantes, isto é, aos questionamentos que fizeram parte do processo de ensino desde a sua elaboração. Essas questões, ou mesmo situações, podem ser classificadas como *geradoras* (Vosniadou, 2002), uma vez que, conforme apresentado pela literatura, elas estimularam o desenvolvimento dos modelos e a construção do conhecimento sem que os alunos pudessem fornecer respostas a partir unicamente de um conhecimento já elaborado.

As sugestões da professora também foram de grande relevância para o processo, pois elas, em geral, chamaram a atenção dos alunos para aspectos que os auxiliaram durante a construção dos modelos, favorecendo o desenvolvimento de raciocínios analógicos, a integração dos conhecimentos prévios e mesmo a ocorrência de *insights* que desencadearam a elaboração do conhecimento.

Nesse processo de construção de modelos, o engajamento dos estudantes foi crucial para a evolução do conhecimento. Isso proporcionou não só a interação entre os estudantes, mas entre os estudantes e o professor, entre os estudantes e seus modelos e mesmo entre os estudantes e o conhecimento que eles produziram.

O conhecimento anterior da professora a respeito das concepções prévias dos alunos ou das possíveis concepções alternativas sobre o tema em questão foi um elemento importante para subsidiar a condução de todo o processo de ensino, seja nos momentos de propor as atividades e delimitar os objetos de estudo, seja quando da proposição de *questões geradoras*, que colaboraram para o desenvolvimento das idéias dos estudantes.

Em síntese, a análise desse processo de ensino corroborou a utilização do diagrama ‘modelo de modelagem’ na fundamentação dessa proposta. Isso foi evidenciado não só pela constatação de que cada um dos elementos presentes no diagrama cumpriu sua função definida no processo de modelagem, mas também pela emergência de seu aspecto dinâmico (representado no diagrama pelas setas duplas), através do movimento cíclico entre elementos de etapas particulares e mesmo entre diferentes etapas de todo o processo. Esta pesquisa evidenciou que o processo de modelagem de um único tema envolve a passagem pelas etapas descritas no diagrama por várias vezes, evidenciando a não-linearidade do processo de construção de modelos.

### **3. O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS NA ÁREA: UMA DEMANDA DO ENSINO**

Como comentado no segundo capítulo desta dissertação, vários estudos nas últimas décadas têm sido realizados sobre modelos e modelagem. Entretanto, pouco tem sido produzido em termos de viabilizar a aplicação de propostas de ensino fundamentadas em modelagem em um contexto real de sala de aula.

Neste trabalho, analisamos uma situação de ensino de equilíbrio químico fundamentado no processo de modelagem e discutimos como tal processo contribuiu significativamente para a aprendizagem dos alunos. Mas nosso objeto de estudo foi *uma situação específica de ensino*. Sendo coerentes com os princípios da pesquisa qualitativa, não pretendemos estabelecer generalizações sobre ensino fundamentado em modelagem a partir de nosso estudo. Para que mais discussões sobre esse tema possam

ser realizadas, reconhecemos a necessidade de que outras pesquisas sejam conduzidas de maneira similar, isto é, a partir da mesma fundamentação teórica, também no ensino de outros temas. Acreditamos que isso contribuirá para o desenvolvimento do conhecimento sobre ensino de ciências, ou de química, fundamentado em modelagem.

Um trabalho como este, que enfoca o processo de modelagem sob um aspecto geral – destacando não apenas aspectos teóricos sobre modelos ou aspectos de conteúdo –, contempla a perspectiva de uma prática educativa significativa, voltada para o aprendizado dos alunos nas duas instâncias (de conteúdo e do processo de construção do conhecimento). Isso reforça nossa crença na necessidade de realização desse tipo de pesquisa em outros temas, a fim de que a discussão se amplie e possa cumprir um dos papéis mais relevantes (e, infelizmente, muitas vezes negligenciado) da pesquisa: contribuir para a melhoria do ensino. A nosso ver, uma das maneiras de tal contribuição se efetivar é a socialização dessas pesquisas entre os professores de forma que eles entendam a fundamentação teórica do processo de ensino, sejam convencidos de que vale a pena modificar suas práticas docentes e possam se apoiar nas experiências discutidas nas pesquisas para subsidiar suas novas práticas.

#### **4. A AVALIAÇÃO DO APRENDIZADO SOBRE MODELOS E MODELAGEM**

Apesar de esse trabalho apresentar uma análise sobre o aprendizado dos alunos sobre modelos e modelagem, seu foco esteve no desenvolvimento de um conhecimento específico: equilíbrio químico. A análise sobre o aprendizado relativo a modelos e modelagem foi realizada a partir do acompanhamento do processo de elaboração e reformulação dos modelos em relação a esse tema específico.

Dessa maneira, percebemos também a necessidade de criar mecanismos para avaliar a aprendizagem relativa a modelos e modelagem no ensino, de forma que ela ocorra de maneira mais prática, acessível ao contexto normal de sala de aula. Essa necessidade se baseia na relevância do aprendizado sobre modelos e sobre seu papel no processo de construção do conhecimento para que os alunos aprendam ciências de uma forma mais ampla.

Considerando a natureza da aprendizagem sobre modelos e modelagem, acreditamos que a avaliação de seu desenvolvimento pelos alunos deve ser possibilitada

por outros mecanismos, que não aqueles tradicionalmente aplicados pelos professores quando são avaliados conhecimentos declarativos.

A nosso ver, o conhecimento sobre modelos e modelagem é um conhecimento que se desenvolve mediante sua aplicação, pois ele não faz sentido desvinculado de um contexto. Assim, é necessário criar mecanismos para avaliar o desenvolvimento desse conhecimento ao longo de todo o processo de ensino, não apenas no contexto de uma atividade específica de modelagem. Além disso, e considerando a efetiva inclusão de aprendizagem *sobre a ciência* e de *como fazer ciência* (Hodson, 1992) no ensino, é essencial que tais mecanismos de avaliação sejam viáveis para o professor trabalhar em sala de aula.

## **5. A VISÃO DOS ALUNOS SOBRE O PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO**

Apesar da afirmação de que o processo de modelagem colabora, mesmo que de maneira implícita, para o desenvolvimento da visão dos estudantes sobre o processo de construção do conhecimento científico, é necessário oportunizar momentos no ensino em que os estudantes possam refletir sobre essa relação, para que tal compreensão ocorra de maneira efetiva.

A compreensão do processo de construção do conhecimento científico a partir de atividades de modelagem se dá pela compreensão do uso dos modelos e, principalmente, pela vivência do processo de construção dos mesmos. O processo de modelagem permite ao aluno perceber a integração entre diferentes conhecimentos, o processo de interpretação de evidências, a necessidade da elaboração e teste de hipóteses, e, principalmente, a dinâmica do processo de construção do conhecimento, que é mutável e sujeito a erros. A vivência desse processo colabora, ainda, para a desmistificação da imagem do cientista, uma vez que os alunos passam a compreender a origem de suas descobertas ou criações como um processo de construção, inerente à condição humana.

Este trabalho mostrou que a visão dos alunos sobre ciência e seu desenvolvimento pode ser viabilizada por trabalhos com modelagem, mas acreditamos que ela deva estar presente em todos os momentos do ensino. Além disso, a avaliação

dessa aprendizagem deve ser feita a longo prazo, para que se verifique os conhecimentos do processo que foram aprendidos de maneira significativa, favorecendo a capacidade de aplicar esse conhecimento em outros contextos. Desta maneira, o ensino poderia atingir, em maior extensão, um de seus objetivos considerados hoje como mais relevantes: contribuir significativamente para a alfabetização científica dos cidadãos do século XXI.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- American Association for the Advancement of Science – AAAS. (1989). *Science for All Americans. A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington, DC: AAAS.
- Banerjee, A.C. & Powe, C.N. (1991). The development of modules for teaching of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13, 355-362.
- Banerjee, A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 13, 487-494.
- 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, 719-756.
- Bauman, R.P. (1972). *Introdução ao equilíbrio termodinâmico*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Bogdan, R.C. & Biklen, A.K. (1992). *Qualitative Research for Education: An Introduction to Theory and Methods*. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: Allyn & Bacon.
- Borges, A.T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio*, 1, 85-125.
- Brasil (1999). Ministério da Educação e do Desporto. *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC.
- Chiu, M.H.; Chou, C.C. & Liu, C.J. (2002). Dynamic Processes of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 688-712.
- Clement, J. (1989). Learning via construction and criticism. In J.A. Glover, R.R. Ronning & C.R. Reynolds (eds.) *Handbook of Creativity*. (pp. 341-381) New York: Plenum Press.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22, 1041-1053.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*, 5th ed. London: Routledge Falmer.

REFERÊNCIAS

- Collins, A. & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Hollan & N. Quinn (eds.) *Cultural models in language and thought*. (pp. 243-265) Cambridge: Cambridge University Press.
- Crawford, B.A. & Cullin, M.J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, 26, 1379-1401.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.
- Duit, R. & Glynn, S. (1996). Mental Modelling. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (eds.), *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*. (pp. 166-176) London: Falmer.
- Ferreira, P.F.M. & Justi, R.S. (2005). From chemical reaction to chemical equilibrium: learning through modeling. Paper presented at the V International Conference of the European Science Education Research Association, Barcelona, Spain, 28 August to 01 September 2005.
- Giere, R.N. (1999). Using models to represent reality. In L. Mangani, N.J. Nersessian & P. Thagard (eds.) *Model Based Reasoning in Scientific Discovery*. (pp. 41-57) New York: Kluwer.
- 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.
- 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: Kluwer.
- Gobert, J. & Buckley, B. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22, 891-894.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C.L. (1991). Understanding Models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 799-822.
- Halloun, I.A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.

REFERÊNCIAS

- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2000). A Typology of School Science Models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Harrison, A. G. & de Jong, O. (2005). Exploring the Use of Multiple Analogical Models When Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 1135-1159.
- 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, 541-562.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- Huberman, A.M. & Miles, M.B. (1994). Data Management and Analysis Methods. In N.K. Denzin and Y.S. Lincoln (eds.), *Handbook of Qualitative Research*. (pp. 428-444) Thousand Oaks, California: Sage.
- Johnstone, A.H., MacDonald, J.J. & Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171.
- Justi, R. (1997). Models in the Teaching of Chemical Kinetics. Unpublished PhD thesis. Reading: The University of Reading.
- Justi, R. (in press). Ensino de Ciências fundamentado em elaboração de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*.
- Justi, R. & Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- Justi, R. & Gilbert, J.K. (2003). Models and modelling in chemical education. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, J. van Driel & D. Treagust (eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. (pp. 47-68) Dordrecht: Kluwer.
- Lehrer, R.; Horvath, J. & Schauble, L. (1994). Developing model-based reasoning. *Interactive Learning Environments*, 4, 219-231.

REFERÊNCIAS

- Maia, P.F. & Justi, R.S. (2001). Ensino da reversibilidade e equilíbrio químico utilizando recursos multimídia. Trabalho apresentado no XV Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química, Belo Horizonte, 12-14 de novembro.
- Mendonça, P.C.C. (2004). Visão de alunos do ensino médio sobre analogias utilizadas no ensino de Equilíbrio Químico. Monografia de Licenciatura. Belo Horizonte: Departamento de Química da UFMG.
- Merriam, S.B. (1988). *Case Study Research in Education – A Qualitative Approach*. San Francisco and London: Jossey-Bass.
- Milagres, V.S.O. & Justi, R.S. (2001). Modelos de Ensino de Equilíbrio Químico: Algumas considerações sobre o que tem sido apresentado em livros didáticos no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 13, 41-46.
- Millar, R. & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College London School of Education.
- 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.
- Nersessian, N.J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery*. (pp. 5-22) New York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Niaz, M. (1995). Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 17, 343-355.
- Pedrosa, M.A. & Dias, M.H. (2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 227-236.
- Piquette, J.S. & Heikkinen, H.W. (2005). Strategies Reported Used by Instructors to Address Student Alternate Conceptions in Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 1112-1134.

REFERÊNCIAS

- Reiner, M., & Gilbert, J.K. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22, 489-506
- Saari, H. & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh grade students. *International Journal of Science Education*, 25, 1333-1352.
- Thomas, P.L. & Schwenz, R.W. (1998). College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1151-1160.
- Treagust, D.F. & Chittleborough, G. (2001). Chemistry: A Matter of Understanding Representations. In Brophy, J. (Ed.) *Subject-Specific Instructional Methods and Activities*. (pp. 239-267) Oxford: Elsevier Science.
- Treagust, D.F., Chittleborough, G. & Mamiala, T.L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.
- Tyson, L., Treagust, D.F. & Bucat, R.B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 75, 554-558.
- van Driel, J.H., de Vos, W. & Verdonk, A.H. (1990). Why do some molecules react, while others don't? In P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo (eds.) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particle*. (pp. 151-162) Utrecht: Centre for Science and Mathematics.
- van Driel, J. H., de Vos, W., Verloop, N. & Dekkers, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Chemical Education*, 20, 379-372.
- van Driel, J.H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of model and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21, 1141-1154.
- van Driel, J.H. & Gräber, W. (2003). The teaching and learning of chemical equilibrium. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, J. van Driel and D. Treagust (eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. (pp. 271-292) Dordrecht: Kluwer.

REFERÊNCIAS

- Vosniadou, S. (2002). Mental Models in Conceptual Development. In L. Mangani, N.J. Nersessian & P. Thagard (eds.) *Model Based Reasoning in Scientific Discovery*. (pp. 353-368) New York: Kluwer.
- Wellington, J. (2001). What is Science Education For? *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education*, v. 1, n. 1.

## ANEXOS

### ANEXO I

#### **Atividade 1**<sup>17</sup>

- 1) Faça uma televisão.
- 2) Siga passo a passo os comandos dados pela professora.

***Comandos verbais:***

- a) *Liguem a televisão.*
  - b) *Conectem a televisão ao vídeo.*
  - c) *Consertem a televisão.*
- 3) No verso da folha escreva o que você entendeu dessa atividade, as dificuldades que você encontrou e como podemos relacionar essa atividade aos modelos.

---

<sup>17</sup> Esta, como as atividades seguintes, serão apresentadas sem os espaços em branco destinados às respostas existentes nas folhas recebidas pelos alunos.

**ANEXO II****Atividade 2**

- 1) Cite alguns exemplos de modelos que você conhece:
  - a. Modelos em geral.
  - b. Modelos em ciências.
- 2) Como você acha que é elaborado um modelo na ciência?
- 3) Como você vê o papel dos modelos na construção do conhecimento?

**ANEXO III****Atividade 3**

Escreva, no espaço abaixo, o que você entende que seja uma reação química e como ela ocorre.

**ANEXO IV****Atividade 4**

- 1) Construa um modelo que mostre *como* ocorre a reação química apresentada evidenciada pelo experimento. Pode ser utilizado qualquer material que o grupo queira (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outro).
- 2) Registre no espaço abaixo o planejamento do grupo para essa atividade: material a ser utilizado e como o mesmo será construído. Justifique a escolha do material.
- 3) Após a construção do modelo, descreva como ele explica a ocorrência da reação química.

**ANEXO V****Atividade 5**

Construa um modelo que mostre *como* ocorre a reação que você acabou de observar. Descreva esse modelo.

**ANEXO VI****Atividade 6**

- 1) O modelo construído na **Atividade 5** é apenas uma modificação do modelo construído anteriormente ou é um novo modelo diferente do anterior. Justifique a opção do grupo.
- 2) O modelo da **Atividade 5** pode ser usado para explicar a ocorrência dos dois fenômenos? Justifique.

**ANEXO VII****Atividade 7**

- 1) Com base nos modelos que você propôs anteriormente, construa um modelo que explique a ocorrência do fenômeno observado.
  
- 2) Descreva como seu modelo explica o fenômeno observado.

**ANEXO VIII****Atividade 8**

1) Os compostos cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) e dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) são compostos iônicos. Em solução aquosa esses compostos se dissociam, respectivamente, em íons  $K^+$  e  $CrO_4^{2-}$  e  $K^+$  e  $Cr_2O_7^{2-}$ . A coloração da solução de cromato de potássio apresenta coloração amarela, sendo os íons cromato ( $CrO_4^{2-}$ ) responsável pela mesma. Já os íons dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) conferem coloração alaranjada à solução.

A presença de íons cromato ( $CrO_4^{2-}$ ) em uma solução pode ser identificada pela adição de acetato de chumbo ( $PbAc_2$ ), uma vez que os íons  $Pb^{2+}$  formam com os íons cromato um precipitado branco.

Com base nas informações acima, siga os passos do procedimento descrito abaixo, fazendo as observações necessárias.

- a) Transfira 5,0 mL de solução de cromato de potássio para o tubo de ensaio.
- b) Acrescente 5 gotas da solução de ácido clorídrico (ou outro ácido disponível). Observe a coloração.
- c) Adicione mais algumas gotas da solução do ácido até que não mais se observe alteração na coloração.
- d) Adicione três gotas da solução de acetato de chumbo.

\*Obs: O descarte da solução final deve ser feito em frasco próprio, devido à presença de íons  $Pb^{2+}$ , metal pesado bastante tóxico.

2) Escreva abaixo se o modelo que você propôs anteriormente (para a coloração intermediária do sistema que estava inicialmente com  $NO_2$ ) explica o que estava ocorrendo com o sistema antes da adição do acetato de chumbo. Em caso afirmativo, explique como seu modelo explica tal sistema. Em caso negativo, faça as alterações necessárias no seu modelo, explicando-as no espaço abaixo.

**ANEXO IX****Atividade 9**

- 1) Siga os passos do roteiro descrito abaixo antes de realizar o que se pede:
  - a) Adicione 5,0 mL da solução de cromato de potássio ( $K_2CrO_4$ ) em um tubo de ensaio.
  - b) Adicione cerca de três gotas da solução do ácido.
  - c) Adicione agora algumas gotas da solução de hidróxido de sódio, agitando o tubo, até que se perceba alteração na coloração.
  - d) Repita os passos b e c tentando explicar a ocorrência através do modelo proposto pelo grupo.
- 2) Escreva abaixo a explicação proposta na letra d do item anterior.

**ANEXO X****Atividade 10**

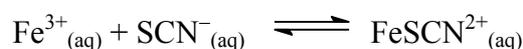
- 1) Escreva abaixo como você percebeu esse processo, nos seguintes aspectos:
  - a) Você acredita ter aprendido o que é um equilíbrio químico através dessas atividades? Justifique.
  - b) O processo do qual você participou (elaborar, modificar a partir de evidências, discutir e revisar os modelos) contribuiu para sua compreensão sobre como os modelos são construídos?
  - c) Esse trabalho contribuiu para sua compreensão do papel dos modelos na ciência?
  - d) Você gostou de participar desse trabalho? Por quê?

## ANEXO XI

### Avaliação da Aprendizagem

#### *Questão 01*

A reação entre o íon ferro III ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e o tiocianato ( $\text{SCN}^-$ ) forma um sistema de coloração vermelho-sangüínea devido à produção do íon tiocianoferrato III ( $\text{FeSCN}^{2+}$ ). A equação química representativa desse sistema em equilíbrio é:



Considerando esse sistema, julgue cada afirmativa abaixo como verdadeira ou falsa, justificando em seguida.

(a) No sistema em equilíbrio, as concentrações de reagentes e produtos são iguais.

Verdadeira     Falsa

Justificativa:

(b) No sistema em equilíbrio, a cor não se modifica porque a reação pára de ocorrer.

Verdadeira     Falsa

Justificativa:

(c) A adição de um mol de íons  $\text{Fe}^{3+}$  a um mol de íons  $\text{SCN}^-$  formará menos de 1 mol do composto tiocianoferrato III.

Verdadeira     Falsa

Justificativa:

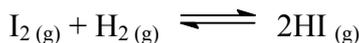
(d) A adição de mais tiocianato ( $\text{SCN}^-$ ) ao sistema em equilíbrio faz com que a reação recomece a ocorrer.

Verdadeira     Falsa

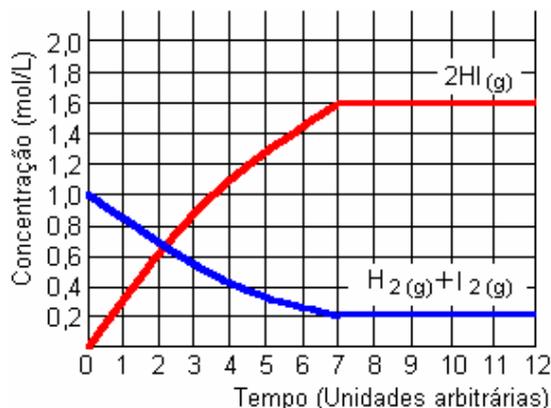
Justificativa:

#### *Questão 02*

Ao se misturar vapor de iodo (um gás violeta) com gás hidrogênio (incolor), ocorre uma reação química que resulta na formação do gás iodeto de hidrogênio (incolor).



O gráfico a seguir mostra a variação das concentrações de reagentes e produtos durante um experimento em que foram utilizados 1,0 mol de  $\text{I}_2$  e 1,0 mol de  $\text{H}_2$ , a  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , em um frasco de 1,0 L.



Em relação a esse experimento, julgue as alternativas abaixo como verdadeira ou falsa, justificando sua resposta:

a) A reação atinge o estado de equilíbrio no tempo 2.

Verdadeira     Falsa

Justificativa:

b) No estado de equilíbrio, o sistema gasoso contido no recipiente se apresenta incolor.

Verdadeira     Falsa

Justificativa:

c) Após o equilíbrio ser atingido, se retirarmos uma parte do HI presente no sistema, a coloração do sistema passa a ficar mais escura.

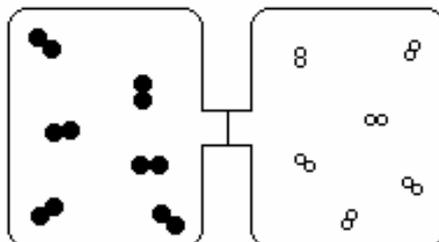
Verdadeira     Falsa

Justificativa:

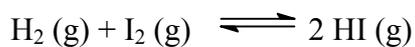
### Questão 03

A figura representa dois recipientes de mesmo volume, interconectados, contendo quantidades iguais de  $\text{I}_2(\text{g})$  e  $\text{H}_2(\text{g})$ , à mesma temperatura.

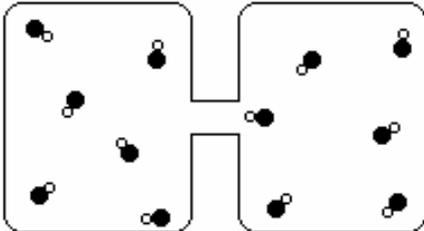
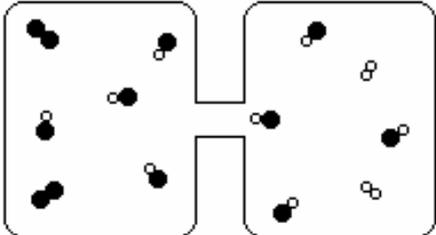
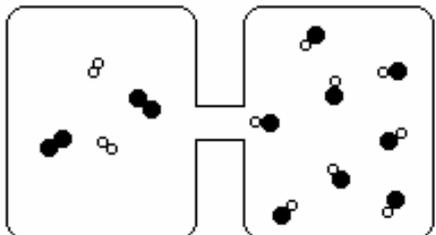
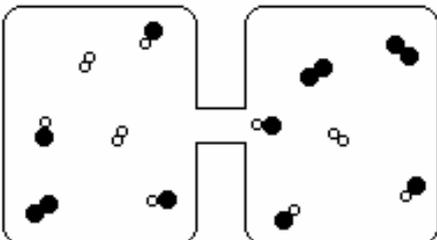
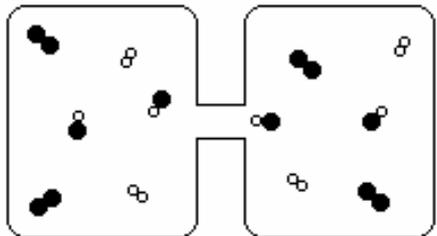
Inicialmente, uma barreira separa esses recipientes, impedindo a reação entre os dois gases.



Retirada essa barreira, os dois gases reagem entre si, até que o sistema atinja um estado de equilíbrio, como descrito na equação:



Considerando o conceito de equilíbrio químico e as propriedades de moléculas gasosas, julgue cada alternativa, informando se ela pode representar o sistema em equilíbrio. Justifique cada resposta.

- a)   Verdadeira  Falsa  
Justificativa:
- b)   Verdadeira  Falsa  
Justificativa:
- c)   Verdadeira  Falsa  
Justificativa:
- d)   Verdadeira  Falsa  
Justificativa:
- e)   Verdadeira  Falsa  
Justificativa: