

Mary Mendes Oliveira dos Anjos

**CONTRIBUIÇÕES DAS  
PRÁTICAS DE MODELAGEM E  
ARGUMENTAÇÃO PARA A  
COMPREENSÃO DO PROCESSO  
DE DISSOLUÇÃO – UM ESTUDO  
DE CASO COM ESTUDANTES  
DO ENSINO FUNDAMENTAL**

Belo Horizonte

2015

Mary Mendes Oliveira dos Anjos

**CONTRIBUIÇÕES DAS PRÁTICAS DE MODELAGEM E  
ARGUMENTAÇÃO PARA A COMPREENSÃO DO  
PROCESSO DE DISSOLUÇÃO – UM ESTUDO DE CASO  
COM ESTUDANTES DO ENSINO FUNDAMENTAL**

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

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Rosária Justi

Belo Horizonte

2015

*Dedico esse trabalho àqueles que tanto se sacrificaram para que eu pudesse empreendê-lo:*

*meus pais, Hilton e Fátima,*

*meu esposo, Edezio*

*e meus filhos, Giovana e João Guilherme.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por dar-me forças e sustentar-me sempre, mas especialmente nos momentos de dificuldades, incertezas e angústias. E também por ter colocado em minha vida anjos que zelaram por mim de diversas formas e em diferentes momentos. Alguns destes anjos citarei a seguir.

Agradeço aos meus pais pelo apoio irrestrito que me ofereceram sempre. Mas especialmente neste período que cuidaram, com presteza, dedicação e carinho, de mim e de tudo que tenho de mais precioso, minha família. Agradeço por terem sido um pouco de pai e mãe para meus filhos, pois assim eu me senti segura para que pudesse “escrever várias páginas”. Não há palavras ou gestos que possam demonstrar toda a gratidão e amor que sinto por vocês.

Agradeço ao meu esposo pelo companheirismo e compreensão, pois este período não foi fácil para nós. Vivemos alguns outonos e invernos, mas nosso amor é forte e verdadeiro e sabemos que as sementes já foram lançadas, os brotos começam a surgir e as flores anunciam que haverá uma longa primavera pela frente.

Agradeço aos meus filhos por terem tolerado minha distância e minha falta de tempo para brincar e divertir junto com eles.

Agradeço a todos os meus familiares que me ajudaram, direta ou indiretamente, de distintas formas a vencer esta batalha. O carinho, o amor e as orações de vocês fortaleceram minha fé e me ajudaram nesta caminhada.

Agradeço a todos os colegas do grupo REAGIR. Estejam certos de que cada um de vocês contribuiu de alguma forma para minha formação pessoal e acadêmica. Em especial, agradeço à Daniela e à Nilmara pelo empenho e dedicação com que contribuíram na produção dos dados.

Agradeço ao diretor e amigo, Wander Lúcio e a todos os colegas de trabalho que me apoiaram e permitiram realizar este sonho.

Agradeço aos membros da banca, por gentilmente aceitarem o convite para analisar meu trabalho.

Finalmente, mas não menos importante, quero agradecer a minha orientadora, Rosária Justi. Quero agradecê-la por me mostrar que valeria a pena chegar até o fim e por toda paciência e tolerância com meus percalços e lentidão.

## RESUMO

De acordo com a literatura, a participação de estudantes em situações de ensino fundamentado em modelagem pode promover a aprendizagem conceitual e favorecer o desenvolvimento de habilidades como a imaginação e a criatividade, além de ajudá-los a compreender o papel central dos modelos na ciência. A literatura também defende que a ocorrência da prática de argumentação nas aulas de ciências pode ser muito enriquecedora, pois auxilia os alunos a identificar evidências, fazer afirmações e, especialmente, justificar essas afirmações, o que também pode contribuir para que eles percebam que a ciência é uma construção entre pares, que tem limitações, que é situada social e historicamente. No entanto, a incorporação de ambas as práticas, modelagem e argumentação, em sala de aula é um desafio tanto para professores quanto para os alunos, pois se distancia sensivelmente dos padrões tradicionais das salas de aulas, onde predominam o discurso monológico, o “estigma do erro” e o padrão de discurso pergunta do professor – resposta do aluno – avaliação do professor (IRA). Neste trabalho, um grupo de alunos do último ano do ensino fundamental participou de uma série de atividades de modelagem para o ensino do tema dissolução. Nessas aulas, várias práticas científicas foram incentivadas, com especial destaque para a argumentação. Nesse contexto, os objetivos deste trabalho são analisar (i) como a participação dos alunos em situações argumentativas em contextos de ensino fundamentado em modelagem contribui para a aprendizagem sobre o processo de dissolução e (ii) como a ação do professor na condução da situação de ensino fundamentada em modelagem contribui para a aprendizagem dos alunos sobre o processo de dissolução. Os dados foram coletados através de registro em vídeo e áudio de todas as aulas envolvidas, assim como dos materiais escritos e modelos concretos produzidos pelos alunos. Foi produzido um estudo de caso para um grupo de alunos. A análise do mesmo evidencia um movimento dinâmico de construção de conhecimento alicerçado pelos modelos construídos e modificados pelos estudantes. Além disso, evidenciamos que a professora explorou esses modelos, não se atendo apenas aos aspectos concretos, mas buscando as ideias que davam ou poderiam dar subsídios para a explicação dos fenômenos relacionados à dissolução, isto é, criando situações que favorecessem a argumentação dos estudantes. Concluímos que ao final da aplicação da unidade didática, os estudantes aprenderam sobre o processo de dissolução, o que pode ser evidenciado pela habilidade deles de explicar a dissolução à luz das evidências e outras informações disponíveis. Além disso, os estudantes tiveram oportunidade de aprender ciência não apenas como “conhecimento”, mas também como “prática”. Essa aprendizagem resultou do engajamento dos estudantes nas atividades e da ação da professora que usou suas habilidades pedagógicas e estratégias de ensino para apoiar os estudantes na construção do conhecimento.

## ABSTRACT

According to the literature, the participation of students in modelling-based teaching situations can promote their conceptual learning; support the development of skills like imagination and creativity; and help them to understand the central role of models in science. The literature also emphasises the occurrence of the argumentative practice in classroom as a rich experience for students because it helps them to identify evidence, produce claims, and, mainly, justify such claims. This can also contribute to make them understand that science is a human construction that has limitations and its situated social and historically. However, the use of both practices – modelling and argumentation – in regular classes is a challenge for both teachers and students. This is so because such use characterise a teaching context that is completely different from the traditional one, where students generally do not express and defend their ideas. In this study, a group of students from the last year of the fundamental school level participated in a series of modelling-based activities for the teaching of the topic dissolving. In all classes, argumentation was particularly foster. From such a context, the aims of this study are to analyse (i) how the student's participation in argumentative situations in modelling-based teaching context contributes to their learning about the dissolving process; (ii) how the teacher's actions in the conducting of the teaching activities contribute to students' learning. Data were collected from video- and audio-recording of all classes in which the modelling-based activities were used, as well as from the written material and concrete models generated by the students. From such data, we produced a case study for a group of students. The analysis of the case study shows a dynamic movement of knowledge building supported by the models constructed and modified by the students. Additionally, we show that the teacher explored those models by fixing the attention not only on the concrete aspects of the models, but searching for the ideas that permeate and base them in order to explain the dissolving process, that is, by creating situations in which students could argue. We concluded that, at the end of the teaching unit, students learnt about the dissolving process from the evidence and other information available. Additionally, they had opportunity to learn science not only as "knowledge", but also as "practice". Such learning resulted from their engagement in the modelling-based activities, and from the teacher's actions, who used several pedagogical skills to support students knowledge construction.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	1
Um Pouco da Minha História e do que Motivou Esta Pesquisa.....	1
Estrutura da Dissertação .....	4
CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
Algumas Considerações sobre Ensino de Ciências.....	6
Ensino Fundamentado em Modelagem.....	12
Modelos na Ciência e no Ensino de Ciências .....	12
Modelagem no Ensino de Ciências.....	14
Argumentação no Ensino de Ciências.....	19
Estratégias Didáticas e Argumentação .....	21
O Papel do Professor na Condução de Atividades de Ensino Investigativas .....	25
CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DESTA PESQUISA.....	29
Definição dos Objetivos Gerais e das Questões de Pesquisa.....	29
CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	31
Considerações Gerais sobre a Metodologia Usada.....	31
Caracterização da Pesquisa .....	34
Amostra .....	34
Coleta de dados .....	36
Análise dos dados.....	37
Metodologias de Análise de Argumentos.....	40
Caracterização da Unidade Didática .....	46
CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50

Estudo de Caso .....	50
Discussão.....	94
Aspectos Ligados à Modelagem .....	102
Aspectos Ligados à Argumentação .....	111
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
ANEXOS .....	134
Anexo I: Anuência da Escola .....	134
ANEXO II: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido destinado à Professora .....	137
ANEXO III: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido destinado aos Responsáveis pelos Alunos.....	140
ANEXO IV: Termo de Assentimento Livre e Esclarecido .....	142
ANEXO V: Unidade Didática .....	145



## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

### **Um Pouco da Minha História e do que Motivou Esta Pesquisa**

O tema dessa pesquisa surgiu a partir da minha trajetória profissional, pelo interesse nas questões relacionadas à educação em ciências e especialmente, pelos desafios que o ensino de ciências nos impõe a cada dia.

Como professora de Química desde 2001, tenho atuado no ensino médio, na rede pública e particular, e essa trajetória profissional possui alguns marcos que eu julgo relevantes. O primeiro deles é a minha iniciação como professora, ainda como estudante do curso de Licenciatura em Química da UFMG. Foi um período difícil e muito angustiante, pois vivi um confronto direto entre a teoria idealizada da escola “perfeita” e dos alunos “ideais” e a prática cotidiana, com a precariedade de recurso, salas cheias, alunos desinteressados e às vezes com grande dificuldade de aprendizagem (pelo menos naqueles temas ou daquele jeito que eu pretendia ensinar na ocasião).

Nos anos seguintes, foi ficando menos complexo considerar alguns aspectos das discussões acadêmicas nos planejamentos e condução das atividades de ensino. Nessa ocasião, o contato com alguns materiais de divulgação científica, como as revistas Química Nova na Escola e Ciência Hoje das Crianças, e com livros e materiais didáticos “alternativos”, como Aprendendo Química<sup>1</sup> e Introdução ao Estudo da Química<sup>2</sup> foram fundamentais para fomentar e subsidiar pequenas inovações metodológicas implementadas nas minhas aulas de Química. Foi nesse contexto de ensino que eu percebi quão importante era a presença dos fenômenos, mesmo que demonstrativamente, nas aulas de química. Primeiro, pelo encantamento dos estudantes que se interessavam e participavam mais das atividades propostas; segundo, pela possibilidade de construir pontes entre os diferentes aspectos da química

---

<sup>1</sup> De autoria de Lilavate I. Romanelli e Rosária S. Justi, publicado pela editora Unijuí, em 1999.

<sup>2</sup> De autoria de Eduardo Fleury Mortimer, FaE-UFMG, publicação interna, em 1998.

(fenomenológico, teórico e representacional, apresentados posteriormente na revisão da literatura).

Naquela ocasião, senti que era o momento para retornar à Universidade e prosseguir meus estudos. Assim, em 2004 ingressei no Curso de Especialização em Ensino de Ciências, ofertado pela Faculdade de Educação da UFMG. Este curso foi uma excelente oportunidade de aprimoramento profissional, de contato com a literatura do campo de Ensino de Ciências e para ampliar meus horizontes, tanto como professora quanto como aspirante ao Mestrado na área de Ensino de Ciências. Dentre os vários temas que discutimos na Especialização, o tema modelos na ciência e no ensino despertou em mim grande interesse. Isto me levou a procurar a professora Rosária Justi para ser orientadora da monografia que deveria ser apresentada ao final do curso. Assim, desenvolvemos um trabalho sobre a elaboração de analogias pelos estudantes para o tema ligações químicas que, mais tarde, deu origem a uma publicação (Mendonça, Oliveira & Justi, 2006).

Ao final do curso de Especialização, fui selecionada para um contrato temporário de trabalho em uma escola técnica federal: o Colégio Técnico da UFMG. Foram dois anos de trabalho que enriqueceram grandemente a minha prática pedagógica, pois tive contato com uma realidade bem próxima da “ideal”. Nesta instituição de ensino, as aulas de química aconteciam em salas temáticas bem equipadas, os alunos trabalhavam em grupos, e as atividades eram planejadas, sempre que possível, numa abordagem investigativa. Buscava-se um ensino de ciências menos propedêutico, centrado nos alunos, que estimulava a interação aluno-aluno e aluno-professor, além de privilegiar o discurso dialógico em oposição às aulas expositivas em que o professor é a única “voz” presente.

Apesar do interesse em continuar estudando, este projeto foi adiado por um longo tempo, em função da extensa carga horária de trabalho que fui assumindo. Até que, no final de 2008, uma colega que trabalhara no Colégio Técnico na mesma ocasião que eu, enquanto estudante de Doutorado, convidou-me para aplicar, nas minhas aulas na escola pública noturna, uma unidade didática fundamentada em modelagem sobre

ligações químicas e interações intermoleculares. Como sempre apreciei atividades de ensino diferenciadas e que privilegiassem o engajamento e a aprendizagem dos estudantes, aceitei o convite. Desse modo, tive contato com vários materiais instrucionais, além dos encontros em que a pesquisadora me orientava sobre os fundamentos e pressupostos das atividades que seriam desenvolvidas. Apesar de eu já ter um conhecimento superficial sobre o assunto, esse novo contato com a literatura e as discussões pertinentes, aliado à minha experiência como professora, habilitaram-me a aplicar tal unidade didática. O planejamento e execução destas atividades tinham pressupostos semelhantes às aulas que havíamos conduzido no Colégio Técnico. Durante as aulas, os alunos trabalhavam em grupos, os fenômenos eram contemplados, as atividades eram centradas nos alunos, a avaliação era contínua e processual, buscava-se dosar o discurso dialógico e de autoridade. Essa experiência foi também muito enriquecedora para mim e para meus alunos, especialmente porque pude perceber que, observadas as devidas diferenças entre uma escola federal e uma escola estadual de periferia, especialmente de espaços e recursos, é possível propor aulas diferenciadas, mais atrativas, nas quais os estudantes se engajem verdadeiramente. Além de todas essas vantagens, os estudantes desenvolveram competências e habilidades e tiveram uma aprendizagem conceitual muito rica.

Em 2012, entrei para o Grupo de Pesquisa REAGIR: Modelagem e Educação em Ciências e cursei a disciplina “Perspectiva Sociocultural na Pesquisa em Educação em Ciências: Aspectos Teóricos-Metodológicos” na Faculdade de Educação (UFMG). Ao cursar esta disciplina, interessei-me especialmente pelas discussões relacionadas ao campo da Argumentação. Por outro lado, como integrante do grupo de pesquisa, pude inteirar-me um pouco mais sobre as produções acadêmicas dos colegas do grupo, retomando o contato com a modelagem e o uso dos modelos nas aulas de Química. Porém, um dos trabalhos visitados (Mendonça, 2011) chamou minha atenção de modo especial, pois discutia exatamente sobre modelagem e argumentação. Entre outras contribuições, este trabalho trouxe uma inovação metodológica no campo da argumentação, que foi a inspiração para o tema do presente trabalho.

A partir dos resultados daquele trabalho, entendemos que seria propício propor uma atividade fundamentada em modelagem para o ensino de outro tema, no caso a dissolução, e aplicá-la de modo a favorecer a ocorrência de situações argumentativas. Isto possibilitaria analisar, à luz da inovação metodológica proposta e das etapas da modelagem, os argumentos elaborados pelos estudantes neste contexto de ensino.

### **Estrutura da Dissertação**

Neste primeiro capítulo da dissertação, explicamos como surgiu o interesse em investigar o tema geral do trabalho, que envolve argumentação e modelagem. Para isso apresentamos alguns elementos de nossa trajetória profissional e como eles nos conduziram até a elaboração deste trabalho. Apresentamos, ainda, uma descrição geral da estrutura dessa dissertação.

No segundo capítulo, apresentamos a revisão da literatura referente ao Ensino de Ciências, tentando discutir “onde ele está” e “onde pretendemos chegar”. Em seguida discutimos sobre os modelos, o que são, suas funções e importância na ciência e no Ensino de Ciências. Discutimos também sobre modelagem e argumentação, seus fundamentos teóricos e a importância de sua inclusão nas atividades do ensino de ciências. Finalmente, discutimos um pouco sobre o papel do professor nessa busca por um ensino de ciências mais profícuo.

No capítulo 3, fazemos a caracterização da pesquisa, apresentando os objetivos gerais e as questões de pesquisa que orientaram nosso trabalho.

No capítulo 4, detalhamos os aspectos metodológicos, apresentando algumas considerações sobre a metodologia escolhida, isto é, caracterizamos a amostra e a coleta de dados, bem como explicitamos como estes dados foram analisados. Para justificar melhor a análise de alguns dados (os argumentos elaborados pelos estudantes), discutimos o instrumento de análise de argumentos utilizado e as adaptações necessárias. Finalmente, caracterizamos as atividades que compunham a unidade

didática sobre dissolução, visando compreender as etapas da modelagem envolvida e o tipo de argumento esperado para cada atividade.

No capítulo 5, apresentamos o estudo de caso construído a partir dos dados selecionados e analisados. Além disso, apresentamos e discutimos o quadro 1, que foi construído para facilitar a visualização e discussão das informações relativas à modelagem e aos argumentos elaborados.

Por fim, no sexto capítulo, apresentamos as conclusões deste trabalho à luz das nossas questões de pesquisa, dos resultados obtidos e das discussões pertinentes. Apresentamos também algumas implicações que poderão subsidiar futuras pesquisas.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **Algumas Considerações sobre Ensino de Ciências**

As reformas educacionais, em escala nacional, começaram há poucas décadas e pode ser que ainda leve algum tempo para que sejam promovidas as transformações pretendidas. Desse modo, urge a construção de novos e bem-sucedidos paradigmas educacionais, que contemplem mais do que a transmissão de conhecimentos padronizados, na forma de informações e procedimentos estanques. É necessário promover competências gerais que articulem conhecimentos, disciplinares ou não. Nesse sentido, o ensino de ciências, no contexto atual de rápidas transformações e de difíceis contradições, deve significar mais do que produzir dados, denominar classificações ou identificar símbolos (MEC, 2002).

Justi (2006) pondera que é necessário uma abordagem para o ensino que ajude os estudantes a desenvolver uma compreensão mais coerente, flexível, sistemática e principalmente crítica da ciência. Em consonância com essas ideias, Hodson (2014) apresenta quatro objetivos básicos para a aprendizagem:

- Aprender ciência – que se relaciona à aquisição e desenvolvimento de conhecimento conceitual e teórico.
- Aprender sobre ciência – que se relaciona principalmente ao desenvolvimento de conhecimentos sobre características da investigação científica e do papel e status do conhecimento gerado, tanto social quanto intelectual, e sobre as complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.
- Fazer ciência – que se relaciona ao engajamento e desenvolvimento de competências na investigação científica e na resolução de problemas.
- Envolver-se com questões sociocientíficas – que se relaciona com o desenvolvimento de ferramentas críticas para confrontar com aspectos pessoais, sociais, econômicos, ambientais e ético-morais desse tipo de questões.

Crawford (2012) discute seu interesse, como experiente professora de ciências do ensino básico americano, em tentar descobrir como mudar o modo como a ciência é ensinada na maioria das salas de aula do seu país. Ela também nos convida a pensar em “como nós podemos construir uma sala de aula em que as crianças usem a observação como evidência e a criatividade para tentar compreender o mundo?” (p.25).

Ao refletir sobre essas questões, percebemos que há uma inquietação latente quanto ao ensino de ciências praticado atualmente. Neste contexto, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino fundamental afirmam que muitas práticas do ensino de Ciências Naturais, ainda na atualidade, ocorrem baseadas na mera transmissão de informações, usando como recurso exclusivo o livro didático e sua transcrição no quadro. Ainda segundo esse documento, nem mesmo o progresso relativo contemplado em sua proposta alcançou o ensino de ciências em muitas salas de aula brasileiras. Desse modo, apesar de sua importância, do interesse que possa despertar em alguns professores e da variedade de temas que o ensino de ciências pode oferecer, ele continua sendo frequentemente conduzido de forma desinteressante e pouco compreensível (MEC, 1998).

No nível internacional, a reforma do ensino de ciências com base em documentos atuais, como Benchmarks for Science Literacy (AAAS, 1999) e National Science Education Standards (NRC, 2012) tem sido discutida por muitos autores. Estes documentos apontam, por exemplo, a centralidade de se promover o raciocínio científico nos estudantes (Chinn & Malhotra, 2001), e a necessidade de incluir, na educação científica, aspectos epistêmicos e conceituais da ciência (Christodoulou & Osborne, 2014), além de enfatizar a investigação como estratégia central para o ensino de ciências (Sandoval, 2005; Crawford, 2012). A versão mais recente do National Science Education Standards (NRC, 2012) argumenta que:

“Todos os componentes e participantes do sistema de educação científica podem se envolver de forma coerente com uma visão de educação científica mais inclusiva, focada e mais autêntica, experimentada por todos os alunos” (p. 265).

Gilbert (2004) também aponta alguns problemas relativos ao ensino de ciências como, por exemplo, o fato de os alunos acharem o conteúdo ensinado abstrato e com uma linguagem complexa, o que, muitas vezes, resulta em pouco interesse imediato. Além disso, o autor comenta sobre a dificuldade de manter bons professores nas salas de aula em função de outras oportunidades de trabalho mais atrativas. Como uma solução para estas e outras questões, Gilbert (2004) sugere que é necessário tornar a educação científica “mais autêntica”, de modo que:

- Ela represente mais fielmente os processos pelos quais a ciência é conduzida.
- A criatividade seja um elemento central.
- Ela ofereça condições para explicar os fenômenos da “realidade”.

O construto teórico de autenticidade apresentado por Gilbert (2004) e Crawford (2012) está relacionado com as práticas de sala de aula semelhantes às daquelas em que os cientistas se engajam, incluindo aspectos epistemológicos e de raciocínio, bem como com a demonstração ou replicação de tipos de trabalho que os cientistas fazem e que sejam relevantes para os estudantes. Crawford afirma que o aspecto autêntico da ciência escolar consiste em transformar a sala de aula tradicional e estática ao incluir interações mais dinâmicas entre professor e estudantes.

Desse modo, o ensino tradicional, em que o discurso adotado pelo professor é monológico e o padrão de interação entre alunos e professor é do tipo I-R-A (iniciação-resposta-avaliação, no qual o professor inicia com questões, muitas vezes retóricas, o estudante responde, e o professor avalia a resposta como certa ou errada), ainda é dominante nas aulas de ciência em todas as faixas etárias (Christodoulou & Osborne, 2014). Esses autores afirmam que, nesse contexto, os estudantes tendem a se envolver com atividades do tipo “doing the lesson” (ou, em português, “cumprir a tarefa escolar”), ao passo que, em ambientes que exijam dos estudantes compartilhar ideias, fundamentar opiniões e justificar a favor ou contra determinadas afirmativas, cria-se um contexto mais autêntico em que os estudantes tem oportunidade de “doing science” (ou, em português, “fazer ciência”, aqui entendido como engajar o estudante em atividades científicas). Hodson (2014) afirma que “doing science” não deve estar centrado em



aprender sobre os métodos utilizados pelos cientistas, nem em desenvolver competências na utilização de técnicas laboratoriais. Ao contrário, esta abordagem deve promover o uso dos métodos e procedimentos da ciência para investigar fenômenos, testar e desenvolver a compreensão, e resolver problemas.

Assim, com base nos aspectos e características apresentados para um ensino de ciências autêntico, podemos buscar na literatura algumas recomendações e sugestões para implementação nas aulas de ciências, tais como: (i) o uso de modelos e de modelagem (que serão conceituados posteriormente) (Gilbert, 2004); (ii) o envolvimento dos estudantes em práticas epistêmicas, ou seja, práticas envolvidas na produção, comunicação e avaliação do conhecimento (Sandoval & Morrison, 2003; Sandoval, 2005); (iii) o engajamento de estudantes na construção dialógica do conhecimento, tal como na argumentação (Duschl, 2008); (iv) o uso de atividades baseadas em investigação (Crawford, 2012).

Crawford (2012) apresenta seu ponto de vista em relação ao ensino de ciência como investigação, em seu nível mais básico, como o apoio oferecido aos estudantes para encontrar respostas para questões usando lógica e evidência. Ela afirma que a investigação vai além de simplesmente responder questões, podendo envolver tentar compreender como os dados podem responder cientificamente uma questão. Assim, os estudantes podem fazer descobertas por eles próprios, com o apoio do professor, usando observações, textos em livros, imagens de computador, ou dados obtidos durante uma investigação.

Segundo Sandoval (2005), a investigação:

“geralmente se refere ao processo de formular questões, gerar e buscar estratégias de investigar essas questões, gerar dados, analisar e interpretar esses dados, formular conclusões sobre eles, comunicar essas conclusões, aplicar as conclusões sobre a questão original e, talvez, formular novas questões que surjam.”  
(p. 636)

Para este autor, do ponto de vista epistemológico, a investigação é simplesmente o processo de fazer ciência; do ponto de vista instrucional, a investigação

é uma forma de organizar a atividade em sala de aula e, como tal, pode ocorrer ao longo das aulas de ciências (Sandoval, 2005).

A aprendizagem baseada em atividades de investigação se fundamenta na convicção de que o ensino de ciências é mais do que memorização de fatos e informações. Os estudantes devem estar em contato com problemas autênticos, fazer suas próprias observações e propor explicações baseadas nas evidências observadas (Bell et al., 2010). Estes autores, citando Quintana e colaboradores (2004), definem, no contexto do ensino de ciências,

“investigação como o processo de fazer perguntas e investigar dados empíricos obtidos através da manipulação de variáveis via experimentos ou obtidos pela construção de comparações com um conjunto de dados existentes” (p. 351).

Além disso, o ensino de ciências deve promover a aprendizagem (de conteúdos e habilidades) que contribuam significativamente para a formação geral do indivíduo (Maia & Justi, 2009). Assim, o ensino de ciências, especialmente o ensino de química, não deve ser reduzido à transmissão de informações, definições e leis isoladas, bem como não deve privilegiar aspectos teóricos em níveis de abstração inadequados para a faixa etária dos estudantes. Mortimer e colaboradores (2000) afirmam que

“os currículos tradicionais têm enfatizado, na maioria das vezes, apenas aspectos conceituais da química, apoiados numa tendência que vem transformando a cultura química escolar em algo completamente descolado de suas origens científicas e de qualquer contexto social ou tecnológico” (p.274).

Estes autores propõem a formulação de um currículo que atenda às demandas atuais da sociedade, salientando a importância de se repensar a superação de pressupostos atualmente superados. Nesse contexto, eles, distinguem três aspectos do conhecimento químico relevantes do ponto de vista didático:

- O aspecto fenomenológico – refere-se aos fenômenos de interesse da química (concretos e visíveis ou aqueles a que temos acesso apenas indiretamente). Os fenômenos da química também não se limitam àqueles que podem ser

reproduzidos em laboratório, mas podem estar materializados em outras atividades sociais.

- O aspecto teórico – relaciona-se a informações de natureza atômico-molecular, envolvendo, portanto, explicações baseadas em modelos abstratos e que incluem entidades não diretamente perceptíveis, como átomos, moléculas, íons, elétrons etc.
- O aspecto representacional – no qual estão agrupados os conteúdos químicos de natureza simbólica, que compreendem informações inerentes à linguagem química, como fórmulas e equações químicas, representações dos modelos, gráficos e equações matemáticas.

Semelhantemente, Talanquer (2010) retoma as ideias de Johnstone para apresentar a ideia de que o conhecimento químico se dá em três níveis:

- Macroscópico – envolve entidades e fenômenos tangíveis e observáveis em nosso mundo.
- Submicroscópico – refere-se às explicações envolvendo átomos, moléculas, íons etc.
- Simbólico, ou Representacional – está relacionado ao nível simbólico, em que signos (químicos e matemáticos) são usados para representar e comunicar conceitos.

Mortimer e colaboradores (2000) afirmam que a maioria dos currículos tradicionais e dos livros didáticos brasileiros enfatiza, sobremaneira, o aspecto representacional em detrimento dos aspectos teóricos e dos aspectos fenomenológicos e que:

“A ausência dos fenômenos nas salas de aula pode fazer com que os alunos tomem por “reais” as fórmulas das substâncias, as equações químicas e os modelos para a matéria. É necessário, portanto, que os três aspectos compareçam igualmente. A produção de conhecimento em Química resulta sempre de uma dialética entre teoria e experimento, pensamento e realidade. O aspecto representacional também resulta dessa tensão,

fornecendo as ferramentas simbólicas para representar a compreensão resultante desses processos de idas e vindas entre teoria e experimento.” (p. 277)

Em consonância, Talanquer (2010) afirma que infelizmente o ensino de química é geralmente focado apenas nos níveis submicroscópico e simbólico, o que resulta em confusão e sobrecarga de informação que refletem na falta de motivação e no baixo desempenho dos estudantes durante as aulas de química.

Assim, podemos perceber que transformar a maneira como a ciência é ensinada nas salas de aula é uma meta ambiciosa, pois múltiplos aspectos tais como (i) abordar conteúdos que sejam percebidos como relevantes pelo estudante; (ii) propor atividades de ensino que contemplem diferentes aspectos do conhecimento científico, especialmente, o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico; (iii) engajar os estudantes efetivamente nas atividades e discussões propostas; (iv) proporcionar uma formação ampla que contemple conteúdos e habilidades; (v) contribuir para uma formação que torne o estudante mais crítico diante de sua realidade; e (vi) proporcionar um ensino autêntico; devem ser considerados no planejamento e na execução das aulas de ciências.

Entendemos que uma das estratégias que podem ajudar a alcançar essa meta ambiciosa é o **ensino fundamentado em modelagem**, caracterizado pelo envolvimento dos alunos em todas as etapas do processo de construção de modelos em atividade voltadas para o aprendizado de algum conteúdo (Justi & Gilbert, 2002).

## **Ensino Fundamentado em Modelagem**

### *Modelos na Ciência e no Ensino de Ciências*

O uso dos modelos é muito importante tanto no contexto da ciência quanto no da sala de aula. Isto porque os modelos são instrumentos capazes de mediar as teorias e o mundo (Morrison e Morgan, 1999). Podemos dizer que um modelo é uma representação parcial de objetos, eventos, processos e ideias elaborados com um objetivo específico (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). É importante atentar para a ideia

de ‘representação’, que não deve ser entendida como imagem ou reprodução, conforme a definição mais comum encontrada em dicionários. Por isso não é necessário que haja semelhança entre o objeto, sistema ou ideia que pode ser modelado e o modelo. A ideia de ‘parcial’ está relacionada à impossibilidade de apreender todos os detalhes daquilo que está sendo modelado em uma representação (Justi, 2010). Gilbert (2005) classifica os modelos como: concreto, visual, simbólico, verbal ou oral e gestual e afirma que os modelos concretos, visuais e simbólicos são mais frequentemente utilizados com as principais funções dos modelos, apresentadas por Justi (2010) como:

simplificar entidades complexas de forma que seja mais fácil pensar sobre as mesmas; favorecer a comunicação de ideias; favorecer a visualização de entidades abstratas; fundamentar a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade; ser um mediador entre a realidade modelada e teorias sobre ela, isto é, fundamentar a elaboração de: explicações sobre a realidade; questões sobre a realidade, sobre as teorias a ela relacionadas e sobre como realidade e teorias se relacionam; e previsões sobre o comportamento da realidade em diferentes contextos (p. 3)

Os modelos desempenham papel crucial na prática científica e, por isso, justifica-se sua inclusão no ensino de ciências, pois eles fazem uma conexão entre estes dois mundos (Coll, 2005). A compreensão do papel dos modelos e da modelagem contribui para a construção do conhecimento científico e para uma educação científica autêntica, ou seja, mais próxima da realidade da própria ciência (Gilbert, 2004; Coll, 2005; Justi, 2010).

O ensino de química pode ser pensado como baseado em modelos, especialmente porque envolve explicações essencialmente abstratas (Adbo & Taber, 2009; Maia & Justi, 2009; Justi, 2010). Pensar através de modelos capacita os químicos, por exemplo, a “visualizar” as entidades ou processos que estão sendo investigados e a sustentar os processos de raciocínio e construção de conhecimento (Nersessian, 1999). Assim, é relevante que professores e estudantes compreendam que os modelos podem ser considerados como as principais ferramentas usadas pelos cientistas para produzir conhecimento e são um dos principais produtos da ciência. Além disso, é relevante

observar que modelos têm limitações e que não são a realidade ou cópia dela (Justi, 2010).

Os PCN (MEC, 2000) recomendam que os estudantes possam reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos para situações problemas, fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos. Desse modo, segundo este documento, é necessário que o ensino de ciências permita que os estudantes:

- Reconheçam modelos explicativos de diferentes épocas sobre a natureza dos materiais e suas transformações.
- Elaborem e utilizem modelos de aspectos macroscópicos e submicroscópicos para interpretar transformações químicas.
- Reconheçam, nas limitações de um modelo explicativo, a necessidade de alterá-lo.
- Elaborem e utilizem modelos científicos que modifiquem explicações do senso comum.

Assim, melhor do que simplesmente apresentar os modelos para os estudantes é proporcionar oportunidades para que eles se engajem na construção, teste, revisão e comunicação dos mesmos. A modelagem é um processo dinâmico e envolve muita criatividade. Porém, conforme reconhecem vários pesquisadores, não há um modo único de produzir modelos (Justi, 2006; Maia & Justi, 2009).

#### *Modelagem no Ensino de Ciências*

Se modelar capacita os químicos a desenvolver, avaliar e revisar o conhecimento químico, é pertinente que os estudantes tenham oportunidades para desenvolver uma compreensão sobre como modelar e sobre como isso contribui para o desenvolvimento do conhecimento químico (Justi, 2010). Assim, engajar os estudantes em processos de construção de modelos é mais crucial para a aprendizagem dos estudantes do que simplesmente ilustrar com modelos apresentados pelo professor e/ou pelo livro didático (Schwarz et al., 2009; Justi, 2010). Desse modo, os estudantes

podem aprender sobre modelos ao construí-los e ao utilizá-los, conforme afirmam Morrison e Morgan (1999).

Na literatura, existem algumas propostas teóricas que buscam explicar como ocorre o processo de modelagem no ensino. Por exemplo, Schwarz e colaboradores (2009) afirmam que a prática da modelagem no ensino deve incluir quatro elementos:

- Os estudantes constroem modelos de acordo com as evidências ou teorias prévias de modo a explicar e fazer previsões sobre o fenômeno.
- Os estudantes usam os modelos para ilustrar, explicar e prever fenômenos.
- Os estudantes comparam e avaliam a capacidade de diferentes modelos para representar com precisão padrões dos fenômenos e a sua capacidade de previsão de novos fenômenos.
- Os estudantes devem rever os modelos de modo a aumentar seu poder explicativo e preditivo, levando em conta evidências adicionais ou aspectos de um fenômeno.

Em nosso grupo de pesquisa, o referencial adotado é chamado “Diagrama Modelo de Modelagem” (DMM, figura 1). Ele foi proposto por Justi e Gilbert (2002) e ilustra as relações entre as etapas mais importantes do processo de modelagem. Desde 2005, este diagrama vem sendo utilizado por pesquisadores para planejar as atividades de modelagem executadas pelos alunos, como no estudo de Equilíbrio Químico (Maia & Justi, 2009), no contexto da Termoquímica (Souza & Justi, 2010), e das ligações químicas e interações intermoleculares (Mendonça & Justi, 2013).

MARY MENDES OLIVEIRA DOS ANJOS

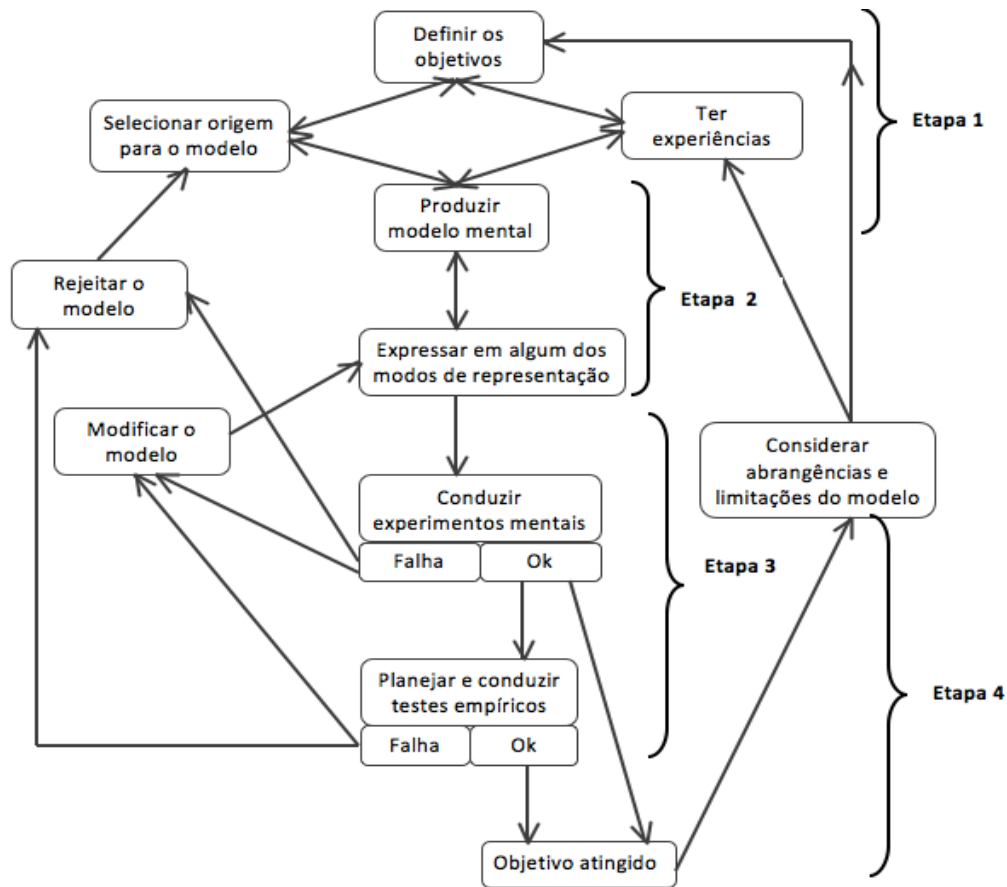


Figura 1. Modelo de Modelagem, segundo Gilbert e Justi (2002, p. 371).

Nossa proposta de ensino fundamentado em modelagem se baseia na utilização deste referencial, por parte do professor ou do pesquisador, para planejar e conduzir situações de ensino que favoreçam, aos estudantes, a oportunidade de vivenciar todas as etapas do processo. É fundamental esclarecer que os estudantes não precisam ter acesso ao diagrama, isto é, eles não o seguem, como um algoritmo (Justi, 2006). As atividades de ensino elaboradas de acordo com o DMM não têm formatação rígida e por isso, sua execução ocorre sempre de modo idiosincrático, trazendo “elementos” nem sempre previstos, mas que, quando bem aproveitados pelo professor, só têm a contribuir para o processo de ensino-aprendizagem.

De modo sucinto, pode-se dizer que, de acordo com a visão expressa no DMM, o processo de modelagem consiste em quatro etapas e cada uma delas exerce



influência nas outras. Algumas dessas etapas são constituídas de subetapas. Assim, para elaborar o modelo é necessário que os estudantes tenham conhecimento dos objetivos definidos para aquela atividade de modelagem, ou seja, “o que” será modelado e “para que” isto acontecerá. É necessário que os estudantes tenham “experiências como o alvo”, isto é, informações sobre o que será modelado. Por isso, as atividades de ensino propostas dentro desta perspectiva, devem propiciar aos estudantes acesso a informações diretas ou indiretas, qualitativas ou quantitativas, empíricas ou teóricas (dependendo do alvo e dos objetivos do modelo a ser elaborado). É notável que os conhecimentos, as experiências e até as concepções prévias dos estudantes também podem ser mobilizadas neste momento de modo bastante imprevisível. Todas essas informações podem ser usadas pelos estudantes para selecionar aspectos da realidade, como situações análogas ou recursos matemáticos, para representar o “alvo” a ser modelado. A partir desta vivência (obtenção e organização de informações e seleção de fontes adequadas), a criatividade e o raciocínio crítico do indivíduo conduzem à elaboração de um modelo mental. Estas subetapas constituem a etapa de *elaboração do modelo mental inicial* e ocorrem com grande interatividade entre si. Busca-se representar tal interatividade através das setas duplas, que aparecem também em outras etapas do DMM (Justi, 2006).

Em seguida, a atividade proposta deve permitir que os estudantes escolham a forma de representação mais adequada para a *expressão do modelo construído*. Quando o modelo é expresso em um dos modos de representação (material, visual, verbal, gestual, virtual, ou matemático), ou através de uma combinação destes modos, ele se torna acessível a outros e foco das interações discursivas no grupo. Neste momento, é fundamental que os estudantes trabalhem em grupos colaborativos e que discutam de modo que o modelo expresso seja consensual entre todos os integrantes do grupo. Desse modo, já nesse momento pode ser necessário que os estudantes negociem entre si, quais aspectos devem ser contemplados no modelo em construção. Ao socializarem os modelos para os demais colegas, os estudantes devem tentar convencê-los de que seu próprio modelo é válido e discutir a validade ou não dos outros modelos apresentados. Nesse momento, os estudantes podem chegar, com a ajuda do professor, a

um modelo consensual. Caso contrário, a próxima etapa poderá atender a essa demanda (Justi, 2006).

A terceira etapa é a fase dos *testes*. Nas atividades propostas com este objetivo, os testes podem ocorrer de duas maneiras: através da condução de experimentos mentais ou através da realização de testes empíricos. O(s) tipo(s) de teste a ser(em) realizado(s) depende(m) substancialmente do tema discutido, dos recursos disponíveis e dos conhecimentos prévios dos indivíduos envolvidos. Não se pode definir a quantidade e o tipo de testes que serão realizados. Nesse ponto, a experiência e percepção do professor é fundamental para perceber até que ponto é necessário chegar. Se, após o teste, o modelo se mostrar coerente aos objetivos propostos inicialmente e às evidências disponíveis, ele passará para a fase da discussão sobre seu alcance e suas limitações. Se os testes evidenciarem alguma falha no modelo em relação aos seus objetivos iniciais, ele deve ser reformulado até que responda positivamente aos mesmos. Porém, se isso não for possível, pode ser que o modelo seja rejeitado e os estudantes tenham que retornar para a primeira fase e propor um novo modelo (Justi, 2006).

Quando um modelo tem sucesso na terceira etapa, significa que ele cumpriu os propósitos iniciais. Nesta circunstância, o professor deve prover aos estudantes oportunidades para perceber que o modelo elaborado, assim como qualquer modelo, possui *limitações e abrangências*. Isto é feito a partir de tentativas de utilizar o modelo em outros contextos. Nesta quarta etapa, o professor também deve traçar um paralelo entre o modelo proposto pelos estudantes e o modelo curricular (aqueles geralmente apresentados pelos livros didáticos), pontuando as semelhanças e as diferenças mais significativas (Justi, 2006).

Esse tipo de estratégia pode fazer como que os estudantes desenvolvam a capacidade de produzir, testar e avaliar modelos de fenômenos. Além disso, eles estarão vivenciando o aspecto criativo da ciência, e podem perceber seu valor cultural (Gilbert, 2004). A modelagem requer que os estudantes coordenem dados empíricos e teóricos para explicar o “alvo” que está sendo modelado em vez de uma mera coleção passiva de fatos e fórmulas (van Jooling, 2004). Desse modo, envolver os estudantes em atividades

de modelagem pode ajudá-los a desenvolver experiência sobre o assunto, entendimento epistemológico e competências nas práticas de construção e avaliação do conhecimento científico. Portanto, engajar os estudantes em atividades de modelagem é uma oportunidade central para desenvolver e avaliar explicações sobre o mundo natural (Schwarz et al., 2009). O engajamento dos estudantes em atividades de modelagem tem o potencial de estimular o desenvolvimento do conhecimento científico, pois requer que os estudantes construam explicações para fenômenos, mais do que simplesmente memorizar fatos e definições, definam e revisem problemas ao longo do tempo e busquem fontes de informações e de dados (Maia & Justi, 2009).

Nesse sentido, a construção de modelos é uma atividade com potencial para proporcionar um ensino de química autêntico e para “fazer ciência”, “pensar sobre ciência” e “desenvolver pensamento científico e crítico”. Assim, o ensino de química pode deixar de ser algo inerte, como apresentado em alguns livros didáticos, para se transformar em uma atividade mais envolvente em que os fenômenos são estudados de forma ativa (Justi, 2006).

### **Argumentação no Ensino de Ciências**

Para que os estudantes elaborem, expressem, testem e avaliem modelos é necessário que eles: (i) busquem dados e evidências, nos fenômenos observados e/ou em conhecimentos prévios; (ii) construam afirmações que sustentem o modelo proposto, justificando-as com dados e evidências; (iii) revisem criticamente o modelo frente a novos dados; (iv) socializem o modelo construído e revisado de modo a tentar convencer os demais da sua validade; e (v) refutem outros modelos, parcial ou integralmente, a partir da consideração da inconsistência desses modelos frente aos dados disponíveis. Desse modo, percebemos que, no contexto de atividades fundamentadas em modelagem, situações argumentativas podem ocorrer naturalmente (Passmore & Svoboda, 2012).

O engajamento dos estudantes em práticas científicas que perpassam o ensino de ciências, como a modelagem e a argumentação, é fundamental para motivá-

los em relação à ciência (NRC, 2012). Assim, é necessário que o ensino de ciências busque uma perspectiva de “ciência como prática” e não somente “ciência como conhecimento” (Christodoulou & Osborne, 2014). Neste sentido, Sasseron e Carvalho (2011a) afirmam que avaliações como o PISA (*Programme for International Student Assessment*– avaliação aplicada a estudantes na faixa dos 15 anos, idade em que se pressupõe o término da escolaridade básica obrigatória na maioria dos países) e o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio, proposto inicialmente para avaliar a qualidade do ensino médio no Brasil e usado atualmente para dar acesso ao ensino superior em universidades públicas brasileiras) sinalizam para a busca de uma aprendizagem direcionada à forma de raciocinar em ciências e não como uma simples aquisição de conteúdo.

De acordo com o PCN+ (MEC, 2002), os estudantes devem argumentar, diante de informações ou problemas relacionados à Química, apresentando razões e justificativas. Neste trabalho, semelhante a Erduran e Jiménez-Aleixandre (2008), usamos o termo argumento como o produto (afirmação ou parte de um discurso fundamentado) e argumentação como o processo (atividade social na qual os sujeitos argumentam).

A argumentação está presente, por exemplo, na vida cotidiana, nas atividades profissionais, no raciocínio filosófico e na investigação científica. Argumentar significa explicitar uma posição e justificá-la para si ou para outros (Mirza & Perret-Clermont, 2009).

No contexto do ensino de ciências, a argumentação pode ser definida como a conexão entre afirmações e dados através de justificativas ou avaliação de enunciados à luz de evidências, sejam empíricas ou teóricas. De outro modo, a argumentação pode ser definida como persuasão, ou seja, um processo de convencimento de uma audiência (Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2008).

O mais recente documento sobre Ensino de Ciências publicado nos Estados Unidos (NRC, 2012) aponta que, ao final do ensino básico, os estudantes devem ser capazes de, por exemplo, construir argumentos e identificar como os dados apoiam uma

afirmação; identificar falhas em seus próprios argumentos e modificá-los em resposta às críticas. Erduran e Jiménez-Aleixandre (2008) apontam algumas outras contribuições da introdução da argumentação nas aulas de ciências. Segundo elas, a argumentação pode dar suporte para:

- o desenvolvimento de competências comunicativas;
- o desenvolvimento do pensamento crítico;
- o letramento científico e a capacidade dos estudantes para falar e escrever a linguagem da ciência;
- a enculturação nas práticas da cultura científica e o desenvolvimento de critérios epistêmicos para avaliar o conhecimento;
- o desenvolvimento do raciocínio, particularmente a escolha de uma posição com base em critérios racionais.

Mendonça e Justi (2014) diferenciam argumento científico e argumento científico curricular, em analogia ao modelo curricular proposto por Gilbert (2000). Elas definem o argumento científico como uma afirmação devidamente subsidiada por justificativas empíricas ou teóricas e consideram que a “força” e a “qualidade” desse argumento estão relacionadas ao maior número de conexões entre dados e teorias. Quanto ao argumento científico curricular (SCA), as autoras ponderam que, geralmente, eles não apresentam a mesma complexidade dos argumentos científicos, pois, muitas vezes, os estudantes não conseguem justificar uma afirmação à luz de várias evidências e de distintos conhecimentos teóricos. No entanto, é bastante significativo que os estudantes consigam elaborar afirmações e sustentá-las a partir de algum dado teórico e/ou empírico.

#### *Estratégias Didáticas e Argumentação*

Embora seja amplamente reconhecida a importância de se inserir a argumentação nas aulas de Ciências, geralmente, os discursos de sala de aula não têm sido estruturados de modo a dar oportunidade para os estudantes se engajarem nos processos de construção dialógica do conhecimento, que são centrais na ciência

(Christodoulou & Osborne, 2014). A argumentação é, fundamentalmente, um evento dialógico que envolve duas ou mais pessoas. E a argumentação científica é um caso especial de argumentação, no qual o diálogo é direcionado para coordenar evidências e teorias para propor uma explicação, um modelo, uma previsão ou uma avaliação (Duschl & Osborne, 2002). Esses autores também apontam que, no contexto científico e na sala de aula, os sujeitos envolvidos constroem argumentos que justifiquem suas afirmações à luz das evidências disponíveis.

Porém, ainda é dominante nas aulas de ciência o discurso monológico e o padrão de iniciação-resposta-avaliação (I-R-A), no qual o professor inicia com questões, muitas vezes retóricas, o estudante responde, e o professor avalia a resposta como certa ou errada. Nesse contexto, Christodoulou e Osborne (2014) apresentam vários relatos da literatura relacionados à sala de aula que, de modo geral, ainda pode ser caracterizada pela(o):

- ênfase na aprendizagem de terminologias relacionadas à ciência ao invés de busca da compreensão e relacionamento dos conceitos discutidos;
- discussões e perguntas, apresentadas pelo professor, que não favorecem aos estudantes pensar cientificamente;
- fornecimento de informações ou troca de opiniões entre professor e alunos, em vez de discussões baseadas no raciocínio e nas evidências;
- foco em informações factuais, com o professor assumindo o papel de provedor do conhecimento;
- participação limitada dos estudantes nas discussões;
- predomínio de situações em que os estudantes “se engajam em fazer a tarefa escolar” (“doing the lesson”) em vez de “se engajarem em atividades científicas” (“doing science”).

Porém, para que situações argumentativas ocorram em salas de aula, não é suficiente que os estudantes construam suas próprias explicações e forneçam evidências para apoiar suas explicações. É necessário que eles tenham oportunidades de se engajar

em discussões e argumentar sobre as razões e critérios que eles usaram para escolher uma explicação e não outra, bem como discutir o papel das evidências nas suas explicações (Sandoval & Morrison, 2003).

Desse modo, é fundamental criar oportunidades, nas aulas de ciências, para que os alunos sejam envolvidos nas práticas de geração de conhecimento, como a construção, justificativa e avaliação de afirmativas, além do contato com os fatos da ciência. Assim, a prática da argumentação em sala de aula pode promover o engajamento dos estudantes nos processos de construção e avaliação do conhecimento, pois requer o uso de critérios para selecionar e avaliar evidências, a criação de contra argumentos e o fornecimento de justificativas (Christodoulou & Osborne, 2014). Isto contribui para que os alunos tenham oportunidades de aprender sobre os conceitos de ciência, além de terem acesso a alguns aspectos de sua epistemologia (isto é, adquiram algum conhecimento sobre suas práticas e métodos) e de sua natureza como uma prática social (Duschl & Osborne, 2002). Um dos grandes desafios que enfrentamos na atualidade é que muitos professores não estão preparados para criar boas estratégias de aprendizagem baseadas em atividades investigativas, por não entenderem o que é e o que não é uma atividade investigativa ou por não acreditarem neste tipo de ensino (Crawford, 2012).

Como discutido anteriormente, modelagem e argumentação são duas práticas científicas que perpassam a ciência e, na perspectiva de favorecimento de um ensino de ciências autêntico, podem ser exploradas em atividades de ensino.

A relação entre modelagem e argumentação foi recentemente discutida no trabalho de Mendonça e Justi (2013). Elas afirmam que, na literatura, há poucos estudos que investigam a relação entre essas duas práticas científicas. Este estudo foi conduzido em aulas de química do ensino regular e as atividades de ensino foram baseadas no MMD. Elas buscavam identificar as etapas da modelagem em que ocorriam situações argumentativas e analisar o papel das situações argumentativas na performance dos estudantes em etapas específicas.

Neste estudo, as autoras adaptaram as situações argumentativas propostas por Baker (2009), substituindo ‘Teoria’(T) por ‘Modelo’(M), por entenderem que tais situações podem ocorrer durante atividades fundamentadas em modelagem (figura 2).

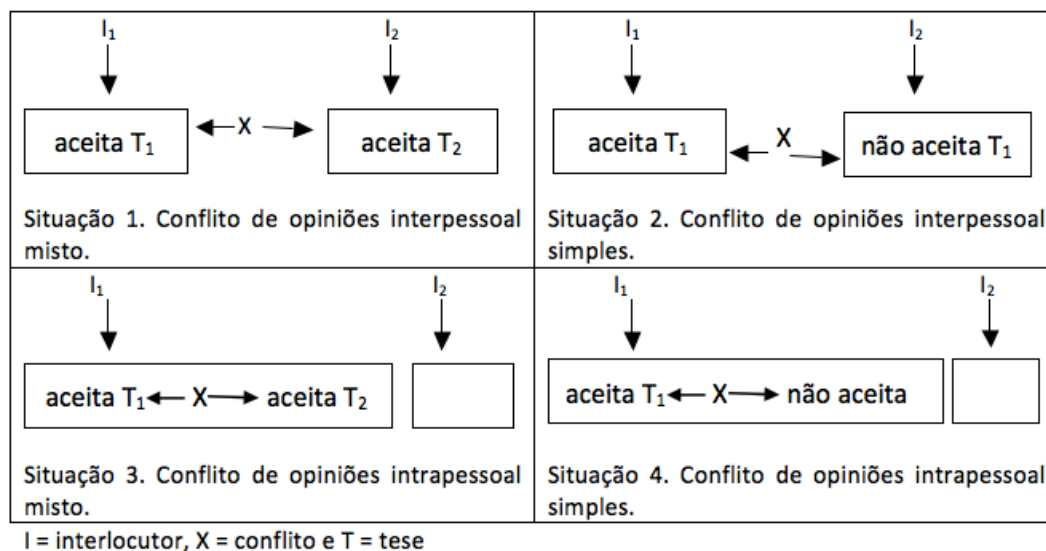


Figura 2. Quatro possibilidades para situações argumentativas (Mendonça & Justi, 2013, p. 2415, a partir de Baker, 2009, p.131).

Assim, a situação 1 ocorre quando há discussão entre os estudantes envolvendo modelos rivais (por exemplo, um aluno defende M1, enquanto outro defende M2). A situação 2 ocorre quando há a defesa de um modelo específico (M1), isto é, um aluno (ou grupo de alunos) aceita M1 enquanto outro(s) estudante(s) não o aceitam, mas sem necessariamente apresentar outro modelo. Nestas situações, os estudantes podem elaborar argumentos a favor de um determinado modelo e refutar modelos que não estejam alinhados com suas ideias, buscando convencer os demais colegas da validade de seus argumentos (e modelos). As situações 3 e 4 ocorrem quando somente um dos estudantes expressa uma solução divergente (M1 versus M2, ou discussão sobre a consistência de M1), enquanto o outro tenta ajudá-lo a decidir qual é o modelo mais adequado. Estas situações poderiam ocorrer apenas na mente do estudante que tem dúvida, levando à produção de argumentos individuais ou retóricos.



Além das situações descritas e explicadas anteriormente, Mendonça e Justi (2013), atentam para uma situação particular, não prevista anteriormente, pois situações argumentativas ocorrem não somente quando duas ideias diferentes estão em discussão. Os estudantes podem argumentar quando avaliam dois modelos distintos ou quando avaliam um único modelo. Considerando esses tipos de situações argumentativas, as autoras concluem que elas podem ocorrer em todas as etapas do ensino fundamentado em modelagem, o que corrobora a visão de que a argumentação ocorre em contextos de ensino nos quais os estudantes constroem e avaliam constantemente seu conhecimento.

#### *O Papel do Professor na Condução de Atividades de Ensino Investigativas*

O ensino de ciências fundamentado em atividades investigativas é, segundo Crawford (2007; apud Hodson 2014) complexo, difícil e desanima os professores. Muitos professores sentem que não tem conhecimento suficiente para criar com êxito um ambiente de ensino fundamentado na investigação e, talvez por isso, apresentem dificuldade para mudar sua prática na sala de aula (Crawford, 2012; Hodson, 2014). Os professores precisam saber como ajudar os estudantes a se engajar nas práticas científicas elaborando questões, desenvolvendo investigações e construindo explicações baseadas em evidências. Desse modo, o desenvolvimento profissional pode ajudar os professores na integração, com êxito, da investigação científica em suas aulas (McNeill & Knight, 2013).

No contexto das atividades investigativas fundamentadas em modelagem, Justi (2010) recomenda que professores e futuros professores desenvolvam o conhecimento de conteúdo (o que envolve aprender sobre o processo de modelagem na ciência) e o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK, do inglês Pedagogical Content Knowledge). A partir desse conhecimento, o professor torna-se capaz de aliar seu conhecimento de conteúdo com práticas pedagógicas que incluam, principalmente, saber como, quando e por que a modelagem deve ser introduzida em suas aulas, saber elaborar atividades de modelagem, saber conduzir tais atividades em suas turmas, entender como os estudantes constroem seus próprios modelos, saber lidar com os

modelos expressos pelos estudantes de forma a favorecer a construção conjunta do conhecimento na turma.

Recentemente, McNeill e Knight (2013) apresentaram um estudo focado em dois elementos do PCK sobre argumentação dos professores de ciências: (i) conhecimento das concepções dos estudantes e (ii) conhecimento de estratégias de ensino. As autoras consideram que estes elementos do PCK de argumentação poderiam ajudar os professores a integrar melhor a argumentação em suas salas de aula. Para elas, este conhecimento envolve mais do que apenas a definição de argumentação científica ou a compreensão dos conceitos de ciência. Pelo contrário, ele envolve o uso do conhecimento da argumentação científica para dar sentido aos aspectos estruturais e dialógicos do discurso oral e escrito dos alunos. Quanto ao conhecimento de estratégias de ensino, as autoras afirmam que os professores precisam ser capazes de usar exemplos, representações e explicações, bem como outros modos instrucionais para que os alunos alcancem determinadas metas de aprendizagem específica.

Assim, podemos inferir que a inclusão das práticas científicas da Argumentação e da Modelagem nas aulas de ciências pode atingir as potencialidades discutidas anteriormente se não for negligenciado o papel fundamental do professor. Para o ensino fundamentado em modelagem, Adbo e Taber (2009) alertam para o papel central do professor no sucesso de implementação de práticas de modelagem. Eles afirmam que, sem o engajamento adequado do professor, com ferramentas e discursos adequados, o engajamento dos estudantes tende a ser infrutífero. Ainda com relação ao papel do professor, Sasseron e Carvalho (2011b) afirmam que:

“Não se trata somente de levá-lo a ter consciência da necessidade da argumentação como fator que leve os alunos a uma construção de conhecimentos que lhes tenha mais significado; trata-se, também, de permitir ao professor que reconheça a necessidade de passos subsequentes durante as discussões e, assim, trabalhe para estimular o aparecimento dos mesmos em cada momento da aula” (p.112)

Pensando no papel do professor para um ensino de ciências mais profícuo e autêntico e no conhecimento de estratégias de ensino que o professor deve desenvolver,

acreditamos que os professores precisam não somente propor atividades que envolvam a participação dos estudantes nas atividades de ensino, mas também considerar como dar suporte para que os estudantes aprendam (Gilbert, 2004; Christodoulou & Osborne, 2014). Desse modo, os professores devem migrar do papel tradicional, no qual eles são a única voz de autoridade, para um novo papel no qual eles guiam e dão suporte para os estudantes, de modo que estes se tornem mais ativos nas atividades propostas. Além disso, considerando que o conhecimento científico é uma construção social, o professor deve dar suporte e estimular as interações entre os alunos, ajudando a construir uma cultura escolar, em que as interações aluno-aluno sejam, mais que permitidas, encorajadas. Assim, as atividades de ensino, além de engajar os estudantes, devem considerar sua voz. Quando o professor conduz uma atividade usando mais questões abertas (aquelas que admitem várias respostas possíveis e das quais se podem extrair potencialmente uma gama de respostas dos alunos), ele favorece o pensamento dos estudantes, dá suporte para sua reflexão e encoraja sua participação, de modo que a voz dos estudantes predomine nas discussões.

É muito importante salientar que tão importante quanto o tipo de questão que o professor propõe na condução das atividades de ensino é a forma como ele lida com as respostas dos estudantes. Espera-se que os professores não descartem a contribuição de nenhum dos estudantes, especialmente aquelas que estão em desacordo com o conhecimento científico, bem como não se atenham ao “certo” ou “errado”. Ao invés disso, espera-se que eles usem estratégias de ensino adequadas para compreender as concepções dos estudantes, assim como os ajudem a refletir, buscar evidências e conhecimentos teóricos que poderão contribuir para a construção do conhecimento científico.

Mendonça e Justi (2013) afirmam que o professor tem papel chave na promoção de situações argumentativas em contextos de ensino fundamentados em modelagem. A partir dos dados obtidos em seu estudo, elas apresentam as ações do professor que foram essenciais para a ocorrência de tais situações:

- “•Proposição de questões sobre ideias, hipóteses e modelos que favoreceram o pensamento dos estudantes sobre a coerência dos dados disponíveis e do conhecimento prévio.
- Apresentação de informações específicas para apoiar as discussões dos alunos, principalmente aquelas que poderiam ser usadas para testar criticamente o modelo.
- Proposição de perguntas sobre o conhecimento prévio dos estudantes que seriam relevantes para a produção, teste e avaliação de modelos.
- Explicações adicionais sobre requisitos das questões apresentadas nas atividades escritas, principalmente sobre os fins para os quais o modelo será produzido.
- Utilização de outros modos de representação, além do verbal (como gestos e materiais concretos) ao tentar compreender as ideias dos estudantes.” (p. 2431)

Concordamos com Mendonça e Justi (2013) quando elas afirmam que algumas das ações do professor apresentadas anteriormente podem ser bem sucedidas em outros contextos de ensino. A nosso ver, isto pode acontecer especialmente naquelas situações em que o professor (i) abre espaço para os estudantes expressarem suas ideias sobre um assunto em discussão e para a conclusão de qual é a ideia mais adequada a partir dos dados disponíveis e do conhecimento; (ii) apoia o processo de tomada de decisão, ao questionar, bem como ao introduzir ou reconsiderar, dados e conceitos; (iii) favorece o uso de múltiplos modos de representação, a fim de expressar argumentos mais acessíveis para os estudantes.

## **CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DESTA PESQUISA**

### **Definição dos Objetivos Gerais e das Questões de Pesquisa**

Conforme discussões anteriores, propor atividades que envolvam o uso de modelos e a modelagem (processos de construção, avaliação e revisão de modelos) em salas de aulas nas quais dominam os padrões tradicionais pode ser uma boa oportunidade para ampliar os horizontes dos nossos alunos. Além disso, a participação em tais atividades pode promover a aprendizagem conceitual e favorecer o desenvolvimento de habilidades como a imaginação e a criatividade, além de ajudar os alunos a compreender o papel central dos modelos na ciência (Justi, 2006; Justi, 2010).

Por outro lado, a prática da argumentação nas aulas de ciências pode ser muito enriquecedora, pois auxilia os alunos a identificar evidências, fazer afirmações e, especialmente, justificar essas afirmações. Esse é um processo naturalmente dialógico, onde a voz do aluno tem relevância e o professor não é o portador da verdade. Aliás, esse processo dialógico é também muito importante para que os alunos percebam que a ciência é uma construção entre pares, com suas limitações, situada social e historicamente (Duschl & Osborne, 2002; Osborne et al., 2003; McNeill & Pimentel, 2009).

No entanto, a incorporação de ambas as práticas, modelagem e argumentação, em sala de aula é um desafio tanto para professores quanto para os alunos, pois se distancia sensivelmente dos padrões tradicionais das salas de aulas, onde predominam o discurso monológico, o “estigma do erro”, e o padrão de discurso pergunta do professor – resposta do aluno – avaliação do professor (IRA) (McNeill & Pimentel, 2009).

Mendonça e Justi (2013) discutem a importância de os estudantes desenvolverem e avaliarem o conhecimento científico através de processos semelhantes aos científicos, como a modelagem e a argumentação. Desse modo, os alunos podem

desenvolver o raciocínio científico, a capacidade de continuar aprendendo e de participar em discussões públicas envolvendo temas científicos, assim como desenvolver uma visão mais adequada sobre ciência – como construção humana, criativa e provisória.

Nesse contexto, as autoras discutem a relação entre modelagem e argumentação, uma vez que ela é pouco estudada na literatura. A partir dessa discussão, percebe-se que a argumentação e a produção de modelos têm interfaces importantes e que podem ser exploradas neste trabalho de pesquisa.

Nesse contexto, um dos objetivos deste trabalho é analisar se os estudantes conseguem elaborar, discutir e compreender modelos para o processo de dissolução, que sejam o mais próximo possível do modelo curricular. Além disso, analisamos se, em um contexto de ensino fundamentado em modelagem, eles elaboram afirmações justificadas por evidências empíricas, representações ou conhecimento teórico. A partir daí, podemos discutir se estas duas práticas contribuem para a aprendizagem do conceito de dissolução – aprendizagem esta entendida neste trabalho como a capacidade dos estudantes de explicar coerentemente as situações e fenômenos apresentados na unidade didática em questão. Outro objetivo se relaciona à ação da professora, pois buscamos compreender como ela conduz o processo de ensino-aprendizagem, favorecendo o engajamento dos estudantes nas atividades propostas.

Assim, essa pesquisa visou responder às seguintes questões de pesquisa:

1. Como a participação dos alunos em situações argumentativas em contextos de ensino fundamentado em modelagem contribui para a aprendizagem sobre o processo de dissolução?
2. Como a ação do professor na condução da situação de ensino fundamentada em modelagem contribui para a aprendizagem dos alunos sobre o processo de dissolução?

## **CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

### **Considerações Gerais sobre a Metodologia Usada**

A presente pesquisa envolveu a aplicação de uma unidade didática fundamentada em modelagem sobre o tema ‘dissolução’ para um grupo de alunos, em seu contra-turno. Considerando as questões de pesquisa que orientaram o trabalho, ele se caracteriza como uma pesquisa qualitativa. Como tal, é caracteristicamente uma pesquisa multi-metodológica (Alves-Mazzotti & Gewandsnajder, 1996), isto é, usa vários instrumentos de coleta de dados. Aliás, o próprio pesquisador, nesse contexto, é considerado como instrumento primário para coleta e análise de dados (Merriam, 1998).

Merriam (1995) afirma que, na pesquisa qualitativa, a realidade é construída, multidimensional, está em constante mudança e não existe como única, imutável, a espera de ser observada e medida.

Em oposição a uma visão positivista, podemos afirmar que:

“A realidade é uma construção social da qual o investigador participa e, portanto, os fenômenos só podem ser compreendidos dentro de uma perspectiva holística, que leve em consideração os componentes de uma dada situação em suas interações e influências recíprocas, o que exclui a possibilidade de se identificar relações lineares de causa e efeito e de se fazer generalizações de tipo estatístico.” (Alves-Mazzotti, 1991, p. 55)

Ludke e André (2013), citando Bogdan e Biklen (1982), afirmam que a pesquisa qualitativa ou naturalística: envolve a obtenção de dados descritivos, obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada; enfatiza mais o processo do que o produto; e se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes. Assim, em geral a pesquisa qualitativa produz um enorme volume de dados que precisam ser organizados e compreendidos, cuja análise é um processo complexo e não-linear que envolve várias etapas, como a síntese, a organização e a interpretação dos mesmos (Alves-Mazzotti & Gewandsnajder, 1998).

Vários autores têm alertado sobre a necessidade de atentar para o rigor na condução de pesquisas qualitativas, rigor que deve ser coerente com os paradigmas adotados neste tipo de pesquisa. Assim Alves-Mazzotti e Gewandsnajder (1998) citam os critérios sugeridos por Lincoln e Guba (1985) para maximizar a confiabilidade de trabalhos desta natureza que são apresentados:

- credibilidade (os resultados e interpretações feitas pelo pesquisador são plausíveis para os sujeitos envolvidos?);
- transferibilidade (os resultados do estudo podem ser transferidos para outros contextos ou para o mesmo contexto em outras épocas?);
- consistência (os resultados obtidos têm estabilidade no tempo?); e
- confirmabilidade (os resultados obtidos são confirmáveis?)

Neste trabalho adotamos alguns procedimentos citados na literatura para garantir e maximizar a sua credibilidade, tais como:

- Questionamento por pares. Este procedimento consistiu em solicitar a colegas do grupo de pesquisa REAGIR que estão familiarizados com os temas envolvidos nesta pesquisa que analisassem os dados construídos (o estudo de caso), apontando falhas, pontos obscuros e vieses nas interpretações; e que identificassem evidências não exploradas e que pudessem oferecer explicações ou interpretações alternativas àquelas elaboradas pela pesquisadora (Alves-Mazzotti & Gewandsnajder, 1998).
- Triangulação. Este procedimento foi contemplado a partir de: (i) uso de diferentes instrumentos para a coleta de dados (gravações em áudio e em vídeo, registros escritos, relatos da professora); (ii) análise dos dados por duas pessoas (a pesquisadora e sua orientadora) de forma independente, com posterior discussão das diferenças até obtenção de um consenso.

No presente trabalho, optamos por apresentar os dados na forma de um estudo de caso, pois essa metodologia é adequada quando são propostas questões de pesquisa do tipo “como” e “por que”, e nas quais o pesquisador tenha baixo controle de



uma situação que, por sua natureza, esteja inserida em contextos sociais (Yin, 2001). Essa “modalidade” de pesquisa vem ganhando crescente aceitação na área de educação, devido principalmente ao seu potencial para estudar as questões relacionadas à escola (Ludke & André, 2013).

Algumas das características de estudo de caso descritas por Ludke e André (2013) podem ser percebidas no presente trabalho, tais como:

1. Os estudos de caso visam a descoberta. Mesmo que o investigador parta de alguns pressupostos teóricos iniciais, ele procurará se manter constantemente atento a novos elementos que podem emergir como importantes durante o estudo.
2. Os estudos de caso enfatizam a “interpretação em contexto”. Um princípio básico desse tipo de estudo é que, para uma apreensão mais completa do objeto, é preciso levar em conta o contexto em que ele se situa.
3. Os estudos de caso buscam retratar a realidade de forma completa e profunda. O pesquisador procura revelar a multiplicidade de dimensões presentes numa determinada situação ou problema, focalizando-o como um todo.
4. Os estudos de caso usam uma variedade de fontes de informação. Ao desenvolver o estudo de caso, o pesquisador recorre a uma variedade de dados, coletados em diferentes momentos, em situações variadas e com uma variedade de tipos de informantes.
5. Os estudos de caso revelam experiência vicária e permitem generalizações naturalísticas. O pesquisador procura relatar as suas experiências durante o estudo de modo que o leitor ou usuário possa fazer as suas “generalizações naturalísticas”. Em lugar da pergunta: este caso é representativo do quê?, o leitor vai indagar: o que eu posso (ou não) aplicar deste caso na minha situação?
6. Estudos de caso procuram representar os diferentes e às vezes conflitantes pontos de vista presentes numa situação social.
7. Os relatos escritos de um estudo de caso apresentam, geralmente, um estilo informal, narrativo, ilustrado por figuras de linguagem, citações, exemplos e descrições (p. 21-23)

## Caracterização da Pesquisa

### *Amostra*

A aplicação da unidade didática sobre dissolução ocorreu no contra-turno de uma escola particular de médio porte em Belo Horizonte. A escolha dessa escola se deveu ao fato de uma de suas professoras de Ciências ser membro do grupo de pesquisa REAGIR desde 2007 (o que significa que ela tinha conhecimentos sobre o ensino fundamentado em modelagem) e também pela abertura da direção em permitir a aplicação de atividades curriculares não previstas no planejamento. Desse modo, as atividades foram aplicadas no contra turno para não prejudicar o desenvolvimento do planejamento previamente apresentado à escola. Tais atividades, além de servirem para coletar dados para esta pesquisa acadêmica, também contribuíam para o aprendizado dos estudantes tanto nos aspectos conceituais quanto nos aspectos procedimentais e atitudinais.

A professora era licenciada em Química e mestre em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Devido à sua formação acadêmica, ela tinha bastante familiaridade com modelos, modelagem e argumentação. Porém, tinha poucos anos de experiência na docência, tendo atuado anteriormente em cursinhos pré-vestibular, escolas públicas e particulares. Para a aplicação da unidade didática sobre dissolução, a professora assistiu aos vídeos referentes à coleta de dados de Mendonça (2011), objetivando retomar aspectos discutidos anteriormente de forma teórica sobre a dinâmica de aulas fundamentadas em modelagem. Além disso, ela discutiu sobre peculiaridades dessa unidade didática e da aplicação da mesma com nossa orientadora e com uma das integrantes do grupo REAGIR que já havia aplicado essa unidade didática em outro contexto, com formulação um pouco diferente e com outros objetivos. Na referida instituição de ensino, a professora lecionava para turmas do nono ano do ensino fundamental. Por isso, esses alunos foram convidados a participar, no contra-turno, de uma atividade de ensino que seria parte de uma pesquisa acadêmica, mas que também contribuiria para a aprendizagem do próximo conteúdo que seria estudado em sala de aula: a propriedade específica solubilidade.

Os alunos foram devidamente orientados sobre as formas de coleta de dados, em especial da filmagem, e do uso que seria feito de tais dados. Além disso, a direção da escola, a professora e os responsáveis pelos estudantes foram informados sobre os objetivos da coleta de dados através de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexos I a III) que lhes foram entregues para apreciação, assinatura e devolução. Os alunos também assinaram um documento autorizando a utilização dos dados para esta pesquisa (Anexo IV).

A escola oferecia aos seus alunos aulas de monitoria regularmente no contra-turno. Porém, muitos dos alunos do nono ano estavam envolvidos em outras atividades, como cursinhos preparatórios para ingresso em escolas técnicas e cursos de inglês. Por isso, apenas 10 alunos, inicialmente, aceitaram o convite para participar da pesquisa. Estes alunos estavam dentro da faixa etária da série, ou seja, tinham entre 13 e 14 anos.

Os alunos estavam habituados ao ensino tradicional naquela instituição de ensino. Entretanto, segundo relatos da professora, nas aulas de Ciências ela buscava realizar algumas atividades diferenciadas. Por exemplo, os estudantes haviam estudado o modelo cinético molecular através de algumas atividades de modelagem (não exatamente planejadas de acordo com o DMM) realizadas em grupo. Por isso, os alunos tinham certa familiaridade com modelos e atividades de elaborar modelos.

Os dados foram coletados em três encontros ocorridos entre 14 e 28 de março de 2014. O primeiro encontro teve duração de uma hora e quarenta minutos, o segundo encontro teve duração de duas horas e o terceiro de uma hora e dez minutos. No primeiro encontro, os alunos foram dispostos em dois grupos, com 5 alunos cada e agrupados espontaneamente por afinidade entre eles. Estes grupos serão denominados inicialmente de grupo 1 (G1) e grupo 2 (G2). Ao longo da pesquisa, membros de G2 foram infrequentes (na verdade, participaram apenas do primeiro encontro), assim como alguns alunos de G1. Assim, o segundo encontro G1 contou com 4 participantes e o último com 2 participantes (que haviam participado de todos os encontros anteriores). Por isso, os dados apresentados e analisados são referentes ao G1, no qual os alunos

estiveram presentes em todos os encontros, mesmo que sem a participação de todos os integrantes iniciais. Essa opção se justifica pela dinâmica das atividades elaboradas de acordo com o DMM, de modo que, sem a vivência dos alunos das fases de elaboração, teste e identificação de limitações e abrangências de modelos, não faz sentido analisar apenas os dados referentes à experiência com o alvo vivida pelos estudantes de G2 no primeiro encontro. Para simplificar a escrita do estudo de caso e das conclusões, G1 será mencionado simplesmente como grupo de estudantes ou grupo. A referência a cada um dos alunos será feita através de um nome fictício (conforme seu gênero) para preservar o seu anonimato.

#### *Coleta de dados*

A coleta de dados foi realizada utilizando vários recursos. Todos os encontros foram filmados integralmente, com o auxílio de uma assistente de pesquisa, que também é membro do grupo REAGIR. Em vários momentos, a assistente de pesquisa teve participação ativa nas aulas, isto é, atuou como professora, questionando e participando de discussões com os estudantes. A filmagem objetivou coletar dados relativos ao processo vivenciado pelos estudantes, como as discussões entre eles e as discussões com a professora e/ou a assistente de pesquisa. Assim, foram enfatizados os momentos de elaboração, discussão e avaliação dos modelos propostos, bem como todas as afirmações subsidiadas por justificativas elaboradas pelos estudantes individualmente ou em grupo, ao longo da aplicação da unidade didática.

Para essa pesquisa, dispúnhamos de 2 filmadoras e de um gravador de áudio. No primeiro encontro, cada filmadora ficou posicionada em um grupo. Nos outros encontros, as duas filmadoras foram posicionadas no grupo 1. O gravador de áudio ficou posicionado junto à professora nos dois primeiros encontros e na mesa do G1 no terceiro encontro.

O objetivo da gravação em vídeo era a obtenção de dados relativos às ideias iniciais de cada um dos alunos, bem como ao “desenvolvimento” destas ao longo dos encontros. Também esperávamos obter o máximo possível de detalhes durante a elaboração e manipulação dos modelos concretos e captar gestos e expressões faciais

que pudessem contribuir para a compreensão dos eventos analisados. Além disso, os vídeos possibilitaram o registro das ações da professora durante a condução das atividades previstas na unidade didática sobre dissolução. Isto possibilitou responder questões como: Como ocorria tal condução em momentos específicos? Quais interferências ela fazia no processo? Como, quando e quais tipos de perguntas ela dirigia aos estudantes?

O objetivo da gravação em áudio era garantir que todas as falas dos estudantes, da professora e da assistente de pesquisa fossem registradas, além de auxiliar no entendimento das falas dos sujeitos envolvidos nesse processo quando a gravação em vídeo não fosse suficiente para esse fim. Porém, esse recurso não pode ser usado durante o primeiro encontro, nos momentos em que a professora estava discutindo diretamente com G2, pois a fala dos estudantes de um grupo se sobrepunha à dos componentes do outro grupo devido à proximidade que eles se encontravam (uma vez que o ambiente onde a coleta de dados aconteceu não era muito grande e a capacidade de captar sons do gravador é muito boa).

Além das gravações, foram coletados alguns dados escritos referentes às atividades realizadas (Anexo V). Nem todas as atividades foram realizadas por escrito, pois, em um determinado momento, a professora julgou que as discussões orais seriam mais ágeis e proveitosas. Finalmente, todos os modelos concretos produzidos pelos estudantes foram também fotografados.

Dessa forma, a utilização de diferentes instrumentos de coleta de dados favoreceu a triangulação de dados, o que contribuiu para a validação dos mesmos.

#### *Análise dos dados*

Para a seleção de dados, primeiramente todos os vídeos da unidade didática sobre dissolução foram assistidos. Em seguida, foram selecionados todos os trechos nos quais os estudantes faziam alguma afirmação que fosse subsidiada por justificativas fundamentadas em evidências empíricas, conhecimento teórico, representações ou em elementos retóricos com pretensão de persuasão a respeito de algum modelo ou ideia.

Todos esses momentos foram transcritos, com o máximo de informações possíveis e com o auxílio das gravações em áudio, especialmente porque alguns estudantes falavam muito baixo ou com uma dicção difícil de entender. Durante a transcrição foram observados, além das falas, entonação, gestos, expressões faciais e utilização de modelos concretos.

O critério citado anteriormente para seleção dos trechos a serem transcritos conseguiu abarcar outras duas situações de nosso interesse: os momentos que envolviam a produção e manipulação de modelos e a ação da professora. Foram selecionados trechos ao longo de todas as quatro atividades previstas, pois os estudantes engajaram-se ativamente na execução das mesmas.

Após essa etapa do trabalho, identificamos as afirmações subsidiadas por justificativas e fizemos a reconstrução dos argumentos. Isto foi necessário porque, muitas vezes, os alunos expressavam suas ideias de forma incorreta gramaticalmente, ou essas ideias foram construídas a partir da junção de falas de diferentes alunos cujas ideias se completavam na construção do argumento e dos modelos. Em ambos os casos, seria muito difícil para o leitor entender como identificamos os argumentos nas falas dos estudantes. Nessa reconstrução, procuramos construir frases em que afirmativa e a(s) justificativa(s) ficasse(m) bem evidente(s), inclusive a relação entre elas.

A reconstrução de argumentos foi realizada por duas pesquisadoras (a autora deste trabalho e sua orientadora) de forma independente. Os pontos de discordância foram identificados e discutidos até chegarmos ao consenso. Depois disso, o texto da transcrição e os argumentos reconstruídos foram analisados por outros oito membros do grupo de pesquisa REAGIR, visando conferir se os argumentos tinham sido devidamente identificados e se a reconstrução tinha sido fiel ao significado da fala dos estudantes. Cada um deles foi discutido até que chegássemos a um consenso. Este rico processo de triangulação foi essencial para garantir a confiabilidade dos dados que subsidiaram parte importante de nossa análise.

Na sequência, foi construído um estudo de caso. Para isso, foram descritos todos os encontros e, em alguns momentos, foram inseridos trechos da transcrição

realizada objetivando propiciar ao leitor uma noção do processo como um todo. Nessas descrições, procuramos apontar as orientações dadas, as ações realizadas, os modelos construídos, reformulados e refutados, além de todas as discussões que contribuíram para o nosso entendimento acerca do processo vivido pelos alunos. A inserção de trechos da transcrição no estudo de caso foi feita com dois objetivos: (i) reforçar a descrição fornecida com nuances mais perceptíveis nas falas – e, por vezes, nas atitudes – originais dos sujeitos envolvidos na aplicação da unidade didática; e (ii) apresentar as situações em que afirmativas subsidiadas por diferentes justificativas foram identificadas, visando apresentar claramente os elementos que subsidiaram a reconstrução dos argumentos.

Os argumentos reconstruídos foram apresentados em boxes e inseridos no texto do estudo de caso logo após o trecho do qual ele se originou, com o objetivo de facilitar a leitura e análise deste dado.

Para facilitar a identificação dos modelos construídos e reformulados ao longo da aplicação da unidade didática, foram usados os códigos  $M_x$  e  $M_x'$ , onde  $x$  representa a ordem dos modelos construídos, e a apóstrofe indica que aquele modelo é resultado da reformulação de um modelo anterior. Consideramos que um modelo é reformulado quando atributos essenciais do modelo original são mantidos e apenas atributos periféricos, como o detalhamento de alguma ideia, são modificados ou acrescentados. Exemplificando,  $M_9$  é o modelo construído pelos estudantes para explicar a dissolução ou não de um material em outro através das forças de interação entre as partículas envolvidas no fenômeno (soluto/soluto, soluto/solvente).  $M_9'$  identifica a reformulação de  $M_9$ , por considerar que a interação entre as partículas ocorre devido à presença de cargas elétricas e que, portanto, essas interações podem ser de atração ou de repulsão.

Outros códigos foram utilizados no estudo de caso, especialmente, nos trechos de falas transcritos: (i) palavras em letras maiúsculas significam que foram ditas com ênfase; e (ii) o código (...) significa que houve um corte naquela sequência de fala, de modo a apresentar somente as partes que fossem mais interessantes naquele contexto.

Além disso, as falas da professora são identificadas por PROF<sup>a</sup>, as falas da assistente de pesquisa com as letras AP e quando todos estudantes respondiam juntos foi usado a letra T. Como são poucos os alunos apresentados no estudo de caso, preferimos manter seus nomes fictícios quando apresentamos suas falas.

Para discutir os dados apresentados, especialmente os modelos e os argumentos elaborados pelos estudantes, construímos o quadro 1 (apresentado no capítulo de resultados e discussões). Isto foi feito porque sentimos a necessidade de uma forma de apresentação dos dados mais concisa e, principalmente, que favorecesse uma melhor visualização de alguns dados e relacionamentos envolvendo as etapas de modelagem vividas pelos estudantes e os argumentos elaborados em cada um desses micro contextos. Além disso, ao identificarmos os temas de cada argumento, percebemos que a separação do tema da afirmativa e da(s) justificativa(s) tornava mais clara nossa percepção sobre como e o que os estudantes estavam discutindo a cada momento.

#### *Metodologias de Análise de Argumentos*

Finalmente, necessitávamos de uma metodologia adequada para analisar os argumentos produzidos pelos alunos ao longo das atividades executadas. A literatura tem relatado as dificuldades em adotar uma metodologia adequada para a análise dos argumentos, sem deixar escapar a riqueza das discussões ou detalhes fundamentais para caracterização do evento em estudo. Erduran (2008) afirma que inovações metodológicas precisam ser exploradas, pois podem contribuir para o desenvolvimento do conhecimento na educação científica. Ela também relata a inexistência de trabalhos substanciais que forneçam contribuições para a metodologia aplicada ao estudo de argumentos científicos produzidos no contexto escolar. Daí a necessidade de desenvolver novas ferramentas capazes de captar a “força” dos argumentos produzidos pelos estudantes em contextos de ensino diferenciados dos padrões tradicionais. Sasseron e Carvalho (2011a) afirmam que a grande maioria dos trabalhos revisados por Erduran (2008) discute e apresenta o padrão de argumento proposto por Toulmin (TAP) como principal referência para o estudo dos argumentos propostos em contextos de



ensino e de aprendizagem. Toulmin (1958) definiu argumentos como afirmações subsidiadas por justificativas, e propôs os elementos constitutivos de um argumento (dados, conclusão, garantia, apoio, qualificador e refutação), bem como as relações entre eles (como representado na figura 3).

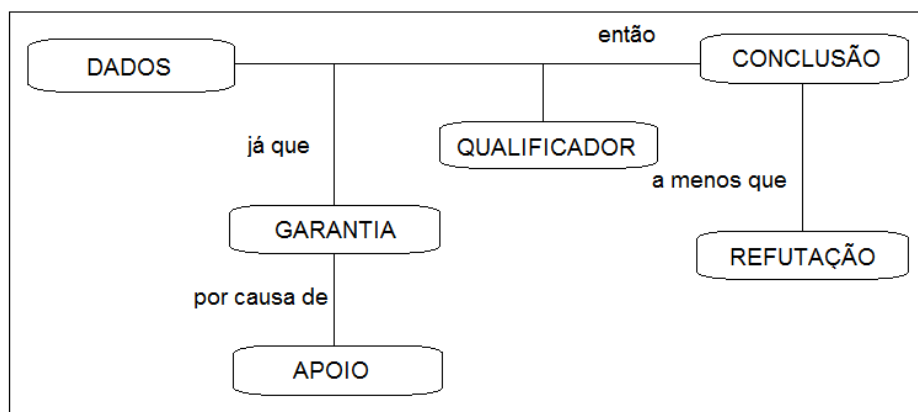


Figura 3. Padrão de Argumento de Toulmin (1958, p. 48).

Alguns limites para o uso do TAP foram apresentados por Sasseron e Carvalho (2011a) como, por exemplo:

- O uso do TAP não considera o contexto da construção da argumentação (o que é muito relevante no contexto de ensino).
- Partes da argumentação, como a garantia, muitas vezes estão implícitas nos discursos.
- O fluxo natural da conversação não ocorre necessariamente em sequência.
- A comunicação contempla, além da linguagem oral, muitas linguagens semióticas.

Mendonça e Justi (2014) afirmam que é importante considerar se o instrumento de análise é sensível o suficiente para favorecer a análise dos argumentos. Isto porque, conforme o instrumento utilizado, a riqueza das discussões em sala de aula pode não ser percebida e os argumentos dos estudantes podem não ser adequadamente avaliados.

Considerando: (i) as dificuldades para usar o TAP em contexto de ensino; (ii) a dificuldade inerente à diferenciação dos componentes do argumento segundo este modelo; (iii) a recomendação na literatura para produzir e utilizar instrumentos mais adequados ao tipo de investigação que está sendo realizada; Mendonça e Justi (2014) propuseram um instrumento para análise do argumento científico curricular (IASC) com o objetivo de avaliar os argumentos produzidos pelos alunos quando participam de atividades de ensino baseadas em modelagem. No trabalho em que foi proposto, tal instrumento se mostrou capaz de avaliar a natureza das justificativas apresentadas pelos estudantes e os principais constituintes do argumento científico desejável que estes desenvolvam e usem no contexto do Ensino de Ciências. Suas principais vantagens são favorecer a análise das justificativas para os modelos à luz do contexto de produção dos mesmos no processo de modelagem; e não avaliar exaustivamente os componentes do argumento (por exemplo, a distinção entre os componentes do padrão de Toulmin), mas observar o contexto epistêmico assumido no discurso.

Com este instrumento busca-se avaliar aquilo que as autoras intitularam de “*argumentos científicos curriculares*”. Para destacar a relação entre argumento científico curricular e o instrumento mencionado, é necessário apresentar uma distinção entre esse tipo de argumento e o argumento científico.

“Um argumento científico pode ser definido como uma afirmação devidamente subsidiada por justificativa(s) de natureza empírica e teórica. A afirmação terá um maior grau de força em termos do número e da qualidade dos movimentos de conexão (coordenação, coerência e progressiva construção de linhas de raciocínio) entre dados e teorias (Kelly et al., 2008). Por outro lado, os argumentos dos estudantes não apresentam frequentemente o mesmo grau de solidez de um argumento científico. Eles exibem menor número e menor complexidade das linhas de raciocínio. Considerando essas diferenças entre argumento científicos e os argumentos elaborados por estudantes, optamos por chamá-los de argumento científico curricular (SCA).” (Mendonça & Justi, 2014, p. 196-197)

Nosso estudo apresenta algumas semelhanças metodológicas com o de Mendonça e Justi (2014), como: (i) atividades de ensino fundamentadas em modelagem de acordo com o mesmo referencial teórico, o DMM; (ii) o estímulo às interações dialógicas, entre os alunos e e entre alunos e professor, favorecendo a ocorrência de

situações argumentativas; (iii) a condução das atividades pela professora que buscou engajar os estudantes nas atividades, fazendo-os assumir uma postura mais ativa e reflexiva; (iv) as discussões fomentadas pela professora e pela postura de não avaliar modelos e argumentos simplesmente como certos ou errados, mas considerando a contribuição de todos os alunos. Por isso, e em função das potencialidades do instrumento, nos propusemos a analisar os argumentos propostos pelos estudantes no contexto deste trabalho usando o instrumento de análise de argumento citado anteriormente (IASC).

Porém, ao fazer a classificação inicial dos argumentos, sentimos a necessidade de adaptar alguns dos níveis de argumentos propostos no instrumento original uma vez que algumas particularidades de nossos dados não eram contempladas no mesmo. O instrumento adaptado é apresentado na tabela 1, na qual os exemplos apresentados foram extraídos deste trabalho. Para entendimento dos exemplos foi utilizado um sistema de códigos, originalmente proposto por Mendonça e Justi, no qual a conclusão é apresentada em negrito; a justificativa com caráter teórico é apresentada sublinhada com traço simples; a justificativa com base empírica é apresentada sublinhada com traço duplo; a justificativa baseada em representação é apresentada com traço descontínuo.

Tabela 1. Exemplos dos níveis de argumento científico curricular para a unidade didática sobre dissolução.

Nível	Tipo de Argumento	Descrição	Exemplo
1	Teórico (1.T)	Afirmativa baseada em uma justificativa teórica.	<b>O giz não se dissolve em água</b> porque <u>é mais denso do que ela.</u>
	Empírico (1.E)	Afirmativa baseada em uma justificativa empírica.	<b>O pó de suco foi dissolvendo quando entrou em contato com a água</b> , pois <u>os corantes que o constituem deixaram rastros de cor do topo do béquer até o fundo.</u>
	Representacional (1.R)	Afirmativa baseada em uma justificativa representacional.	<b>Os palitinhos servem para segurar as bolinhas</b> , pois <u>representam a estrutura do giz.</u>
2		Afirmativa baseada na conexão entre justificativas(s) empírica(s) e/ou teórica(s).	<b>A dissolução se deve à <u>passagem de estado físico de sólido para líquido (no caso do suco)</u></b> devido ao movimento de suas partículas quando em contato com a água. (2.T-E) <b>O suco se dissolve na água e o giz não</b> porque <u>suas partículas são menores do que as do giz e conseguem entrar nos espaços da água.</u> (2.T-T) <b>A água entra no giz</b> porque <u>existem poros preenchidos com ar entre suas partículas e o ar sai.</u> (2.E-E)
3		Afirmativa baseada na conexão entre justificativa(s) empírica(s) e/ou teórica(s), expressa com objetivo de persuasão.	<b>O modelo da interação é mais plausível do que o da densidade</b> porque <u>ele explica a dissolução, pois ele explica as cores dos sistemas.</u> (3.T-E-P) <b>O nosso modelo é melhor</b> porque <u>partículas sempre interagem umas com as outras; elas não englobam umas às outras.</u> (3.T-T-P)

A Tabela 1 apresenta três níveis do argumento científico curricular. Os três tipos de argumento do nível 1 se diferenciam dos argumentos dos outros níveis, devido ao fato de apresentarem uma única justificativa para uma afirmativa. Além disso, eles se

diferenciam uns dos outros em termos do tipo de justificativa. No primeiro caso (1.T), a afirmativa é embasada em algum conhecimento teórico, enquanto no segundo caso (1.E) o aluno exprime claramente o relacionamento entre uma evidência empírica e a conclusão. O terceiro caso (1.R) ocorre quando o aluno utiliza algum aspecto representacional para dar subsídio a uma afirmativa. Em todos os casos, a afirmativa visa dar apoio a uma escolha, explicando o resultado de um experimento ou baseando uma previsão relacionada com a entidade ou fenômeno que está sendo discutido. É importante destacar que, a fim de analisar o tipo de justificativa utilizada pelo estudante, é necessário ter em conta o conteúdo da afirmação e o contexto em que o argumento foi expresso.

Esses tipos de justificativa foram utilizados também na classificação dos argumentos de nível 2, aqueles em que a afirmativa se baseia em mais de um tipo de justificativa. Aliás, nesse nível fizemos uma primeira modificação no instrumento original. Nele, admitia-se que a afirmativa era acompanhada de uma justificada teórica e de uma evidência. No nosso caso, classificamos como nível 2 todos os argumentos constituídos por múltiplas justificativas, de qualquer tipo (sendo o mesmo identificado pelas letras correspondentes).

Os níveis 1 e 2 do argumento científico curricular foram ambos propostos a fim de vincular os entendimentos e dar sentido ao fenômeno sob investigação. Ambos se diferenciam dos argumentos de nível 3, pois neste nível o objetivo principal é convencer alguém sobre a adequação de um determinado modelo. Assim, quando um argumento do nível 3 é expresso, isto significa que os alunos já concordaram sobre o conteúdo do argumento e buscam persuadir seus colegas tanto da validade de suas ideias quanto da superioridade das mesmas em relação a outras apresentadas pelos colegas (Mendonça & Justi, 2014).

Em relação ao nível 3, também propusemos uma modificação no instrumento original. Nele o argumento era constituído por uma justificativa teórica sustentada por uma evidência (como no nível 2) e tinha o objetivo de persuadir alguém sobre a validade de um modelo ou sobre a inadequação de outro. Como nos nossos

dados a persuasão aconteceu apenas em termos de reafirmar a adequação de um modelo, definimos como de nível 3 os argumentos que apresentam múltiplas justificativas (como no nível 2) e que também têm a função explícita de persuadir um colega e/ou a professora.

Finalmente, ao longo deste trabalho algumas classificações de argumentos são seguidas de um asterisco. Isto acontece quando, independente da classificação do argumento, ele foi expresso a partir do apoio explícito de um modelo concreto.

#### *Caracterização da Unidade Didática*

A unidade didática sobre dissolução foi elaborada visando promover uma situação em que os alunos vivenciassem diversas etapas do processo de modelagem por meio de elaboração de modelos concretos e analogias, sob orientação constante de um professor tutor. Os principais objetivos da atividade, em termos de aprendizagem de conteúdo são: (i) a distinção entre propriedades macro e submicroscópicas e (ii) o entendimento da existência de interações entre as partículas de soluto e de solvente no processo de dissolução (Mozzer, 2013).

A versão original dessa unidade didática foi discutida e reformulada pelos integrantes do grupo REAGIR visando substituir o enfoque na elaboração de analogias pelo enfoque mais geral na elaboração de modelos e expressão de argumentos por parte dos estudantes. Tal reformulação resultou na unidade didática utilizada neste trabalho (Anexo V). A descrição detalhada desta unidade didática é apresentada a seguir.

A atividade 1 foi elaborada com o objetivo de favorecer que os alunos “tivessem experiências com o alvo”, ou seja, observassem o comportamento e/ou as propriedades dos sistemas em estudo, selecionando conhecimentos prévios e buscando dados que pudessem, posteriormente, ser utilizados na atividade 2. Os sistemas escolhidos para esta atividade são:

- SISTEMA 1: frasco com água e um pedaço de giz.
- SISTEMA 2: frasco com água e recipiente com certa quantidade de pó para preparar suco.

Segundo Mozzer (2013), a escolha de tais materiais se pautou na familiaridade dos estudantes com os mesmos e no comportamento distinto quanto à dissolução em um sistema aquoso. Na primeira questão, os estudantes devem tentar prever o que ocorrerá quando, em cada um dos sistemas, seus constituintes forem misturados. Além disso, eles devem anotar suas previsões e justificá-las. Na segunda questão, os estudantes devem misturar os constituintes de cada sistema, anotando os resultados e observações. Os estudantes são orientados a utilizar uma colher ou bastão de vidro para auxiliar a “mistura” do sistema 2. Na terceira questão, os estudantes devem discutir, caso tenham ocorrido, as diferenças entre o que havia sido previsto e o que eles realmente observaram ao misturar os componentes de cada sistema, além de justificar por que tais diferenças ocorreram. Nesse contexto, espera-se que eles recorram bastante às evidências empíricas para justificar suas afirmações ao longo desta atividade.

A atividade 2 foi proposta para que os estudantes elaborassem e expressassem, usando alguma forma de representação, modelos que expliquem os fenômenos observados na atividade 1. Assim, na primeira questão, eles são orientados a usar o material concreto disponível (bolinhas de isopor de diferentes tamanhos, massinha de modelar, lápis de cor) para elaborar um modelo para cada um dos fenômenos observados, de modo que tais fenômenos sejam explicados no nível submicroscópico. Os estudantes também devem desenhar e explicar seus modelos. Na segunda questão, eles devem refletir e decidir se os modelos propostos para os sistemas 1 e 2 podem ser sintetizados em um único modelo, ou seja, se é possível expressar um único modelo que seja capaz de explicar a dissolução ou não de uma substância em outra. Em caso afirmativo, os estudantes devem caracterizar o modelo de dissolução proposto e explicar como ele pode ser usado para explicar os fenômenos observados nos dois sistemas. Caso contrário, os estudantes devem justificar porque não é possível propor um único modelo para explicar os fenômenos observados nos dois sistemas. Na terceira questão, os estudantes devem esquematizar suas ideias de forma a tentar convencer seus colegas de que o modelo proposto por eles (modelo único ou os modelos individuais) é(são) satisfatório(s) para explicar a dissolução de uma substância em outra. Na última questão, os estudantes devem apontar quais evidências eles levaram

em conta para responder a penúltima questão. Ao longo desta atividade, espera-se que os estudantes possam subsidiar suas afirmações com conhecimentos teóricos, bem como, em algum momento, consigam articular esses conhecimentos com evidências empíricas, obtidas na atividade ou previamente. Além disso, espera-se que os estudantes elaborem argumentos do tipo persuasivo ao tentar convencer um dos colegas sobre a validade de um determinado modelo. Quanto aos argumentos representacionais, esse seria um contexto adequado para que eles surgissem uma vez que os estudantes podem sustentar suas afirmativas usando representações (ou partes delas) (Oliveira, Justi & Mendonça, 2015).

A atividade 3 foi elaborada com o intuito de testar, através de experimentos empíricos ou testes mentais, os modelos propostos pelos alunos. Desse modo, se um modelo tem resposta positiva no teste, passa para a próxima etapa; se um modelo tem resposta negativa no teste, ele deve ser rejeitado ou reformulado, de modo que um novo modelo seja proposto e submetido a testes novamente até que esteja apto a passar para a próxima etapa. Assim, na primeira questão, os estudantes devem adicionar um pouco de pó para preparar suco a uma certa quantidade de água (constituintes do sistema 2), sem agitação, observar após algum tempo, e anotar suas observações. Em seguida, eles devem avaliar se o modelo proposto por eles anteriormente pode ser usado para explicar as observações atuais. Se sim, eles devem descrever como o modelo poderia ser usado para tal fim. Se não, os estudantes são convidados a reformular seu modelo de modo que ele explique as observações atuais. Nesse caso, os estudantes devem representar o novo modelo e descrever como ele explica a dissolução do pó de suco na água sem agitação. Após a vivência dessa etapa, espera-se chegar ao modelo consensual da turma. Espera-se também que tal modelo seja o mais próximo possível do modelo curricular, nesse caso o Modelo da Interação, ou seja, o modelo que considera a força das interações entre partículas (soluto-soluto e soluto-solvente) como responsáveis pela dissolução ou não de uma substância em outra. Ao longo desta atividade, espera-se que os estudantes adquiram certa maturidade quanto às discussões propostas e que consigam subsidiar suas afirmativas com conhecimento teórico e evidências empíricas. Em outras palavras, espera-se uma melhora na qualidade dos argumentos propostos. Outro fato esperado é a ocorrência de argumento persuasivo quando os estudantes tentarem



convencer os colegas e a professora de que um determinado modelo dá conta, ou não, de explicar a dissolução de pó de suco sem agitação.

A atividade 4 foi proposta para verificar as abrangências e limitações do modelo que atingiu o objetivo proposto na questão anterior. Desse modo, pode-se verificar o que o modelo consegue e o que ele não consegue explicar em situações completamente diferentes daquelas em que ele foi proposto. Assim, na primeira questão, os estudantes devem observar os materiais disponíveis (água, gasolina e etanol) e os sistemas montados pelo professor (água + gasolina; água + etanol; gasolina + etanol). Nas questões seguintes, os estudantes devem usar o modelo final proposto por eles na atividade 3 para explicar o comportamento de cada um dos sistemas mencionados anteriormente. Como nesse caso os estudantes estão tendo contato com novos fenômenos, é possível que os argumentos voltem a ser do tipo teórico ou, em algumas situações, que eles consigam articular conhecimentos teóricos e evidências empíricas.

A modelagem tem papel fundamental no processo dinâmico e não linear da construção do conhecimento científico. Além disso, ela é um processo idiossincrático e dinâmico, não existindo uma regra geral para a construção dos modelos (Justi, 2006). Por isso, pode ser que os estudantes vivenciem etapas diferentes daquelas que motivaram a elaboração de cada atividade. Alguns eventos ocorridos ao longo da aplicação da unidade didática sobre dissolução ilustram bem essa situação. Por exemplo, a atividade 2 previa inicialmente a elaboração e expressão de modelos e posteriormente a socialização e discussão da validade dos mesmos. No entanto, na prática, os alunos elaboraram e expressaram modelos, mas não havendo mais de um grupo, não ocorreu o momento de socialização dos mesmos. As discussões ocorreram diretamente com a professora e a assistente de pesquisa e como consequência dessas discussões, foram realizados vários experimentos mentais e testes empíricos, alguns sugeridos pelos próprios estudantes. Como resultado dessa fase de testes, não previstos inicialmente, vários modelos foram construídos, reformulados e refutados.

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Estudo de Caso

Na atividade 1, os alunos deveriam, inicialmente, fazer uma previsão sobre o que ocorreria quando os diferentes materiais disponibilizados (giz e pó de suco de uva) fossem adicionados à água, além de justificar suas escolhas.

A princípio, os componentes do grupo divergiram quanto ao fato de o giz afundar ou não na água. Os alunos afirmavam, sustentados pela opinião de um dos colegas, que o giz flutuaria, e as alunas afirmavam que afundaria. Gilberto comentou sobre o experimento que havia visto em um livro sobre densidade, envolvendo água, óleo e gelo. Em seguida, Bernardo mudou de ideia em relação ao fato de o giz flutuar por causa de sua densidade e deu a entender já ter visto aquele experimento<sup>3</sup>. Os demais colegas concordaram com sua opinião.

No trecho transcrito a seguir podemos observar a ação da professora interagindo com os estudantes, ou seja, dando-lhes voz e permitindo que eles se envolvessem na discussão.

PROF<sup>a</sup>: *O que vocês acharam?*

RICARDO: *O giz afunda porque é mais denso que a água.*

(...)

#### 1.1. O giz afunda quando colocado na água, pois é mais denso do que ela. (1.T)

AMÉLIA: *Enquanto está descendo, dissolve um pouquinho.* (falando do pó do suco)

PROF<sup>a</sup>: *Então vocês acham que antes de afundar dissolve um pouquinho?*

AMÉLIA: *Afunda e depois dissolve.*

GILBERTO: *(inaudível)*

AMÉLIA: *Aí dissolve totalmente.*

---

<sup>3</sup> Como as gravações deste momento não ficaram audíveis, não foi possível entender claramente a fala do aluno.

PROF<sup>a</sup>: *Então coloca que vocês acharam que afunda porque o pó é mais denso que a água e porque dissolve...*

GILBERTO: *... porque tem densidade próxima da água.*

**1.2. O pó de suco dissolve em água porque tem densidade parecida com a da água. (1.T)**

AP: *À medida que o pó afunda ele dissolve. Vocês concordam com ele?*

AMÉLIA: *Sim (os outros acenam com a cabeça).*

SOLANGE/GILBERTO: *Quando você mexe se misturam.*

Em seguida, a professora recapitulou com o grupo as respostas da primeira questão:

PROF<sup>a</sup>: *Então, vamos lá, para eu ver como ficou. Vamos recapitular o sistema 1. Vocês acham que o giz vai afundar? E a justificativa seria porque o giz é mais denso que a água, ok. Aí vem a segunda, do pozinho do suco e da água. Vocês acham que primeiro vai jogar e depois...*

AMÉLIA: *...jogar e vai afundar, enquanto vai afundando vai dando uma dissolvida. Mas, ainda vai continuar um pouco embaixo, mas quando mexer vai dissolver.*

PROF<sup>a</sup>: *'Tá', mas por que dissolve?*

AMÉLIA: *(Trecho confuso)*

PROF<sup>a</sup>: *(Perguntando para Amélia) A densidade é aproximada, mas um pouco maior?*

PROF<sup>a</sup>: *Então vocês acham que o que faz ser dissolvido ou não é o fato de ter uma densidade próxima da da água?*

AMÉLIA: *Isso!*

*(Os demais concordam gestualmente.)*

Nesses dois trechos, observamos que Gilberto e Amélia apresentaram o argumento de que a dissolução depende da densidade. Pelas manifestações dos outros colegas, parece que tal argumento era consensual entre eles. Na tentativa de refutar esse argumento, a professora propôs que os estudantes comparassem a densidade do giz e do pó de suco:

PROF<sup>a</sup>: *O suco é mais denso que a água. Vocês falaram, ele afunda, e é isso a justificativa para ele ser dissolvido. Se o giz também é mais denso que a água, por que ele não é solúvel?*

BERNARDO: *Porque a densidade do giz é bem maior que a da água.*

PROF<sup>a</sup>: *(referindo-se a densidade) Tem que ser maior ou menor, mas tem que ser próxima?*

TODOS: *Sim.*

**1.3. O giz não é solúvel porque sua densidade é bem maior do que a da água. (1.T)**

Quando questionado se teria mesmo visto o experimento do giz em água, Bernardo afirmou que não havia visto, mas sim imaginado tal experimento.

Em seguida, a professora autorizou os estudantes a colocar o giz na água. Eles se mostraram bastante empolgados ao perceber que ocorria desprendimento de bolhas e que a previsão inicial estava correta quanto ao fato de o giz afundar, como podemos perceber no trecho a seguir.

AMÉLIA: *Haa! Sabia!*

SOLANGE: (faz gestos de comemoração) *Não falei que ia* (faz gestos com dedos mostrando o borbulhamento)...

SOLANGE: *'Tá' saindo ar.*

AMÉLIA: *Entrou água lá dentro dele.*

PROF<sup>a</sup>: *O que está acontecendo?*

SOLANGE: *Eu acho que é o ar que está saindo.*

AMÉLIA: *É, eu acho que deve ter poros.*

SOLANGE: *Então a água está entrando e o ar está saindo.*

AMÉLIA e BERNARDO: *O giz afundou...*

AMÉLIA: *...e a água entrou por meio do...*

RICARDO: *Por meio do que?*

AP: *Todo mundo acredita no que os dois colegas falaram? O que você falou? Que afunda... e essas bolhas seriam...*

AMÉLIA: *O ar.*

GILBERTO: *Porque o giz tem buraquinhos.*

AMÉLIA: *Que a água entrou para o ar sair.*

BERNARDO: *Não! Porque o ar é menos denso que a água.*

**1.4. Quando o giz é colocado em água, o ar de seus poros sai e a água entra, pois o ar é menos denso do que a água. (1.T)**

Neste momento, os próprios estudantes pediram para retirar o giz de dentro da água, ação que não estava prevista no roteiro da atividade:

AMÉLIA: *Mas tira ele* (o giz).

PROF<sup>a</sup>: *Você quer mexer?*

AMÉLIA: *É.*

BERNARDO: *Pode tirar?*

PROF<sup>a</sup>: *O que vocês querem observar?*

SOLANGE: *A gente quer apertar.*

RICARDO: *'Pra' ver se está mole!*

PROF<sup>a</sup>: *Ah, tá. Mas só me explica uma coisa: para que vocês querem saber se está mole ou não?*

GILBERTO: *Se ele 'ta' durinho!*

SOLANGE: *A gente quer ver se entrou água dentro!*

RICARDO: *Pra ver se afetou a estrutura dele.*

**1.5. O giz permaneceria duro quando retirado da água, pois sua estrutura não seria afetada pela entrada de água nele. (1.E)**

Após pegarem o giz que estava na água, Bernardo o apalpou e Gilberto cogitou que o giz tinha diminuído de tamanho e que, portanto, teria dissolvido. Isto gerou certa dúvida quanto ao pozinho que estava no fundo do béquer: se seria resíduo de dissolução ou partes do giz resultantes de “pancadas”. No final da discussão, os alunos concluíram que o giz não sofreu dissolução:

PROF<sup>a</sup>: *Vocês observaram, gente, o que ele (Gilberto) disse, que o giz diminuiu de tamanho porque dissolveu?*

**1.6. O giz pode ter dissolvido na água, pois diminuiu de tamanho. (1.E)**

RICARDO: *'Tá' do mesmo tamanho.*

SOLANGE: *Hã, hãn... deixa eu ver.*

BERNARDO: *'Tá' do mesmo tamanho.*

AMÉLIA: *Eu também estou achando que dissolveu porque a água não saiu aí de dentro, então aquele que foi, foi (em dúvida)... adissolvido (sic)?*

PROF<sup>a</sup>: *Foi dissolvido?*

AMÉLIA: *É.*

SOLANGE: *'Tá' com farelinho aqui embaixo (olhando o fundo do béquer).*

AP: *Ela falou que está com farelo aqui.*

SOLANGE: *Ah, então dissolveu gente.*

**1.7. O giz dissolveu porque existem farelos no fundo do béquer. (1.E)**

RICARDO: *Mas o Gilberto bateu nele (no giz).*

PROF<sup>a</sup>: *Mas dissolver é o quê? Só uma coisa, pra ver se eu entendi a ideia da Solange. Dissolver é ficar pozinho?*

SOLANGE: *Não sei.*

PROF<sup>a</sup>: *Ficar farelinho?*

RICARDO: *Não, vai ficar é...*

SOLANGE: *Mas os meninos cutucaram ele também, não sei...*

AMÉLIA: *Ou não! E a água ainda está aqui dentro porque ele está úmido, ele está encharcado.*

SOLANGE: *É eu acho que a água continua aí dentro.*

AMÉLIA: *A água ainda está aqui dentro, por isso que ele está encharcado, até ele secar que a água vai evaporando.*

PROF<sup>a</sup>: *Vocês acham que a água está ali e o que conclui com isso, em relação a dissolveu ou não dissolveu?*

AMÉLIA: *Não dissolveu.*

**1.8.O giz não dissolveu porque os farelos são os pedacinhos que foram removidos dele. (1.E)**

Quando a professora questionou o que teria ocorrido se o giz tivesse dissolvido, os estudantes argumentaram que, para dissolver, é necessário permanecer resíduo no recipiente:

PROF<sup>a</sup>: *Vocês estão falando que não dissolveu. Se tivesse dissolvido, como vocês acham que o giz estaria?*

BERNARDO: *Ele viraria um pó no fundo do vidro.*

AMÉLIA: *É!*

PROF<sup>a</sup>: *Mas estaria um pozinho no fundo? Vocês veriam o pozinho no fundo?*

AMÉLIA: *Sim, eu acho que sim.*

BERNARDO: *Ficaria tipo um suco. Mas isso aqui foi quando estava tirando ele (o giz).*

PROF<sup>a</sup>: *Então ele não dissolveu porque ainda tem no fundo!*

AMÉLIA: *Não dissolveu.*

SOLANGE: *Só tem aquelas coisinhas porque os meninos cutucaram.*

**1.9. O giz não dissolveu porque não virou pó no fundo. (1.E)**

Mais uma vez, a professora buscou instigar os estudantes a pensar no que ocorreria com o giz se ele tivesse dissolvido e eles continuaram com a ideia de que para dissolver é necessário permanecer “pozinho” no fundo do recipiente. Os estudantes tentaram confirmar esta ideia ao trazer exemplos de solução de Sonrisal® e de bicarbonato de sódio quando preparados cotidianamente. E, ainda, afirmaram que certas características do sólido iam ficar na água, mas o resíduo no fundo permanecia, mesmo que a quantidade de sólido adicionada fosse bem pequena.

Antes que os alunos misturassem os constituintes do sistema 2 (pó de suco e água), a professora os orientou a prestarem bastante atenção enquanto fossem colocando o pó na água. Os estudantes ficaram empolgados com as cores observadas e apontaram a presença de pozinho no fundo do béquer. A professora os autorizou a agitar o sistema com um bastão e observar o mais próximo possível.

Neste momento, os estudantes propuseram mais um teste empírico, ao pedirem para colocar o giz no suco recém preparado para verificar se a densidade da água havia aumentado. Tal teste foi realizado posteriormente.

Solange registrou em sua atividade que o resíduo que foi para o fundo do béquer era o açúcar, enquanto os corantes ficavam no meio. A professora contrapôs a ideia de Solange com a de Amélia, que dizia que o pó ia descendo e dissolvendo, mas que só se dissolvia completamente após agitação, conforme trecho transcrito a seguir:

PROF<sup>a</sup>: *Então, olha só! A gente tem que pensar porque tem duas ideias. Olha aqui, Solange, o que a Amélia acha 'quase parece' com o seu... Ela acha que o corante também desce, só que o pozinho que era do corante, teve uns que não chegaram a dissolver completamente e foram até o fundo. Só que ela acha que outros dissolveram. É isso, não é?*

AP: *Vocês concordam com ela?*

PROF<sup>a</sup>: *A da Solange é diferente, ela acha que o corante ficou no meio e em cima e o que desceu foi só o açúcar.*

SOLANGE: *Só o pó!*

PROF<sup>a</sup>: *Mas esse pó é suco com corante e tudo ou só açúcar?*

SOLANGE: *Hum... Não sei.*

PROF<sup>a</sup>: *É isso que tem que pensar! Porque é diferente uma coisa e outra. Concordaram comigo?*

PROF<sup>a</sup>: *Cheguem num consenso para isso daqui. Porque você acha que foi dissolvendo antes de chegar ao fundo?*

AMÉLIA: *Porque eu vi!*

PROF<sup>a</sup>: *Porque você viu o quê?*

AMÉLIA: *Vi que estava dissolvendo... que ficou...*

PROF<sup>a</sup>: *O que você viu que dava pra ver que estava dissolvendo?*

AMÉLIA: *As cores.*

PROF<sup>a</sup>: *As cores que iam aparecendo. Então o que fez você achar que dissolveu todo antes de chegar no fundo é porque então fez aquele... como que é?*

SOLANGE: *Eu acho que dissolveu, mas não dissolveu todo.*

PROF<sup>a</sup>: *Ta'! E depois você acha que dissolveu todo?*

SOLANGE: *Só quando misturou.*

AMÉLIA: *É eu também acho isso.*

**1.10. O pó de suco foi dissolvendo quando entrou em contato com a água, pois os corantes que o constituem deixaram rastros de cor do topo do béquer até o fundo. (1.E)**

Somente após a discussão com o grupo, Solange ficou convencida de que o pozinho no fundo não deveria ser apenas açúcar, pois ela conseguia identificar uma evidência empírica importante: o pozinho do suco é colorido, ao passo que o grão de açúcar é branco ou transparente.

Ao ler em voz alta, a respondida questão 2 escrita pela estudante Amélia, a professora suscitou uma discussão sobre o papel da agitação na dissolução:

PROF<sup>a</sup>: (lendo resposta da Amélia) *O pó desceu e foi se dissolvendo, uma cor azul e vermelho, que ao se misturar (misturar que você fala é agitar com o palito?) se dissolveu totalmente ficando a cor roxa. 'Ta', então a ideia da Amélia já é aquela que eu tinha falado antes, de que o que desce são todas as coisas que tinha no pozinho, não só o corante, o açúcar, tudo! Tanto é que ela falou 'o pó'.*

AMÉLIA *É.*

PROF<sup>a</sup>: *É aí que eu quero ver se tem concordância. Desceu tudo mesmo?*

RICARDO: *Desceu.*

PROF<sup>a</sup>: *E só dissolveu tudo na hora que mexeu?*

SOLANGE: *Sim.*

PROF<sup>a</sup>: *Antes de mexer chegou a dissolver alguma coisa?*

AMÉLIA: *Dissolveu um pouco.*

PROF<sup>a</sup>: *Dissolveu um pouco?*

AMÉLIA: *Eu acho que dissolveu, só que faltava formar a cor roxa, faltava dissolver na água toda. O pó dissolveu totalmente, mas agora não dissolveu na água toda.*

SOLANGE: *Não dissolveu tudo porque ficou uns pozinho lá embaixo, só depois que dissolveu.*

PROF<sup>a</sup>: *Não dissolveu tudo, mas um pouco dissolveu.*

SOLANGE: *Só depois que dissolveu.*

**1.11. O pó de suco dissolve parcialmente quando colocado na água porque fica pozinho no fundo, que só se dissolve sob agitação. (2.E-E)**

Após essa discussão, os estudantes executaram o teste proposto por eles anteriormente, adicionando também mais pó de suco à solução preparada. A professora



aproveitou a oportunidade para que os estudantes observassem se havia resíduos no fundo do béquer e se ocorria dissolução completa. Dessa maneira, ela usou dados empíricos para refutar a concepção de que a dissolução nunca é completa.

AMÉLIA: *Vou jogar mais um pouquinho para colocar o giz.*

AMÉLIA: *Dá pra ver mais nada.*

PROF<sup>a</sup>: *Pra vocês verem teria que fazer assim contra a claridade. Agora vê se dá pra vocês verem.*

AMÉLIA: *Tem nada aí não!*

(Os outros repetem.)

PROF<sup>a</sup>: *Dissolveu?*

T: *Dissolveu.*

PROF<sup>a</sup>: *Então completa agora falando que vocês colocaram mais pó de suco.*

AMÉLIA: *E notaram que dissolveu totalmente.*

PROF<sup>a</sup>: *Exatamente! Mas, dissolveu totalmente com a agitação, né?*

AMÉLIA: *É.*

#### **1.12. O pó de suco dissolveu totalmente porque houve agitação. (1.E)**

Antes de colocar o giz no sistema suco dissolvido em água, os estudantes pediram um giz “novo”, pois eles achavam que já tinha entrado água naquele que tinham usado no experimento anterior. Ao serem questionados pela professora sobre o motivo de solicitarem outro giz, os estudantes justificaram que queriam comprovar que a água entrava nos poros do giz. Porém, antes que a professora lhes entregasse outro giz, os estudantes colocaram o mesmo giz usado anteriormente no béquer com água. Antes de retirar o giz da água, provavelmente visando auxiliar os estudantes na busca de uma explicação para o que observavam, a professora fez o seguinte questionamento:

PROF<sup>a</sup>: *‘Deixa eu’ fazer só uma pergunta antes de tirar: E se vocês tirarem e o giz estiver branquinho? Do mesmo jeito?*

SOLANGE: *É porque ele já ‘tava’ cheio de água, aí não tinha mais espaço para entrar.*

PROF<sup>a</sup>: *Aí não tem mais espaço para entrar água?*

AMÉLIA: *É.*

SOLANGE: *Acho que sim.*

AP: *Então vocês acreditam que já tem água?*

SOLANGE: *Já, estava no giz!*

**1.13. Se o giz saísse branco, ele estaria cheio de água, pois não haveria mais espaço para o suco entrar. (1.E)**

PROFª: *Então, vamos lá! (Tira o giz de dentro do béquer)*

RICARDO: *Ah, ele escureceu um pouco.*

SOLANGE: *Viu?*

PROFª: *É! Se vocês compararem um e outro dá pra ver.*

RICARDO: *Escureceu.*

SOLANGE: *Mas é porque está por fora, né?*

PROFª: *Então isso aqui reafirma aquela ideia de vocês de que o giz não dissolve, mas entra água nos buracinhos, ou vai contra?*

BERNARDO: *Então confirmou.*

**1.14. O giz ficou arroxeadado porque o suco entrou nos seus poros. (1.E)**

Em seguida, a professora frisou que, naquele momento, eles tinham duas evidências (explicando sucintamente o significado do termo evidência) para concordar com a previsão que haviam feito na primeira questão da atividade 1. A primeira evidência recordada foi o resultado do teste realizado anteriormente, quando os estudantes observaram a entrada de água no giz e a saída do ar. A segunda evidência apresentada foi a cor do giz colocado dentro do suco de uva, no último teste realizado pelos estudantes que é ilustrado na figura 4. Nesta figura pode-se observar que o giz torna-se roxo, o que pode ser visualizado pela comparação com um giz seco, após ser imerso no suco de uva.



Figura 4. Comparação do giz colocado no suco de uva com o giz seco.

Na questão 3 da atividade 1, os estudantes deviam discutir, caso tivessem ocorrido, as diferenças entre o que foi previsto e o que de fato ocorreu. Os estudantes

relataram que não haviam observado os poros do giz antes de colocá-lo na água, somente depois que o ar saiu. Quanto ao sistema 2 (pó de suco e água), a diferença apontada pelo grupo foi a de que eles não previram a separação dos corantes de cores diferentes, pois estes não aparecem no pó.

Na semana seguinte, no segundo encontro, antes de iniciar a atividade 2, a professora recordou algumas atividades de construção de modelos que foram desenvolvidas em sala de aula como, por exemplo, a construção de modelos para o ar dentro de uma seringa. Os estudantes foram orientados a produzir modelos concretos a partir dos materiais disponíveis (massinha de modelar, bolinhas de isopor de diferentes tamanhos, palitos etc.). Inicialmente, Ricardo e Bernardo, isoladamente, começaram a montar uma estrutura tridimensional com bolinhas de isopor ligadas por palitos. Em seguida, Bernardo uniu as duas estruturas ( $M_1$ , figura 5) e Ricardo afirmou que eram moléculas de água. Quando questionado pela professora se aquela estrutura representava uma ou várias partículas de água, o estudante teve uma nova ideia e propôs ao grupo que aquela estrutura ( $M_1$ ) poderia representar o giz e que alguns pedacinhos de massinha azul poderiam ser colocados entre uma bolinha e outra para representar as moléculas de água ( $M_2$ , figura 6), conforme a transcrição apresentada a seguir.



Figura 5. Modelo  $M_1$  para o giz.

RICARDO: *Moléculas de água!* (apresentando o modelo construído,  $M_1$ )

PROF<sup>a</sup>: *Essa parte é a água?* (apontando para uma bolinha de isopor)

RICARDO: *Agora o giz tem que ser maior.*

PROF<sup>a</sup>: *Isto é uma (partícula) ou são várias?*

RICARDO: *Várias.*

PROF<sup>a</sup>: *O que é a partícula de água? É a bolinha?*

RICARDO: *Isto daqui podia ser as moléculas do giz (referindo-se ao modelo  $M_1$ ) e isto (pedaços de massinha azul) da água!!*

AMÉLIA: *Éééé.*

PROF<sup>a</sup>: *Ah, entendi!*

BERNARDO: *Podia mostrar que tem os poros no giz.*

AMÉLIA: *Isso.*

GILBERTO: *Aí a gente faz uns furinhos.*

AMÉLIA: *Aqui os poros já...* (referindo-se aos espaços entre as bolinhas na estrutura de M<sub>1</sub>)

BERNARDO: *Tem que mostrar o giz na água.*



Figura 6. Modelo M<sub>2</sub> representando a água dentro do giz.

Esse diálogo evidencia que houve consenso no grupo em relação a essa proposta e os estudantes começaram a se engajar na construção do modelo de modo mais colaborativo.

Em seguida, a assistente de pesquisa questionou o significado dos palitinhos na estrutura de M<sub>1</sub>:

AP: *Por que vocês colocaram esses palitinhos aqui?*

RICARDO: *É 'pra' segurar.*

AMÉLIA: *É só 'pra' segurar mesmo, é como se não tivesse nada. Isto aqui é tipo a consistência do giz.*

**2.1. Os palitinhos servem para segurar as bolinhas, pois representam a estrutura do giz. (1.R)**

Em seguida, para representar o sistema 2, os estudantes pediram várias bolinhas de isopor para construir modelos para as moléculas de água e usaram as massinhas para cobrir algumas bolinhas de isopor visando representar os diferentes corantes. Os estudantes atribuíam às partículas as cores dos corantes. Então, fizeram uma simulação mostrando que as bolinhas coloridas iam se misturando às bolinhas brancas que representavam as moléculas de água (M<sub>3</sub>, figura 7).



Figura 7. Modelo M<sub>3</sub> para representar o pó de suco dissolvido na água.

Dando continuidade à discussão, a professora pediu aos estudantes que mostrassem como seria o modelo para o pó de suco, antes de colocar na água (M<sub>4</sub>, figura 8).

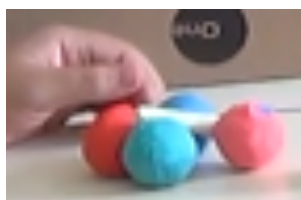


Figura 8. Modelo M<sub>4</sub> para o pó de suco antes de colocar na água.

AP: *Só reforçando a pergunta da professora. Tentem imaginar – porque agora é um processo de imaginação mesmo. Vocês falaram: “Ah como ia ‘tá’ esse daqui no submicroscópico, a gente não consegue imaginar.” E se vocês tentassem imaginar? Por exemplo, no submicro, como vocês imaginariam que vai estar o grãozinho?*

BERNARDO: *(inaudível)*

PROF<sup>a</sup>: *Dá um zoom em um grãozinho.*

RICARDO: *Eu acho que ia ser desse jeito: os corantes e o açúcar, tudo juntinho (M<sub>4</sub>).*

AP: *Então esse palitinho representa o açúcar?*

RICARDO: *Isso.*

AP: *É só um esclarecimento: Essas partículas no submicro, como vocês imaginam que elas estejam em termos de organização? Se vocês estivessem imaginando no submicro...*

A e BERNARDO: *Juntas!*

AP: *Tudo junto. Junto como?*

AMÉLIA: *É assim...*

GILBERTO: *...uma pregada na outra.*

AMÉLIA: *...uma perto da outra.*

BERNARDO: *...tudo organizado.*

A professora e a assistente de pesquisa continuaram estimulando os estudantes a pensar e utilizar seus conhecimentos prévios, além da criatividade para explorar o modelo proposto por eles, como evidenciado no diálogo a seguir.

AP: *Uma pregada na outra? E como vocês imaginam que acontece quando põe na água? É isso que a professora estava pedindo (...) continuem simulando.*

BERNARDO: *Ela vai se dissolvendo...*

AMÉLIA: *Quando ela vai se dissolvendo, elas vão se separando.*

BERNARDO: *Aí vem o pó na água, ela vai soltando...*

GILBERTO: *Ela vai soltando.*

RICARDO: *E algumas (referindo-se às partículas do suco) vão ficar roxa.*

AP: *E na hora que mistura, o que acontece com essas partículas aí? (mostra M<sub>4</sub>)*

GILBERTO: *Elas se envolvem com a água.*

(...)

RICARDO: *Aí, vai ficar desse jeito (M<sub>5</sub>).*

PROF<sup>a</sup>: *Ah, 'tá'. Então fica elas e as partículas de água... como elas ficam?*

RICARDO: *Elas vão se misturando junto com o suco.*

GILBERTO: *Eles misturam com a água e ficam da mesma cor do corante.*

AMÉLIA: *É.*

**2.2. O grão do pó do suco vai dissolvendo, pois suas partículas de corantes vão se separando e misturando com as partículas de água. (2.T-E)\***

Durante a discussão apresentada anteriormente, os estudantes produziram mais um modelo (M<sub>5</sub>), no qual, usando as bolinhas coloridas, eles tentaram mostrar as cores vermelha e azul do início da dissolução e a roxa do final da dissolução.



Figura 9. Modelo M<sub>5</sub> para o início (representação à direita) e o final (representação à esquerda) da dissolução do pó de suco em água.

Depois disso, a assistente de pesquisa iniciou uma discussão com os estudantes sobre o fato de as partículas terem ou não terem cor. Nessa discussão, ficou explícito que os estudantes tinham a concepção de que a cor de um material está presente em suas partículas.

AP: *Isso! Eu queria que vocês imaginassem um grãozinho do suco, aí foi dando zoom, zoom, zoom, até conseguir, por exemplo, enxergar aquelas partículas. A minha pergunta é: a cor é algo que eu estou enxergando no grãozinho do suco ou é algo que está lá também nessas partículas com super zoom?*

GILBERTO: *Vai 'tá' lá também, senão não teria cor por fora!*

RICARDO: *É!*

### 2.3. As partículas são coloridas porque senão o sistema não seria colorido. (1.T)

Em seguida, a professora finalizou a discussão relativa à cor como característica macroscópica. Ela solicitou que os estudantes explicassem porque ocorre a separação das partículas do suco quando colocadas na água e os estimulou a pensar no nível das partículas e em argumentos científicos e a discutir as ideias em grupo. Antes que os alunos relatassem a conclusão a que chegaram, a professora pediu que eles representassem a água antes de colocar o pó do suco.

Os alunos usaram uma caixa com várias bolinhas brancas para representar a água (modelo M<sub>6</sub>, figura 10). O diálogo no qual eles descrevem as características deste modelo é apresentado a seguir.



Figura 10. Modelo M<sub>6</sub> para as moléculas de água.

BERNARDO: *As partículas da água estariam assim: BEM desorganizadas, BEM separadas. (Alunos balançam a caixa com as bolinhas.)*

PROF<sup>a</sup>: *Tem movimento?*

AMÉLIA: *É!*

PROF<sup>a</sup>: *E está assim bagunçado?*

AMÉLIA: *Isso.*

Em seguida, os alunos diferenciaram o modelo para o pó de suco e para a água pela movimentação das partículas. Como evidenciado no trecho a seguir, eles fizeram isto recorrendo ao conhecimento teórico prévio que eles tinham sobre a organização dos diferentes estados físicos, isto é, lembrando que no estado sólido há pouca movimentação, apenas vibração, ao contrário do estado líquido, no qual as partículas têm certa mobilidade.

AP: *E porque o suco estaria desse jeito mesmo? (referindo-se a M<sub>4</sub>)*

GILBERTO: *Porque não ia ter movimentação das partículas?*

PROF<sup>a</sup>: *Como é que é? Não entendi!*

GILBERTO: *Porque não ia ter movimentação nas partículas do suco.*

AP: *E por que não tinha movimentação nas partículas do suco?*

T: *Porque estava no estado sólido.*

**2.4. As partículas de água têm movimento e estão desorganizadas porque a água é líquida. (1.T)\***

**2.5. As partículas do pó do suco não têm movimento e estão organizadas porque este está no estado sólido. (1.T)\***

AP: *Aí... dá continuidade.*

RICARDO: *Aí no estado sólido não tem muito movimento. Na hora que ele entrar na água, aí ele vai dissolver e entrar no estado líquido, aí ele vai ter movimentação.*

**2.6. As partículas do sólido não têm muito movimento, porém, quando o sólido entra em contato com a água e se dissolve, suas partículas passam a ter movimento, pois ele estará no estado líquido. (1.T)**

AMÉLIA: *Vai ter movimentação.*

RICARDO: *Aí vai separar os corantes...*

AMÉLIA: *Quando misturar vai ficar roxo...*

RICARDO: *E depois quando eu mexer vai ficar roxo. Essas partículas vão ficar dessa cor(roxa).*

AP: *Então o suco passaria de sólido para líquido?*

T: *Isso!*

PROF<sup>a</sup>: *Na hora que mexeu o suco que estava sólido veio para líquido?*



**2.7. A dissolução do suco se deve à passagem de estado físico de sólido para líquido devido ao movimento de suas partículas quando em contato com a água. (2.T-E)**

PROFª: *Ele não tinha movimento e agora tem?*

RICARDO: *Pouco.*

BERNARDO: *Não! Tinha espaço.*

PROFª: *Espera, então, antes não tinha ou tinha pouco? (referindo-se ao movimento)*

RICARDO: *Tinha pouco.*

BERNARDO: *Tinha pouco, antes só vibrava.*

PROFª: *Então na hora que mexeu fez ter maior movimentação...*

RICARDO: *Isso!*

PROFª: *Porque passou para o estado líquido?*

GILBERTO: *Isso é uma fusão.*

AP: *Aconteceu uma fusão? O que determinou acontecer essa fusão?*

AMÉLIA: *Fusão? Não!*

GILBERTO: *Passa de sólido para líquido.*

AMÉLIA: *Ah, 'tá' certo.*

AP: *Aconteceu uma "fusão"? Vocês concordam com ele? E o que determina essa "fusão"?*

GILBERTO: *Se for falar igual vocês estão falando, passar de sólido para líquido é fusão.*

AP: *Mas, o que provocou essa "fusão"? O que causou essa "fusão"?*

AMÉLIA: *A água.*

PROFª: *Como que a água fez?*

RICARDO: *Dissolveu.*

AMÉLIA: *Dissolveu.*

**2.8. A água provoca a fusão porque dissolve o pó. (1.E)**

Os estudantes usaram a palavra fusão como sinônimo de dissolver, pois acreditavam que o pó do suco (sólido) passava a ser líquido quando colocado na água e que suas partículas deixavam de apresentar apenas vibração para terem maior movimentação. Segundo informação posterior da professora, ela usou o termo fusão, embora conceitualmente errado, como forma de aproximação da linguagem usada pelos estudantes.

Novamente, a professora insistiu para que eles tentassem imaginar porque as partículas de suco se separam quando colocadas na água. Eles argumentaram que ocorre

uma diminuição no vácuo que diziam existir entre as partículas do suco, como observamos no diálogo a seguir.

BERNARDO: *Vamos falar que essa é uma molécula do suco (pegando quatro bolinhas coloridas, semelhante ao que foi apresentado na figura 8, que denominaremos de  $M_4'$ ). Aí na hora que ela cai na água, ela dá um espaço e vem a água e entra no meio deles.*

RICARDO: *Isso!*

BERNARDO: *Então isso faz com que as moléculas se separem.*

AP: *Está ficando bem mais fácil de entender quando vocês pegam as bolinhas e fazem.*

AP: *Só que agora a gente precisa de entender porque aconteceu essa separação. Agora eu vou pedir, espera só um pouquinho, Bernardo, vocês vão formulando aí, mas eu quero que a Amélia tente, só tente, formular uma explicação para isso, se você concorda com o que ele 'tá' falando.*

AMÉLIA: *Eu concordo.*

AP: *Estava tudo assim juntinho, não é? E aí na hora que colocou na água, pelo que o Bernardo me explicou, elas (as moléculas de água) foram entrando assim e separaram.*

AMÉLIA: *Isso.*

AP: *Aí, eu queria que você tentasse imaginar por que na hora que a gente põe lá na água ocorre essa separação...*

GILBERTO: *Porque diminui o vácuo que existia entre as partículas do suco.*

AP: *Então existia um vácuo entre uma partícula do suco e outra?*

GILBERTO: *Tinha, mas eram mínimas porque elas estavam juntas.*

AP: *E a água diminuiu quando ela entrou?*

GILBERTO: *É.*

**2.9. As partículas do suco se separam quando colocadas em água, pois a água diminui o vácuo que há entre as partículas do suco. (1. T)\***

No trecho a seguir, podemos perceber uma concepção alternativa frequente entre alunos, como relatado por Echeverría (1996): o fato de eles acreditarem que a água tem a capacidade de separar as partículas do soluto, no caso do pó do suco, por ela “entrar no meio” destas partículas por serem menores do que elas.

AP: *Vocês já evoluíram bastante! Diminuiu o vácuo... Mas e daí por que a água dá conta de fazer isso, de diminuir o vácuo?*

AMÉLIA: *Porque ela entra pelo meio.*

AP: *E aí é que 'tá'! E a gente quer saber por que ela entra!*

RICARDO: *Porque lá dentro podia ter poro! (considerando que houve uma modificação no modelo proposto anteriormente, o denominaremos de  $M_4''$ )*

**2.10. As partículas de água ficam entre as partículas do pó de suco, pois nele existem poros. (1.E)\***

BERNARDO: *Pode ser que as moléculas da água fossem menores que as do suco (diminuindo o tom de voz; semelhante ao comentário anterior, o denominaremos de M<sub>4</sub>'').*

**2.11. O pó de suco dissolveu na água, pois as partículas de água são menores que as do pó de suco. (1.T)\***

AP: *Mas o giz tinha poro ou não?*

AMÉLIA: *Tinha.*

BERNARDO: *No macroscópico.*

AP: *Ah, 'tá! E no submicro?*

BERNARDO: *Eram as partículas normal.*

Nesse momento, a professora conduziu a discussão no sentido de elucidar a diferença entre dois eventos discutidos: a entrada de água no meio das partículas de suco (fenômeno que ocorre no nível submicroscópico) e a entrada de água nos poros do giz (fenômeno macroscópico). A ideia de que o pó (sólido) transforma-se em líquido ao se dissolver na água apareceu novamente e os estudantes apresentam dois novos argumentos para explicar a dissolução dos materiais, como demonstrado no trecho a seguir.

AP: *No submicro no giz teria poro ou não?*

AMÉLIA: *Tem.*

AP: *No macro tem, mas e no submicro, tem espaço entre uma partícula e outra?*

AMÉLIA: *Tem. Tem sim!*

AP: *E lá no giz, o que aconteceu? Ele...*

AMÉLIA: *A mesma coisa que aqui também. Cada grãozinho...*

PROF<sup>a</sup>: *Vou deixar aqui para vocês mostrarem (as bolinhas do modelo M<sub>2</sub>, construídos anteriormente), porque aquela coisa do vácuo a gente só entendeu na hora que o Bernardo fez mesmo.*

AMÉLIA: *Aqui é cada grãozinho, o roxozinho (compara a estrutura M<sub>2</sub> com um conjunto de partículas de suco). Aí quando jogou lá na água, tinha o corante azul e o vermelho. Aí foi lá... essas bolinhas são os corantes azul e vermelho. Aí quando chegou e a água entrou para dentro aqui e foi separando os corantes e dissolvendo, fazendo eles ficarem... eles eram sólidos e se transformaram em líquido, foi dissolvendo na água. Aí depois que misturou eles ficaram todos de uma cor só.*

AP: *O que aconteceu com o giz foi o mesmo que aconteceu com o suco na água?*

AMÉLIA: *Sim. Sim entrou água dentro dos negocinhos.*

AP: *Olhando no macroscópico, ocorreu o mesmo fenômeno? O que aconteceu com um, aconteceu com outro? E por que dessa diferença?*

PROF<sup>a</sup>: *Isso.*

AMÉLIA: *Porque a pedrinha do grão é desse tamanhozinho e a do giz...*

RICARDO: *Eu acho que é porque no grão do giz tem mais espaço que no giz.*

PROF<sup>a</sup>: *Você falou giz e eu acho que você queria falar suco em algum lugar. Em qual grão que você falou que tem mais ou menos espaço?*

RICARDO: *O grão do suco deve ter mais espaço, onde tem mais vácuo entre as partículas para a água entrar. Aí a água vai entrar e vai dissolver, separar os corantes.*

**2.12. A água vai entrar no meio das partículas do grão de suco, separando-as, pois têm mais vácuo entre as partículas do grão. (1.T)\***

AP: *Mas eu vi o Bernardo meio que discordando aqui... desculpa te cortei, o que você ia falar?*

RICARDO: *É isso, que no giz as partículas podem estar mais organizadas, que têm poros que estava preenchido com ar, aí a água conseguiu entrar.*

**2.13. A água entra no giz porque existem poros preenchidos com ar entre suas partículas e o ar sai. (2.E-E)**

Assim, a professora criou condições adequadas para que ideias interessantes se desenvolvessem e proporcionou momentos para a negociação de diferentes ideias, como percebemos na sequência do diálogo anterior.

AP: *(para Bernardo) E você concorda com a explicação dele?*

BERNARDO: *Eu acho que dissolver não tem a ver com tamanho do pozinho, tem a ver com a densidade.*

PROF<sup>a</sup>: *Ah é! Na aula passada, só para lembrar aqui então, vocês falaram que na hora de dissolver, vocês compararam com a densidade do giz e com a do suco. E como que era, Bernardo, como vocês relacionaram?*

BERNARDO: *A do giz era maior, a do suco era mais ou menos igual ou parecida com a da água pra ele conseguir dissolver. (Embora, o aluno não tenha construído concretamente, entendemos que ele expressou uma ideia que sustenta um novo modelo, que denominaremos de M<sub>7</sub>. Neste modelo a dissolução é explicada pela proximidade dos valores de densidade dos materiais envolvidos.)*

Na tentativa de refutar a explicação baseada na densidade dos materiais, a assistente de pesquisa retomou a discussão baseando-se na repetição de testes empíricos executados anteriormente pelos próprios estudantes.

AP: *Eu queria propor uma coisa: quando vocês discutiram com a professora, vocês disseram que o que é mais denso afunda ou flutua?*

T: *Afunda!*

AP: *Então me fala aqui. Vou colocar aqui e nós vamos colocar o giz. Esse giz aqui afunda ou flutua na água?*

T: *Afunda.*

AP: *'Ta'! Agora pensando no suco. Eu vou colocar o pozinho do suco, vocês vão observar. Independente da dissolução ou não vocês vão observar o que acontece com o pozinho logo que eu coloco. (joga o pozinho no béquer com água) Ele afunda ou flutua?*

GILBERTO: *Afunda.*

Outros: *Afunda.*

AP: *Ele é mais denso ou menos denso que a água?*

RICARDO: *Mais denso.*

AP: *Se esse é mais denso (mostrando o giz) do que a água e esse também (mostrando o pó de suco), o que vocês concluem em relação a dissolver ou não dissolver?*

BERNARDO: *É igual a gente falou, a densidade do giz é maior que a da água, porque é sólido. Essa (do pó de suco) é maior que a da água, mas não é TÃO maior.*

**2.14. O giz não se dissolve em água porque é mais denso do que ela. (1.T)**

**2.15. O pó de suco se dissolve em água porque sua densidade é próxima à da água. (1.T)**

Os estudantes insistiram na explicação deles, que era baseada na proximidade dos valores da densidade dos diferentes materiais. Então, a professora trouxe um novo dado ao afirmar que pesquisara os valores da densidade dos materiais utilizados (giz e pó de suco) e que tais valores são superiores à densidade da água, mas não são significativamente diferentes entre si, conforme o trecho transcrito a seguir.

PROF<sup>a</sup>: *Eu quero falar uma coisa. Eu lembro que vocês falaram disso na outra aula, eu já imaginava que isso ia voltar de novo, eu pesquisei sobre alguns materiais que são usados para fazer o suco e para fazer o giz. A densidade dos dois é maior que a da água, igual vocês já falaram, porque os dois afundaram, mas não é tão diferente assim uma da outra.*

RICARDO: *Não!?* (mostrando-se surpreso)

PROF<sup>a</sup>: *É diferente, porque eu falei que cada material tem uma densidade, 'tá'? A densidade dos dois é maior que a da água.*

AMÉLIA: *Então tem a mesma substância nos dois?*

PROF<sup>a</sup>: *Não! Não é igual, é diferente, Amélia! Quando é igual é que é o mesmo material (sic).*

GILBERTO: *O suco de outro sabor tem a mesma densidade, não tem?*

AP: *Se ele for IGUALZINHO a esse daí!*

PROF<sup>a</sup>: *Se for usado o mesmo material para fazer esse suco (...) se usar mais ou menos o mesmo tipo de material, os mesmos tipos de corantes mais ou menos acontece a mesma coisa.*

Finalmente, após a discussão, usando as informações fornecidas pela professora sobre densidade do giz e do pó de suco, os estudantes admitiram que a densidade não consegue explicar satisfatoriamente a dissolução ou não de um material em outro, como evidenciado nos diálogos a seguir.

AP: *Mas e aí, a densidade agora é um parâmetro para usar para explicar se dissolve ou não?*

T: *Não.*

AP: *Por que não é?*

RICARDO: *Porque não adianta nada.*

AP: *Não adianta por quê?*

RICARDO: *Sei lá!*

(...)

PROF<sup>a</sup>: *A densidade dos dois é mais ou menos, vou dar um exemplo com números para ficar mais fácil. Vamos supor que a densidade do giz fosse 3 g/mL, maior que a da água que é 1 g/mL, e a densidade do suco fosse 4 g/mL.*

AMÉLIA: *Porque a dele é maior que a do giz?*

PROF<sup>a</sup>: *Não! Eu estou dando um exemplo, só 'pra' mostrar que são números próximos, 'tá'?*

AMÉLIA: *Ahã.*

PROF<sup>a</sup>: *Sabendo que a densidade dos dois é próxima, mas maior que a da água, dá pra' relacionar isso com a solubilidade?*

(silêncio)

PROF<sup>a</sup>: *O conceito de não dissolver o giz e dissolver o suco?*

BERNARDO: *Não.*

Então, a professora pediu que eles elaborassem uma nova explicação, capaz de responder por que o giz não se dissolve na água e o pó de suco se dissolve:

AP: *Então a gente vai pedir vocês para formularem outra explicação, que não seja...*

PROF<sup>a</sup>: *...sem ser esta de falar a densidade é próxima, que por isso dissolve. Entenderam porque a gente acha que essa explicação não dá?*

AP: *Tenta imaginar.*

BERNARDO: *Eu acho que é por causadas substâncias que constituem o giz... (mais uma vez, os estudantes propõe uma explicação que sustenta outro modelo que denominaremos M<sub>8</sub>. Neste modelo, os alunos associam a dissolução com a constituição dos materiais, embora não fique claro se estão fazendo referência à aspectos macroscópicos ou submicroscópicos.)*

(...)

AP: *'Tá'. As substâncias são diferentes, mas por que isso faz o comportamento ser diferente?*

BERNARDO: *Nesse caso, esse pode ser solúvel (o pó de suco) na água e este (o giz) não.*

**2.16. Giz e pó de suco se comportam diferentemente quanto à dissolução em água, pois são constituídos por diferentes substâncias. (1.T)**

Depois dessa discussão, os estudantes tiveram dificuldades para propor outros argumentos de natureza científica para justificar o comportamento de diferentes substâncias em relação à dissolução. Então a professora conduziu a discussão no sentido de retomar a ideia de partículas e do que ocorre entre elas. Ela fez isto solicitando que eles fizessem simulações com os modelos construídos por eles anteriormente, tanto para o sistema giz e água quanto para o sistema pó de suco e água.

PROF<sup>a</sup>: *Façam no modelo o suco e a água no momento que está dissolvendo e o giz e a água no momento em que coloca o giz na água. 'Pra' gente poder ver a diferença de um 'pro' outro.*

AP: *É. Mas, pensando no que está acontecendo entre as PARTÍCULAS do suco e da água e do giz e da água.*

(Os estudantes simularam a dissolução do pó de suco e a não dissolução do giz na água, usando os modelos construídos por eles anteriormente e, mais uma vez, confundiram uma característica macroscópica – os poros – com uma característica submicroscópica – os espaços vazios entre partículas.)

PROF<sup>a</sup>: *(Recapitulando o que os estudantes haviam discutido) Agora, só uma coisa, a do giz, vocês concordam comigo que os poros 'é' algo macroscópico que a gente estava vendo? Na hora que pegou o giz deu pra ver?*

GILBERTO: *Dava pra ver os buraquinhos.*

PROF<sup>a</sup>: *Porque aqui tem que ser o submicro, não é o que a gente está vendo. O Bernardo falou que é espaço vazio entre uma partícula e outra no giz, 'né'? Seria ausência de matéria, não teria nada. No pozinho do suco que também era sólido, antes, que vocês falaram, tem este espaço vazio?*

AMÉLIA: *Sim.*

BERNARDO: *Só que ele é menor, mas é parecido porque está no sólido.*

PROF<sup>a</sup>: *Este espaço vazio que teria no suco seria semelhante ao mesmo espaço que teria vazio no giz?*

BERNARDO: *Sim.*

AP: *E por que a água consegue ir lá e separar...*

GILBERTO: *Como é que fala? É solúvel?*

PROF<sup>a</sup>: *O porquê que a gente fala é nesse ponto. Por que entra (as moléculas de água) e separa (referindo-se ao suco) e por que nessa daqui entraria, mas não separa uma partícula da outra (referindo-se ao giz).*

RICARDO: *No giz tem mais vácuo que no suco.*

**2.17. A água separa o suco e não o giz porque no giz tem mais vácuo do que no suco . (1.T)**

PROF<sup>a</sup>: *Por isso que eu perguntei se o espaço vazio era o mesmo nos dois.*

AP: *E o Bernardo falou que era o mesmo.*

PROF<sup>a</sup>: *Porque os dois são sólidos.*

RICARDO: *Não! Eu acho que no suco tem mais.*

AP: *Mas, os dois não são sólidos?*

GILBERTO: *São.*

PROF<sup>a</sup>: *Lembra do modelo de partícula que a gente fez lá na sala?*

RICARDO: *O quê?*

PROF<sup>a</sup>: *Quando eu falava dos sólidos, como era a ideia do espaço vazio?*

BERNARDO: *Era muito pequeno.*

PROF<sup>a</sup>: *Era muito pequeno em relação ao ...*

BERNARDO: *... líquido.*

PROF<sup>a</sup>: *Líquido.*

GILBERTO: *Gasoso e líquido.*

PROF<sup>a</sup>: *Só que isso para qualquer sólido. E os dois são sólidos! Tanto o pó do suco quanto o giz.*

GILBERTO: *Ah, então tem o mesmo espaço vazio!*

**2.18. Os espaços vazios no pó de suco e no giz são iguais porque os dois são sólidos. (1.T)**

Com essa discussão, os estudantes perceberam que a dissolução do pó de suco e do giz não depende dos espaços vazios entre suas partículas, pois a dimensão destes espaços é semelhante por se tratarem de sólidos. Isso foi possível porque a professora recorreu ao conhecimento prévio dos alunos sobre modelo de partícula para refutar esse argumento relacionado à distância entre as partículas.

A professora retomou a discussão utilizando perguntas geradoras, ou seja, aquelas que os estudantes não conseguem responder usando apenas informações memorizadas (Vosniadou, 2002).

PROF<sup>a</sup>: *É, tem o mesmo espaço vazio. Só que tem alguma coisa aí que eu quero que vocês tentem formular, alguma coisa para explicar porque quando entrou nesse espaço*



vazio do suco separou, e quando entrou no espaço vazio do sólido, giz, não separou uma partícula da outra. A gente não viu dissolver.

AMÉLIA: Porque, tipo assim, cada substância tem um... método diferente de se transformar, igual a naftalina, se jogar água não vai evaporar, entendeu? Igual ela vai direto do sólido 'pra' gasoso.

PROF<sup>a</sup>: Independente de pôr na água, a naftalina aqui no ambiente passa de sólido para gasoso.

AMÉLIA: Então! O suco, se por na água, se transforma em líquido, mas o giz não, entende?

(...)

AMÉLIA: Porque cada substância tem uma temperatura, por exemplo, de fusão.

AP: Aí você está falando de mudança de estado físico, igual da naftalina. Mas, e aqui, estava no mesmo ambiente ou em ambientes com temperaturas diferentes?

AMÉLIA: Mesma coisa, só que eu 'tô' falando que o modo como cada um se transforma é diferente.

BERNARDO: Ah! Cada um reage com a água diferente.

**2.19. O pó de suco se dissolve na água e o giz não se dissolve porque eles são substâncias diferentes. (1.T)**

RICARDO/AMÉLIA: Isso!

PROF<sup>a</sup>: Mas isto a gente viu!

AP: A gente quer saber por que. O que vocês acham que está acontecendo que faz comportar diferente?

(...)

AMÉLIA: Eu acho que o meio que cada um reage com a água. Igual, o suco foi feito 'pra' isso, 'pra' dissolver! Agora o giz não.

AP: 'Tá'. Mas, aí no momento que foi fazer lá, o fabricante, o que ele teve que pensar para poder falar assim "eu tenho que fabricar esse suco de forma que ele vai virar suco, dissolver".

RICARDO: Eu acho que ele 'tacou' um monte de 'parada', aí deu um gostinho gostoso, 'tacou' na água e ficou bom.

AP: Mas, ele pode fazer isso e não dissolver. E ele tinha que fazer um suco em pó para dissolver. O que ele fez?

RICARDO: É só ralar o 'trem'.

AP: Então se a gente ralar o giz vai dissolver?

AMÉLIA: Não! Não! 'Tava' só zoando!

RICARDO: Pode ser!

AMÉLIA: Como vai ralar o giz?

RICARDO: Sei lá, se você pegar alguma coisa e ralar o giz ... igual pozinho que fica na beirada do quadro e jogar na água, a água pode ficar branca.

**2.20. Triturar o giz o torna solúvel em água porque a solução se torna branca. (1.E)**

**2.21. O giz triturado se dissolve em água porque se encontra na forma de pó. (1.E)**

*AP: Quer experimentar para ver se vai acontecer?*

Nesse momento, os estudantes fizeram mais um teste empírico que não estava previsto no roteiro da atividade. Eles colocaram pó de giz em um béquer com água e observaram se a granulometria do material, no caso o giz pulverizado, determinava sua dissolução ou não. Eles também repetiram o teste do pó de suco em água, usando menor quantidade de pó para observar melhor e para comparar com o giz.

Como o pó de giz ficou bem “fino”, o sistema constituído pelo giz e água ficou ligeiramente turvo, deixando os estudantes um pouco indecisos quanto à ocorrência de dissolução. Para resolver tal situação, a professora pediu que os estudantes pensassem nos fenômenos observados considerando apenas os eventos mais significativos, de forma aproximada, de modo que eles concluíssem que a maior parte do pó de giz não dissolveu e que o pó de suco dissolveu praticamente todo. Assim, Amélia recorreu novamente ao tamanho das partículas para tentar explicar os resultados obtidos no teste proposto por eles:

*AP: Compara esse daqui com esse daqui (o béquer do giz com do suco).*

*AP: A maior parte desse aqui (do pó de giz) está aqui ou no fundo? E aqui (do pó de suco)?*

*AMÉLIA: Dissolvido.*

*AP: Então a gente pode pensar com uma aproximação, pensando numa aproximação, a gente diria que esse (pó do suco) dissolve ou não?*

*AMÉLIA/GILBERTO: Dissolve.*

*AP: E este (pó do giz)?*

*AMÉLIA/BERNARDO: Não!*

*AP: Então agora a gente retoma aquele pedido de explicação...*

*PROFª: Porque vocês falaram que talvez se fosse em pozinho, o giz, não tivesse no formato...*

*AP: Pensando na aproximação o que a gente conclui pelo que a professora está falando aqui do pozinho? O giz dissolve ou não dissolve?*

*RICARDO: Dissolve.*

*BERNARDO: Não! Não!*

*PROFª: Dissolveu?*

BERNARDO: *Uma parte sim!*

RICARDO: *Sim, pouca parte.*

GILBERTO: *Dissolveu, ficou até com a cor diferente.*

AMÉLIA: *Dissolveu um pouco.*

AP: *Mas a gente pediu pra vocês pensarem numa aproximação...*

RICARDO: *Dissolve.*

AP: *Quando a gente compara isto (sistema giz + água) e isto (sistema pó de suco + água)...*

AMÉLIA: *Ah!! Entendi o que você quis dizer. Aqui ó, as partículas do suco, como são menores, estão em lugares menores, estão em volta da água. Igual às partículas da água. Não dá 'pra' ver, mas tem partículas. E a do suco fica do tamanho delas, tipo bem pequena.*

**2.22. O suco se dissolve na água e o giz não porque suas partículas são menores do que as do giz e conseguem entrar nos espaços da água. (2.T-T)**

A professora tentou fechar essa discussão recapitulando ideias discutidas e, aparentemente, aceitas por todos e estimulou os estudantes a pensar no motivo pelo qual ocorre a separação ou não das partículas de um material quando colocados em água, por exemplo.

PROF<sup>a</sup>: *Se eu pegar um grãozinho do mesmo tamanho deste grãozinho de suco... Vamos lá então para finalizar essa parte para irmos para o 2, 'tá'? Olha, se eu pegar um grãozinho só desse daqui, um desse do suco, e depois esse todo quebradinho aqui, pegar um do mesmo tamanho do giz. O tamanho é o mesmo, os dois materiais são sólidos. Então, em relação ao espaço vazio, a gente também já concluiu que o espaço entre as partículas que constituem esse grãozinho de giz e o espaço vazio entre uma partícula e outra que constituem esse grãozinho do pó é semelhante, certo? Porém, quando a gente coloca essa do giz lá dentro (da água), ela não dissolve, ela vai lá 'pro' fundo e fica lá. A do suco, o mesmo grãozinho, do mesmo tamanho, a gente coloca, mexe, não dá mais pra ver, dissolve. O que pode ser diferente?*

(...)

PROF<sup>a</sup>: *Podem assumir isso! Podem confiar que a do giz vai pro fundo. A do pozinho, eu vou mexer, ela pode dar aquele sinalzinho de cor, igual vocês observaram e depois some.*

AP: *Por que a água separa aqui (no suco), mas não separa aqui (no giz)?*

GILBERTO: *Porque o giz não troca de estado físico.*

RICARDO: *Isso! Pode ser!*

GILBERTO: *Não troca de estado físico quando coloca na água, já o pó troca!*

**2.23. O giz não se dissolve na água, ao contrário do pó de suco, pois aquele não muda de estado físico quando colocado na água. (1.E)**

PROF<sup>a</sup>: *É porque tudo que vocês estão falando é o que a gente está vendo, vocês têm que pensar neste nível que a gente não vê.*

AMÉLIA: *Mas é que a gente não é um SUPERMICROSCÓPIO!*

PROF<sup>a</sup>: *É por isso que a gente pede pra imaginar!*

GILBERTO: *Pra mim é porque o giz não muda de estado físico.*

Neste ponto, percebemos que os alunos não avançaram na discussão, pois não conseguiam elaborar alguma hipótese que fosse além das características macroscópicas, como a mudança de estado físico. A assistente de pesquisa ponderou que, possivelmente, a atividade seguinte poderia ajudá-los a pensar em mais explicações no nível submicroscópico. Assim, Gilberto perguntou se não havia microscópio que os permitisse ver as partículas. Diante de uma negativa da assistente de pesquisa, Amélia questionou “como a gente sabe que a água tem partículas?” Então a professora explicou que este conhecimento é baseado em modelos, em representações e em hipóteses que dão conta de justificar determinados comportamentos. Amélia ainda afirmou que, então, o conhecimento sobre as partículas de água não é cem por cento verdade. A professora afirmou que na ciência não pensamos em “verdades”, mas sim, se tal conhecimento é adequado para subsidiar explicações. Então, Ricardo disse que o conhecimento sobre partículas era mentira e a professora questionou “mentira ou hipótese?”. Ela finalizou comparando o que os estudantes estavam fazendo naquele momento com uma das tarefas que fazem os cientistas: levantar hipóteses bem fundamentadas.

As discussões dos estudantes entre si e deles com a professora foram bastante ricas e se estenderam mais do que o previsto inicialmente, inclusive com a proposição de novos testes e de outras questões advindas destas novas situações. Assim, devido à limitação de tempo, a professora optou pelas discussões orais em detrimento dos registros por escrito, dando sequência para a próxima atividade.

Na atividade 3, os alunos deveriam adicionar o pó de suco à água sem agitação, aguardar um pouco e observar:

PROF<sup>a</sup>: *Olha lá, gente. O que está acontecendo?*

AMÉLIA: *Está dissolvendo.*

PROF<sup>a</sup>: *E eu agitei?*

AMÉLIA: *Não.*

GILBERTO: *Deve ser que as moléculas devem ficar misturando sozinhas, sem agitar. Só que tem que deixar aí uma hora para elas misturarem todas.*

Nesse momento, a professora recorreu ao modelo construído pelos estudantes para que eles próprios pudessem identificar abrangências ou limitações:

PROF<sup>a</sup>: *Esse modelo (referindo-se a um modelo concreto semelhante a  $M_3$ , porém sem as partículas roxas, por isso o denominaremos de  $M_3'$ ) explica o que a gente viu aqui agora? A dissolução sem agitar?*

RICARDO: *Sim.*

PROF<sup>a</sup>: *Por quê?*

AMÉLIA: *Ah! As partículas da água já têm agitação. E a água agita e mexe os corantes.*

**3.1. O pó de suco dissolve quando colocado na água, mesmo sem agitação, pois as partículas de água já têm agitação. (1.T)\***

BERNARDO: *É mesmo!*

AMÉLIA: *Aqui a partícula da água fica assim (mostrando as partículas se movimentando), joga os corantes e vão misturando, misturando e pronto: virou suco.*

RICARDO: *Só que a agitação é bem menor que no gasoso.*

Com esse teste empírico, os estudantes conseguiram criar a hipótese de que, se esperassem um tempo suficiente, o pó de suco seria dissolvido completamente. Em seguida, a assistente de pesquisa apresentou para eles um béquer com solução do suco de uva preparado na semana anterior, também sem agitação, para que servisse de parâmetro com o teste realizado presencialmente e para aprofundar a discussão:

AP: *Por que depois que deixa assim as partículas do suco não voltam pro fundo?*

AMÉLIA: *Porque dissolveu.*

BERNARDO: *Porque as moléculas de água estão em constante movimento.*

AMÉLIA: *É! Isto aí! Aí as partículas do suco não ficam paradas, elas ficam em constante movimento, junto com as da água.*

**3.2. As partículas do suco dissolvidas na água não voltam para o fundo, pois as moléculas de água estão em constante movimento. (1.T)\***

BERNARDO: (simulando o movimento das partículas) *Elas estão em movimento, aí não vão deixar as moléculas do suco descer de novo.*

AP: (...) *Mas, pensando na representação de vocês, o fato das partículas de água movimentarem seria suficiente para poder manter estas partículas aqui assim?*

RICARDO: *Sim.*

BERNARDO: *Acho que sim.*

AMÉLIA: *Sim. Porque as partículas da água não vão ficar cansadas.*

AP: *Tentem ‘hipotetizar’ o que pode ter, além do movimento.*

RICARDO: *Acho que só a vibração mesmo.*

AP: *‘Tá’. Mas, agora a gente está pedindo uma hipótese para além...*

AMÉLIA: *Por que que a água vibra? É isso que você quer perguntar?*

AP: *Vocês pensaram em que para falar: “ah, as partículas da água estão se movimentando”?*

AMÉLIA: *Porque quando a gente estudou...*

RICARDO: *No que a professora colocou no quadro.*

Nesse momento, os estudantes explicitaram qual foi o conhecimento teórico prévio (estudo do modelo cinético-molecular para os estados físicos da matéria) que serviu de embasamento para essa questão e para muitas outras discutidas ao longo da aplicação dessa unidade didática sobre dissolução.

AP: *Então vocês estão se baseando em um conhecimento que foi discutido em sala de aula?*

T: *Isto!*

AP: *E que conhecimento é esse que ela falou lá?*

AMÉLIA: *Falou que o sólido...*

BERNARDO: *Falou da organização da água.*

RICARDO: *Organização dos estados físicos.*

AMÉLIA: *O sólido é organizado!*

RICARDO: *Quer que pega o meu caderno?*

AMÉLIA: *O sólido é organizadinho, só dá uma vibradinha assim (faz movimentos leves com os dedos colocados sobre algumas bolinhas de isopor colocadas sobre a mesa formando um quadrado). Aí coloca no fogo, borbulhou... colocou no copo.*

RICARDO: *Derreteu.*

AMÉLIA: *Derreteu. Aí as partículas já dão uma soltada, mas cada uma fica assim. (mostrando algumas bolinhas de isopor sobre a mesa, agora mais afastadas e com pouco mais de movimento em relação à simulação descrita anteriormente)*

AP: *Mas aí é a mudança de estado físico que a professora explicou para vocês.*

AMÉLIA: *Elas ficam assim ó, ó, ó (mostrando o movimento das partículas)! As partículas já estão mexendo.*

PROF<sup>a</sup>: *Só uma coisa antes de chegar no líquido e no sólido: Quais outras características do sólido...?*

BERNARDO: *Ele é bem organizado, tem pouco espaço e ele só vibra.*

AMÉLIA: *Pouco vácuo.*

RICARDO: *Tem mais uma que ela falou que eu não lembro.*

AP: *E por que no sólido só vibra e quando passa para o líquido dá uma movimentada maior?*

AMÉLIA: *Porque no sólido está com espaço pequeno. Aí como é que elas vão mexer?*

**3.3. No estado sólido, as partículas se movimentam pouco porque o espaço entre elas é pequeno. (1-T)\***

PROF<sup>a</sup>: *É só do espaço que eu falei que faz elas movimentarem menos?*

RICARDO: *É...*

AMÉLIA: *Não. Tem mais uma coisa.*

RICARDO: *Por favor, pode olhar no caderno?*

AP: *Pode, pode consultar.*

RICARDO: *(lendo no caderno) Organização, movimentação, distância e interação.*

AMÉLIA: *Ahã! Interação!*

Aproveitando que os alunos expressaram seus conhecimentos prévios, a professora pediu que eles recapitulassem cada uma das características citadas anteriormente, fazendo uma simulação para o pó de suco (antes de colocar na água e após dissolução) usando o modelo construído por eles.

A partir dessa solicitação, os estudantes explicaram, usando bolinhas de isopor branca para representar as partículas de água, que (i) essas partículas têm movimento, (ii) há uma distância média entre elas, (iii) elas estão pouco organizadas e (iv) uma partícula interage com a outra. Então, Amélia, usando as bolinhas coloridas, afirmou que quando o suco fosse colocado na água, suas partículas iriam interagir com as partículas da água. Em seguida, a professora pediu que os estudantes explicassem primeiramente as características do sólido. Com o auxílio das bolinhas coloridas, os estudantes mostraram que no sólido, as partículas (i) são organizadas, (ii) não tem muita movimentação, (iii) estão próximas umas das outras e (iv) interagem umas com as outras. Na sequência a professora pediu que os estudantes caracterizassem o sólido após a adição na água, sem agitação. Eles afirmaram que a nova situação (i) apresentava uma organização menor do que a do sólido, (ii) apresentava distância entre as partículas não

muito grande, mas maior do que no estado sólido e (iii) que as partículas passariam a ter movimento. A partir daí, a assistente de pesquisa prosseguiu a discussão:

AP: *E a interação?* (do pó do suco na água)

GILBERTO: *Não tem.*

AMÉLIA: *Tem! Mas muito pouca.*

BERNARDO: *Ele tem interação! O que tem muito pouca interação é o gasoso.*

AP: *E que interação é esta que vocês estão falando?*

GILBERTO: *De uma encostar com a outra.*

AP: *Qual? Qual encostar em qual?*

AMÉLIA: *As partículas da água encostarem umas na outras.*

RICARDO: *É que elas não sabem diferenciar uma da outra, aí elas querem fazer interação lá, aí elas vão (...) no suco e dissolve.*

PROF<sup>a</sup>: *Então você está falando que não interage só da água com da água, como estava antes...*

RICARDO: *Isto!*

PROF<sup>a</sup>: *E nem só do suco com do suco?*

RICARDO: *Isso!*

PROF<sup>a</sup>: *Agora tem interação água-suco?*

T: *Isso!*

Finalmente, a assistente de pesquisa direcionou a discussão no sentido de elucidar a relação da interação entre as partículas e a dissolução:

AP: *Se a gente raciocinar como o Bernardo falou, em termos de força dessa interação, de intensidade mesmo... O que vocês acham que vai ser maior: a interação suco-suco (partícula de suco com partícula de suco), água-água ou suco com água para ser dissolvido?*

AMÉLIA: *Todos. Não! Suco e água. 'Pra' poder dissolver!*

**3.4. O pó de suco dissolve na água, pois a interação entre as partículas do suco e da água é mais forte do que a interação entre as partículas do suco entre si. (2.T-T)**

AP: *Então 'tá'. Voltando agora para o giz, usando o mesmo raciocínio...*

BERNARDO: *Ah! Porque a interação água-giz não, não...*

RICARDO: *Não ocorre. Porque o giz não vai dissolver.*

**3.5. O giz não dissolve na água, pois não ocorre interação entre as partículas de água e giz. (1.T)**

BERNARDO: *Isso!*



AP: *Essa explicação que vocês deram é a mesma, mudando só as substâncias, ou são duas explicações diferentes?*

RICARDO: *Não, são duas explicações diferentes (diminuindo o tom de voz).*

AMÉLIA: *É a mesma explicação.*

RICARDO: *Não!*

AMÉLIA: *Só que muda a substância...*

AP: *Se fosse para você falar, Gilberto, quando uma substância dissolve na água e quando não dissolve, baseado nisto que foi discutido agora?*

GILBERTO: *Dissolve quando as partículas se juntam.*

AP: *Então elas interagem ou não interagem?*

GILBERTO: *Interagem.*

(...)

AP: *Então, além de movimento, do que depende para dissolver ou não dissolver?*

GILBERTO: *De interagir uma com a outra. (Nesse ponto consideramos que os alunos reformularam os modelos, elaborando um único modelo, que denominaremos de Modelo de Interação (M<sub>9</sub>), capaz de explicar a dissolução do pó de suco e a não dissolução do giz em água)*

### **3.6. Uma substância se dissolve na outra porque suas partículas interagem. (1.T)**

Na sequência, mais uma vez os estudantes quiseram saber se suas respostas estavam certas e a professora reafirmou que suas hipóteses estavam bem fundamentadas porque eram baseadas em várias informações. Logo, eram coerentes com a explicação científica.

O terceiro encontro se iniciou com a professora recapitulando o modelo construído e reformulado pelo grupo no encontro anterior (M<sub>9</sub>). Ela pediu aos estudantes que usassem seu modelo para simular movimento, distância e interação entre as partículas, características também discutidas anteriormente. Após essa discussão, Amélia apresentou um argumento completamente novo em relação aos discutidos até aquele momento: a possibilidade de existir atração por cargas elétricas entre as partículas do pó de suco e da água, conforme trecho apresentado a seguir.

PROF<sup>a</sup>: *Então tem tanto da de água com água, sólido com sólido e água com sólido, certo?*

AMÉLIA: *Depende, se também for carga negativa e positiva.*

PROF<sup>a</sup>: *Ah! Então como ficaria agora com carga? Semana passada a gente não tinha pensado em carga ainda.*

AMÉLIA: *É... se for a partícula do suco uma carga positiva e da água negativa, elas vão interagir. Agora se for uma positiva e outra positiva elas vão se repelir. (Como os alunos reformularam o modelo, o denominaremos M<sub>9</sub>)*

**3.7. A dissolução ou não de um material depende da interação entre suas partículas e das cargas elétricas que elas possuem, pois cargas iguais se atraem e cargas diferentes se repelem. (2.T-T)**

Em seguida, a assistente de pesquisa pediu aos alunos que explicassem como ocorre a dissolução de um material, baseado na interação. Os estudantes retomaram o argumento de a partícula menor encaixar nos espaços de outras partículas, como demonstra o diálogo a seguir.

AP: *O que determina um dissolver e o outro não, vocês explicaram também. Vocês tinham falado que o giz não dissolveria na água e o suco dissolveria. Aí vocês explicaram, a partir dessa ideia de interação, porque um dissolvia e outro não.*

AMÉLIA: *É porque do pozinho já é menorzinha, a partícula já é menorzinha. Aí quando ela dissolveu na água, aí quando os corantes se misturaram, a água ficou no meio das partículas, se juntou, e as partículas de água, como elas tinham movimento, elas fizeram com que todas se interagissem, não deixando ficar igual ao giz que já é sólido e quando ele caiu na água não dissolveu.*

**3.8. O pó de suco se dissolve na água, pois os corantes se misturam porque suas partículas são pequenas e entram no meio das partículas de água por causa do movimento dessas últimas. (2.E-T-T-T)**

PROF<sup>a</sup>: *Continuou sólido... E aí, a interação da água e do giz: é igual ou diferente com a interação do suco e da água?*

AMÉLIA: *Diferente.*

GILBERTO: *Diferente também.*

AMÉLIA: *É diferente porque, tipo assim, porque não misturou totalmente, não tinha água em todo meio das partículas, tinha água em alguns lugares só, entendeu? Porque só estava em alguns poros.*

**3.9. O giz não se dissolve em água porque suas partículas não se misturam totalmente com as de água, pois as partículas de água não entram em todos os espaços das partículas do giz. (2.T-T)**

Então, a assistente de pesquisa tentou refutar a ideia de dissolução baseada no tamanho das partículas do soluto recordando um teste empírico proposto e realizado pelos próprios estudantes no encontro anterior:

AP: *Essa questão que você apontou da diferença de tamanho ter facilitado... A que conclusão vocês chegaram quando a gente socou, socou, socou? Você lembra que os meninos propuseram socar e aí o pozinho ficou tão fino quanto do suco? E ele dissolveu depois que a gente fez isso?*

PROF<sup>a</sup>: *Também não.*

AMÉLIA: *Mas eu acho que a questão é que o negocinho do suco é feito de partículas de corante e o corante é feito tipo que para isso, separam. Às vezes, tem uma... não sei... em contato com a água, eles separam, aí a água entra no meio dessas partículas. Agora já a do giz, não, eles ficam sólidas.*

**3.10. O suco se dissolve porque seus grãos são feitos de partículas de corante que, por sua natureza, se separam quando em contato com a água. (2.T-T)**

A assistente de pesquisa aproveitou a oportunidade para retomar a discussão considerando as partículas e a interação entre elas:

AP: *E esse contato você chama de quê?*

GILBERTO: *A interação?*

AP: *A interação. Então esse contato vai depender da interação, não é isso? Vocês estavam falando que aqui tinha interação de um com o outro e isso determinava que dissolvesse. Agora aqui (no caso do suco) tinha uma interação tão forte quanto a daqui (no caso do giz)?*

AMÉLIA: *Não, porque aqui era sólido e quando entrava aqui dentro não tinha como se elas se movimentarem para interagir.*

AP: *Entendi.*

Como no terceiro encontro não havia outro grupo presente para que os estudantes socializassem e discutissem o modelo proposto por eles, a professora propôs uma dinâmica alternativa. Ela apresentou um modelo diferente para explicar a dissolução do pó de suco em água, baseado em outras premissas, como se fosse o modelo construído por outro grupo. Desse modo, os estudantes puderam comparar as diferenças entre os modelos, refutar ideias, persuadir uns aos outros e avaliar qual deles seria o mais adequado para explicar a dissolução ou não dos materiais. No modelo apresentado pela professora, a dissolução ocorreria devido às partículas de água que englobariam as partículas de pó de suco. Esse modelo, denominado Modelo de Englobamento, foi inspirado em dados da literatura (Mozzer, 2013).

Os estudantes rejeitaram esse modelo, pois ele não conseguia explicar a cor do sistema final (pó de suco misturado com a água). Ou seja, na perspectiva dos

estudantes, se uma partícula de água englobasse uma partícula do pó de suco que contém as partículas coloridas, a cor roxa não apareceria no sistema final. Pensando nestes termos, Gilberto cogitou a possibilidade de ocorrer o comportamento inverso, ou seja, a partícula de suco englobar a de água, como evidenciado no trecho a seguir.

AP: *Pensando neste modelo deles e pensando no de vocês, o que vocês acham mais coerente: a explicação de uma englobar a outra ou a de vocês, da interação de uma partícula com a outra?*

AMÉLIA: *Da interação. Porque englobar... Como assim englobar? Uma partícula ela não vai ter... ela tem capacidade de englobar alguma coisa?*

PROF<sup>a</sup>: *Você está me perguntando?*

AMÉLIA: *É.*

PROF<sup>a</sup>: *Eu é que te pergunto: baseado no modelo que a gente chegou, no modelo dos materiais, das partículas, que a gente discutiu nas aulas...*

AMÉLIA: *Eu acho que ela não tem capacidade de englobar não.*

PROF<sup>a</sup>: *Pensando naquele modelo, você acha que uma partícula, igual eles falaram que a de água, nesse caso... é possível uma partícula englobar...*

GILBERTO: *Eu acho que a do suco que iria englobar a de água, senão não ia dá cor.*

**3.11. O suco se dissolve na água porque suas partículas englobam as de água, uma vez que o suco dá cor à água. (2.T-E)**

AMÉLIA: *É, isso pode ser.*

PROF<sup>a</sup>: *Então vocês acham coerente a partícula de suco englobar a partícula de água?*

AMÉLIA: *Sim.*

A assistente de pesquisa propôs, então, que os estudantes contrastassem os dois modelos, elegendo o mais coerente e com maior capacidade para explicar os fenômenos investigados:

AP: *O interessante aqui é vocês contrastarem as ideias e “ah, ‘tá’ bom, a gente acha interessante. Então o nosso foi por terra. Ou não, o nosso é mais plausível e dá conta de explicar mais coisas que o deles”? E aí?*

PROF<sup>a</sup>: *Isso!*

AMÉLIA: *É porque, tipo assim, eu acho que o deles tá errado porque o sentido como uma partícula vai englobar uma partícula de suco? Entende? É só meio... não... você fica assim: como isso acontece?*

GILBERTO: *Não é real.*

PROF<sup>a</sup>: *Oi?*

AMÉLIA: *Parece que não é real.*

**3.12. O modelo do englobamento está errado porque não é possível uma partícula de água englobar uma de suco, isto não é real! (2.T-T)**

PROF<sup>a</sup>: *A partícula englobar a outra?*

AMÉLIA: *A partícula de água.*

PROF<sup>a</sup>: *Então se for a do suco englobar a água, vocês acham que faria sentido?*

AMÉLIA: *Mais sentido do que a água englobar o suco.*

Embora os estudantes continuassem admitindo a validade no modelo no qual a partícula do pó de suco engloba a partícula de água, eles conseguiram perceber que o modelo proposto por eles era mais coerente, pois “interagir” é mais aceitável do que “englobar”, em se tratando de partículas.

AP: *E essa ideia em relação à de vocês...*

PROF<sup>a</sup>: *Pensa o suco englobando a água e o modelo de vocês.*

AP: *De uma interagindo com a outra, qual vocês acham que é mais coerente? Por quê?*

GILBERTO: *Acho a nossa.*

PROF<sup>a</sup>: *Por quê?*

GILBERTO: *Se a água englobar o suco, acho que não vai soltar o corante... e a nossa vai interagir e vai acabar misturando.*

**3.13. Nosso modelo é melhor porque o outro (água englobando suco) não explica o sistema ser colorido. O nosso explica a interação entre as partículas e, conseqüentemente, a cor do sistema. (3.T-E-P)**

PROF<sup>a</sup>: *E se falar que o modelo deles é do suco englobar a água? Você acha que ainda assim o de vocês fica mais coerente ou você acha que o deles fica mais coerente?*

AMÉLIA: *É... difícil. Eu acho que o nosso.*

AP: *Por quê?*

AMÉLIA: *Porque tipo...ah! Não sei! Uma partícula já é natural dela interagir com outra, agora englobar, nunca vi isso não!*

AP: *Que evidências você tem para isso assim, mesmo que seja em termos do que você está imaginando.*

PROF<sup>a</sup>: *O que você imagina de fato para seu modelo de interação ser mais coerente do que o deles, de englobar?*

AMÉLIA: *Porque uma partícula já interage com todas as outras, agora englobar acho que ela não faz isso.*

**3.14. O nosso modelo é melhor porque partículas sempre interagem umas com as outras; elas não englobam umas às outras. (3.T-T-P)**

AP: *Então traduz pra gente esse interagir.*

AMÉLIA: *Interagir é quando as partículas do suco entram em contato com as da água, as da água começam a interagir com elas, com todas as partículas que estão no grão que vai separando. A partícula maior, o grãozinho maior do suco, vai separando, os corantes vão soltando e depois vai misturando.*

AP: *E por que é meio descabida, fora de lógica, essa deles de uma coisa englobar outra?*

AMÉLIA: *Porque sim.*

Assim, como os estudantes não conseguiam formular uma justificativa, a professora solicitou que eles buscassem evidências para sustentar suas afirmações:

PROF<sup>a</sup>: *Tenta imaginar uma evidência para isso. Vamos supor que eles dissessem: “você explicou o seu, mas não falou porque o meu não serve!”*

AMÉLIA: *Porque uma partícula não é uma célula que tem membrana que vai envolver uma coisa, entende? Uma partícula é uma partícula, ela serve para interagir uma com a outra e não para englobar.*

**3.15. O outro modelo não explica porque uma partícula não é uma célula que tem membrana para envolver alguma coisa; uma partícula só interage com outra. (3.T-T-P)**

PROF<sup>a</sup>: *Você concorda, Gilberto?*

GILBERTO: *Sim, acho que o nosso está melhor. Partícula não tem vida, ela não vai englobar outra, pegar a outra e tipo comer e vai formar o negócio. É na interação das duas que elas vão acabar se misturando.*

**3.16. O nosso modelo é melhor porque partícula não tem vida, não come outras; partículas se misturam porque interagem. (3.T-T-P)**

Após essa discussão inicial, a professora começou a atividade 4 afirmando que nela os estudantes deveriam verificar as abrangências e limitações do modelo construído e reformulado por eles. Ela ressaltou que a reformulação poderia ser entendida como a parte referente à interação entre as partículas e à presença de cargas elétricas. Ela também explicou brevemente o que seria abrangência e limitação de um modelo e recordou que o modelo construído, até então, conseguia explicar adequadamente duas situações diferentes, o pó de suco dissolver na água e o giz não dissolver na água. Então, os estudantes deveriam avaliar se o modelo construído por eles também seria capaz de explicar as novas situações que seriam apresentadas, ou se seria necessário reformular algum aspecto desse modelo.

Em seguida, a professora pediu aos estudantes que observassem e caracterizassem, oralmente, os materiais que seriam utilizados – água, etanol (álcool absoluto) e gasolina – antes e depois de serem misturados. Então, a professora adicionou, em uma proveta, água e gasolina. Gilberto comentou sobre um dispositivo existente nos postos de combustível e a professora respondeu que ele servia para avaliar a quantidade de álcool na gasolina.

O segundo sistema observado era constituído por água e etanol. Os estudantes comentaram que houve uma dissolução. Na sequência, eles comentaram que o terceiro sistema (constituído por gasolina e etanol) se assemelhava ao segundo sistema. Novamente os estudantes comentaram sobre um experimento visto por eles em um livro de Química, no qual apresentavam uma proveta com água, óleo e gelo. Os alunos também questionaram se a ordem em que os materiais são adicionados faria diferença no resultado final. Em resposta, a professora propôs repetir o primeiro teste, colocando inicialmente a gasolina e, em seguida, a água. A assistente de pesquisa pediu que os estudantes fizessem uma previsão do que ocorreria nessa nova situação. Os estudantes, baseando-se em suas experiências cotidianas envolvendo água e óleo, fizeram uma previsão que coincidiu com o resultado obtido. Porém, eles observaram também que a região da interseção dos dois líquidos ficou um pouco esbranquiçada.

Então a professora iniciou a discussão da primeira questão, que envolvia a utilização do modelo anterior para explicar o fenômeno observado no sistema água + gasolina. Gilberto retomou a ideia das cargas elétricas, mas Amélia preferiu se apoiar na densidade para explicar os fenômenos observados.

A professora conduziu a discussão para o nível submicroscópico e Amélia demonstrou, conforme transcrição a seguir, que usava a densidade para explicar o fenômeno macroscópico e as cargas elétricas para explicar a interação das partículas.

PROF<sup>a</sup>: *Isso. A densidade já explica o que a gente viu. E se a gente pensar no nosso modelo, no nível das partículas de duas substâncias diferentes, antes era do suco e da água. Agora se pensasse, se fosse partícula de gasolina e de água, como nosso modelo iria explicar esse sistema?*

PROF<sup>a</sup>: *Nosso modelo... Vocês viram que o modelo de vocês agora é meu também! Como o modelo de vocês ia explicar esse sistema aqui?*

GILBERTO: (Inaudível)

PROF<sup>a</sup>: *Quando você começou a falar do mais e do menos, o que você estava pensando?*

GILBERTO: *Que um não ia misturar com outro porque um é positivo e o outro negativo.*

AP: *Ele começou a falar disso e você (Amélia) falou outra coisa, você falou que a questão era de um ficar por cima...*

GILBERTO: *...de densidade.*

AP: *...e outro ficar por baixo. Aí a gente queria que vocês discutissem entre vocês, porque são duas explicações que eu e a professora...*

AMÉLIA: *Não, mas ela falou que a densidade está certa.*

AP: *Aí não é questão de certo e errado. Qual argumento vocês utilizariam, o da densidade ou o da questão das partículas?*

AMÉLIA: *Os dois.*

PROF<sup>a</sup>: *Para explicar a não dissolução... Formulem uma resposta completa.*

AMÉLIA: *Que a água ficou embaixo porque é mais densa e a gasolina menos densa ficou em cima, mas elas não misturaram porque...*

GILBERTO: *...uma é positiva e a outra negativa.*

AMÉLIA: *Isso! Deve ser isso, elas estão tendo repulsão. Eu acho que é assim: a densidade explica no sentido que a água é mais densa e a gasolina é menos densa. Então, por isso elas ficam diferentes: a água embaixo, a gasolina em cima. Mas eu acho que aquela coisa branca ali no meio assim é ... é o que ele (Gilberto) falou: que é quando a carga é diferente, carga negativa e carga positiva... Elas estão se ... se repelindo. Então por isso elas não estão misturadas. Então por isso deu aquela cor meio branca.*

**4.1. Água e gasolina não se “misturam”, pois tem densidades diferentes. (1.T)**

**4.2. Na região da interseção entre água e gasolina ocorre uma repulsão elétrica, pois elas não se “misturam”, o sistema fica meio esbranquiçado. (2.T-E)**

Embora os estudantes tenham feito uma confusão quanto às cargas elétricas (pois afirmaram que elas deveriam ser diferentes, positiva e negativa, e por isso sofriam repulsão), eles foram capazes de usar o modelo construído por eles para explicar o comportamento de água e gasolina e também de etanol e água, durante a discussão com a professora.

PROF<sup>a</sup>: *Ok. E se for pensar então na interação das partículas. Vamos supor que essa aqui (bolinha colorida) seja de gasolina e essas daqui (bolinhas brancas) de água. Se eu for pensar na interação de uma com a outra, como seria?*

(Os alunos fazem uma simulação da seguinte maneira: Amélia segura algumas bolinhas de isopor, para representar a água; Gilberto segura algumas bolinhas coloridas para



representar a gasolina; e eles colocam umas sobre as outras, mostrando que elas não se misturam.)

PROF<sup>a</sup>: *Então a interação seria essa? De repulsão uma com a outra?*

GILBERTO: *Pra explicar o segundo (etanol e água) tem que falar igual à da água e do suco.*

PROF<sup>a</sup>: *Esse agora da água e do etanol? Você acha que...*

GILBERTO: *Aí ‘tava’ lá, ‘tava’ tendo pouca interação. Aqui tá mexendo e aí cai o etanol, começa a ficar menos organizado e ter mais interação e começa a ter mais ... (gesticula no intuito de mostrar o movimento das partículas) velocidade? Não! É...*

PROF<sup>a</sup>: *Movimento?*

GILBERTO: *É, movimento. Começa a ter mais movimento e elas acabam se misturando.*

PROF<sup>a</sup>: *Entendi. E aí a interação passa a ser entre quais partículas?*

AMÉLIA: *A da água e do etanol.*

**4.3. O etanol se dissolve na água porque quando eles entram em contato, suas partículas ficam menos organizadas, se movimentam mais e interagem com as de água. (2.T-T-T)**

Mas, quando a professora pediu explicitamente para diferenciar o modelo para os sistemas ‘água e gasolina’ e ‘etanol e água’, Amélia retomou o argumento baseado nos valores próximos de densidade, numa espécie de “retrocesso” no processo vivido, como apresentado no trecho transcrito a seguir.

PROF<sup>a</sup>: *O que mudou do modelo quando era água e gasolina, agora que é álcool e água?*

AMÉLIA: *Porque ali eles não se misturaram. Por quê? Porque água e etanol têm uma densidade aproximada, não é a mesma, mas é aproximada, agora a gasolina e a água têm densidades BEM diferentes.*

**4.4. Água e etanol se “misturam”, pois possuem densidade aproximada. (1.T)**

**4.5. Gasolina e água não se “misturam”, pois possuem densidades bem diferentes. (1.T)**

O diálogo a seguir evidencia uma concepção da estudante em que há uma confusão entre densidade de “mistura” e dissolução.

PROF<sup>a</sup>: *Então você acha que é por causa da densidade muito diferentes que não mistura?*

AMÉLIA: *Isso.*

PROF<sup>a</sup>: *Então vamos pensar uma coisa: o suco e a água. A densidade do suco que eu falei com vocês... o suco é bem mais denso que a água, tanto é que ia pro fundo.*

AMÉLIA: *Mas você explicou isso na sala, que mistura porque a densidade é igual, parecida.*

PROF<sup>a</sup>: *Eu falei que mistura porque a densidade é parecida?*

AMÉLIA: *Falou.*

PROF<sup>a</sup>: *Em qual sistema eu falei isso, se eu nem discuti...*

AMÉLIA: *Falou! Você falou que o álcool tem 0,8 de densidade e que a água tem 1, aí como é parecido eles se misturam. Aí como a densidade é entre 8 e 9, a densidade do sistema 2, vai ficar entre 8 e 1.*

PROF<sup>a</sup>: *Ah! Não! Lembrei o que eu falei...*

AMÉLIA: *Hum...*

PROF<sup>a</sup>: *Eu expliquei o seguinte: quando eu tenho uma mistura igual a do álcool e da água, a densidade do álcool é aproximadamente 0,8 e da água 1, 'né'? Essa mistura deles não tem uma densidade específica, valor, igual o álcool tem uma e a água tem outra.*

AMÉLIA: *Igual aquela ali da gasolina e do álcool, tem mais aproximada do álcool porque você colocou mais álcool do que gasolina.*

**4.6. A densidade do sistema água-etanol é mais próxima da densidade do etanol, pois a quantidade de etanol colocada é maior que a da gasolina. (1.T)**

Para esclarecer esta questão, a assistente de pesquisa iniciou uma longa discussão baseada nos dados teóricos de densidade dos diversos materiais usados:

AP: *Você está certíssima pensando nesse argumento. Isso é condizente com o que a professora deve ter explicado. Só que aí, vamos pensar assim: o que está considerando é a densidade da mistura ou se dissolve ou não?*

AMÉLIA: *Ué! Quando elas se misturam, elas se unem, entendeu? Elas não dissolvem igual o suco, tipo assim, aqui (simula com dois tipos de bolinhas diferentes, uma em cada mão, mostrando que se atraem) é a partícula da água e aqui a do álcool, elas vão se misturar, mas mesmo assim vai continuar sendo a partícula da água e a partícula do álcool, entendeu? (...) Vai ter interação, às vezes sim, outras vezes não, porque algum vai ter carga negativa ou positiva, mas vai continuar sendo igual do suco, vai continuar sendo o suco e a água, mas vai ser dissolvido.*

AP: *O que determinou a dissolução então foi a densidade? Que fez dissolver ou não dissolver?*

AMÉLIA: *Sim.*

AP: *Mas o suco é mais ou menos denso? Independente se é parecido ou não!*

AMÉLIA: *Mais.*

AP: *E o giz?*

AMÉLIA: *Mais.*

AP: *Então se os dois são mais densos, a densidade determina a dissolução nesses dois casos?*

AMÉLIA: *Sim, porque a do giz não era próxima, era maior, mas não era próxima. Agora a do pozinho ERA próxima, mas era um pouco maior.*

**4.7. O giz não se dissolve em água porque sua densidade é maior do que a da água. (1.T)**

**4.8. O pó de suco se dissolve em água porque sua densidade é próxima à da água. (1.T)**

AP: *Pensando lá no sistema do super, super, super zoom, a gente acabou de colocar... na hora que foi caindo a gente viu que uma parte foi dissolvendo. Mas vocês lembram que vocês viram que tinha um monte lá embaixo?*

AMÉLIA: *Ahã.*

AP: *Só que depois que passa o tempo, eu mostrei pra vocês depois de uma semana...*

AMÉLIA: *...por causa da interação.*

AP: *...que dissolveu tudo, não foi? Então o que que determina mais: é a densidade ou a interação?*

AMÉLIA: *O que mais determina é a interação, mas a densidade tem um pouco a ver.*

AP: *A densidade vai ter a ver com afundar ou flutuar ou pra dissolver?*

AMÉLIA: *Também. Nos dois.*

AP: *Mas por que o giz, na hora que afunda, ele não dissolve?*

AMÉLIA: *Porque a densidade dele não é parecida, não é perto da água.*

(A professora lembra dos dados de densidade do suco e do giz, trazidos na aula passada.)

AMÉLIA: *Então só tem a ver com interação.*

(A assistente de pesquisa informa os valores de densidade da gasolina.)

AMÉLIA: *Por isso que a gasolina e o álcool se misturaram.*

AP: *E 0,8 é próximo ou distante de 1? Pensando em álcool-água, gasolina-água. Você acha esse diferença significativa?*

AMÉLIA: *Sim.*

AP: *De 0,2? Veja: um é 1,0 e o outro 0,8, a diferença é 0,2.*

AMÉLIA: *E a do álcool e da água?*

AP: *A gasolina a gente pode pensar como 0,7; o álcool como 0,8 e a água 1,0.*

AP: *Pensando na escala da reta, você acha números muito distantes 0,7, 0,8 e 1,0?*

GILBERTO: *Não!*

PROF<sup>a</sup>: *São todos números próximos.*

AMÉLIA: *Próximos.*

PROF<sup>a</sup>: *Pensando nisso, se a densidade são números que não são muito diferentes, e na outra possibilidade que vocês tinham explicado, que vocês estavam usando interação...*

AMÉLIA: *Mas é maior. Da gasolina para a água, uma tem 0,7 a outra tem 1,0. É 0,3 a diferença. Então água e álcool, eles misturaram, a diferença é 0,2.*

AP: *Com diferença de 0,2 o que aconteceu?*

AMÉLIA: *Dissolveu.*

AP: *E 0,2 é muito diferente de 0,3?*

GILBERTO: *Não, só 0,1 de diferença.*

AMÉLIA: *Hii! Então lascou! Agora não sei.*

AP: *Vamos continuar, estou acompanhando seu raciocínio. Agora vamos para a outra: qual foi o terceiro sistema?*

AMÉLIA: *0,7 e 0,8 que dá 0,1 de diferença.*

AP: *Então as diferenças são 0,3; 0,2 e 0,1. Só pensando em números.*

AMÉLIA: *Ahá! Agora eu entendi! Não significa que todos materiais apesar deterem densidades aproximadas se misturam. Se tiver uma densidade diferente, eles vão ficar igual a ... a gente não vê nem a água, nem o álcool, às vezes ele pode estar separado. Ou já tá comprovado que eles estão juntos?*

(...)

AP: *Isso aqui é uma coisa única (referindo-se a uma fase única).*

AMÉLIA: *Eu entendi que ela quis dizer que não é por ter densidade próxima que vai misturar.*

(...)

AP: *Então o que determina pra você uma coisa dissolver na outra ou não é a densidade?*

AMÉLIA: *Não. É a interação.*

Em seguida, apareceu mais uma concepção alternativa: a de que o etanol teria dissolvido por ter sido agitado. Isto levou a professora a fazer mais um teste empírico para embasar a nova discussão. Tal discussão foi muito rica, pois além de elucidar o papel da agitação e a não influência da densidade na dissolução, permitiu que os estudantes concluíssem que uma mesma substância pode ter comportamentos diferenciados conforme o tipo de interação que estabelece com outra substância. A transcrição completa desse diálogo é apresentada a seguir.

AP: *A interação aqui foi forte ou fraca, do álcool com a água?*

GILBERTO: *Foi forte.*

AP: *Por que foi forte?*

GILBERTO: *Mexeu tanto que eles acabaram misturando.*

AP: *É determinado então pelo mexeu? A professora mexeu muito ou só despejou?*

PROF<sup>a</sup>: *Esse aí, depois eu mexi... vocês chegaram a reparar antes de eu mexer?*

(Silêncio. A professora repetiu o experimento sem agitação.)

PROF<sup>a</sup>: *Antes de mexer, tá dando pra ver separado igual da água e da gasolina?*

AMÉLIA: *Não. Mas acho que eu estou errada.*

AP: *Por quê?*

AMÉLIA: *Porque este daqui misturou ó, era um amarelo e um incolor (falando de gasolina e etanol).*

PROF<sup>a</sup>: *Mas esse daqui não é água e etanol, é gasolina e etanol.*

AP: *Mas é isso que ela 'tá' falando.*

AMÉLIA: ...uma maior e a outra menor.

AP: Ela está falando o seguinte: que ela não está conseguindo enxergar duas coisas aqui. Se isso fosse verdade, onde o álcool estaria?

AMÉLIA: Embaixo.

AP: O álcool embaixo e a gasolina em cima. E no entanto, você está enxergando isso aqui?

AMÉLIA: Não.

AP: Não. E aí, pensando... porque você falou “eu ‘tô’ errada!”?

AMÉLIA: Porque eu não ‘tô’ vendo. Então aqui também deve ‘tá’ misturado.

PROFª: Então você tem uma evidência de que isso pode ter acontecido aqui (apontando para o etanol e gasolina). E isto te leva a concluir o quê? Em relação a dissolver ou não dissolver. Porque o que a gente quer, no final das contas, é saber qual argumento é mais coerente pra vocês.

AMÉLIA: Então que eu acho que o álcool interage com outras substâncias, ao contrário da água e da gasolina.

PROFª: E aqui (referindo-se aos testes realizados) o álcool interagiu...

AMÉLIA: ...com as duas. Com a gasolina e com a água. Mas a água não interagiu com a gasolina.

AP: E a questão da densidade que estava sendo colocada...

AMÉLIA: Eu acho que não tem nada a ver não...

**4.9. O álcool se dissolve em água porque interage com a água. (1.T)**

**4.10. O álcool se dissolve em gasolina porque interage com a gasolina. (1.T)**

**4.11. A gasolina não se dissolve em água porque não interage com ela. (1.T)**

Para finalizar a discussão, a assistente de pesquisa pediu que Gilberto avaliasse o argumento de Amélia com o intuito de saber se, para eles, aquelas ideias eram consensuais:

AP: Gilberto, quando eu perguntei ‘pra’ Amélia o que faria mais sentido ‘pra’ ela, se era o argumento da interação, o argumento da densidade ou as duas coisas juntas, ela chegou numa ideia. Depois que a gente colocou o álcool na água e que ela observou a gasolina e o álcool, ela falou assim: “eu acho que é coerente falar em termos da interação e não da densidade, porque a densidade é diferente e eu ‘tô’ vendo uma coisa só, eles tinham cores diferentes, eu não ‘tô’ vendo separado. Então eu acho que a interação é que determina isso”. Eu quero saber o que você pensa desse argumento da Amélia?

GILBERTO: Será que é interação ali? Mas se tiver separado, o nosso do suco está errado. Então se ia ter interação e misturar, porque não ia misturar se tem interação?

AP: Ela falou que misturava ou não misturava?

AMÉLIA: Mistura.

AP: *E o do suco?*

AMÉLIA: *Misturou.*

AP: *Então é diferente o do suco e este daqui?*

GILBERTO: *Não, dos dois era de cor diferente e não dava pra ver se está misturado ou se não está misturado. Não dá pra ver se não está misturado.*

AMÉLIA: *Mas, percebe uma coisa: aqui é gasolina com álcool, aqui é gasolina pura por cima e a água que é da mesma cor do álcool. Mas aqui (referindo-se ao sistema etanol e gasolina) 'tá' mais claro que ali (referindo-se à gasolina).*

AP: *Qual era a cor do álcool?*

AMÉLIA: *Branco. Incolor.*

AP: *E da gasolina?*

AMÉLIA: *Mais amarela.*

AP: *E o que aconteceu aqui?*

AMÉLIA: *Acho que dissolveu, misturou.*

AP: *Que evidência você tem para isso?*

AMÉLIA: *A interação.*

GILBERTO: *A cor.*

AMÉLIA: *A cor ficou mais clara.*

AP: *Então para você qual é o argumento mais plausível?*

GILBERTO: *Interação!*

**4.12. O modelo da interação é mais plausível do que o da densidade porque ele explica a dissolução, pois ele explica as cores dos sistemas. (3.T-E-P)**

## Discussão

O estudo de caso evidencia que os estudantes elaboraram vários argumentos durante toda a aplicação da unidade didática sobre dissolução. Como mencionado anteriormente, tal unidade didática foi planejada e posteriormente reformulada com base no DMM, de modo que os estudantes pudessem vivenciar todas as quatro etapas propostas (Elaboração, Expressão, Teste e Identificação de abrangência e limitações de modelos).

Para melhor visualizar os argumentos elaborados pelos estudantes no contexto em questão, construímos o quadro 1. Nele apresentamos os argumentos na ordem cronológica e numerados através do código q.x., onde q é o número da questão

que estava sendo trabalhada quando o argumento foi expresso e  $x$  é o número de ordem do argumento. Neste quadro, também identificamos a(as) etapa(s) da modelagem que os estudantes estavam vivenciando quando expressaram tal argumento. É importante salientar que, em função do dinamismo da modelagem e de idiosincrasias do processo de aprendizagem dos estudantes, as etapas identificadas não são necessariamente as etapas que tínhamos em mente quando do planejamento de cada atividade. Para mapearmos o assunto sobre o qual os estudantes estavam argumentando, identificamos os temas de cada argumento, tanto da afirmativa quanto da(s) justificativa(s) que os compunham. Ainda com o objetivo de perceber o “movimento” destes argumentos, marcamos os temas idênticos com a mesma cor e usamos tons semelhantes para temas relacionados entre si. Por exemplo, toda vez que o tema foi identificado como dissolução ou não dissolução, seja do giz, do pó de suco ou de qualquer outro material, a célula do quadro 1 foi colorida de verde; para características do modelo cinético molecular foram usados tons de laranja; para temas relacionados à interação, tons de rosa; e assim por diante. Temas que apareceram uma única vez foram deixados em branco.

Outra informação visualizada no quadro 1 se refere à classificação dos argumentos. Essa classificação foi realizada com base no Instrumento de Análise de Argumentos Científicos Curriculares proposto por Mendonça e Justi (2014), discutido no capítulo de Metodologia, assim como nas modificações introduzidas no mesmo.

ARGUMENTO	CLASSIFICAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
1.1. O giz afunda quando colocado na água, pois é mais denso do que ela.	1.T	Experiências com o alvo (elaboração de previsão)	Densidade	Densidade
1.2. O pó de suco dissolve em água porque tem densidade parecida com a da água.	1.T		Dissolução	Densidade
1.3. O giz não é solúvel porque sua densidade é bem maior do que a da água.	1.T		Dissolução	Densidade
1.4. Quando o giz é colocado em água, o ar de seus poros sai e a água entra, pois o ar é menos denso do que a água.	1.T	Experiências com o alvo (evidências empíricas)	Porosidade do giz	Densidade
1.5. O giz permaneceria duro quando retirado da água, pois sua estrutura não seria afetada pela entrada de água nele.	1.T		Estrutura do giz	Estrutura do giz
1.6. O giz pode ter dissolvido na água, pois diminuiu de tamanho.	1.E		Dissolução do giz	Diminuição de tamanho
1.7. O giz dissolveu porque existem farelos no fundo do bécquer.	1.E		Dissolução do giz	Resíduos no recipiente
1.8. O giz não dissolveu porque os farelos são os pedacinhos que foram removidos dele.	1.E		Não dissolução do giz	Resíduos no recipiente
1.9. O giz não dissolveu porque não virou pó no fundo.	1.E		Não dissolução do giz	Resíduos no recipiente
1.10. O pó de suco foi dissolvendo quando entrou em contato com a água, pois os corantes que o constituem deixaram rastros de cor do topo do bécquer até o fundo.	1.E		Dissolução do pó de suco	Rastros de cor
1.11. O pó de suco dissolve parcialmente quando colocado na água porque fica pozinho no fundo, que só se dissolve sob agitação.	2.E-E		Dissolução do pó de suco	Resíduos no recipiente Agitação
1.12. O pó de suco dissolveu totalmente porque houve agitação.	1.E		Dissolução do pó de suco	Agitação
1.13. Se o giz saísse branco de dentro da solução de suco de uva, ele estaria cheio de água, pois não haveria mais espaço para o suco entrar.	1.E		Cor do sistema	Porosidade do giz
1.14 - O giz ficou arroxeadado porque o suco entrou nos seus poros.	1.E	Cor do sistema	Porosidade do giz	



ARGUMENTO	CLASSIFI- CAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
2.1. Os palitinhos servem para segurar as bolinhas, pois representam a estrutura do giz.	1.R	Elaboração e expressão de $M_1$ e $M_2$	Estrutura do giz	Estrutura do giz
2.2 - O grão do pó do suco vai dissolvendo, pois suas partículas de corantes vão se separando e misturando com as partículas de água.	2.T-E*	Elaboração e expressão de $M_3$ , $M_4$ e $M_5$	Dissolução do pó de suco	Separação das cores
				Mistura das partículas de corantes e água
2.3. As partículas são coloridas porque senão o sistema não seria colorido.	1.T	Condução de experimento mental	Cor das partículas	Cor do sistema
2.4. As partículas de água têm movimento e estão desorganizadas porque a água é líquida.	1.T*	Elaboração e expressão de $M_6$ e comparação com $M_4$	Movimento / organização de partículas	Estado líquido
2.5. As partículas do pó do suco não têm movimento e estão organizadas porque este está no estado sólido.	1.T*		Movimento / organização de partículas	Estado sólido
2.6. As partículas do sólido não têm muito movimento, porém, quando o sólido entra em contato com a água e dissolve, suas partículas passam a ter movimento, pois ele estará no estado líquido.	1.T	Condução de experimento mental	Dissolução	Movimento de partículas
2.7. A dissolução se deve à passagem de estado físico de sólido para líquido (no caso do suco) devido ao movimento de suas partículas quando em contato com a água.	2.T-E		Dissolução	Movimento de partículas no estado líquido
			Mudança de estado físico	Dissolução
2.8. A água provoca a fusão porque dissolve o pó.	1.E		Mudança de estado físico	Dissolução
2.9. As partículas do suco se separam quando colocadas em água, pois a água diminui o vácuo que há entre as partículas do suco.	1.T*	Condução de experimento mental e reformulação de $M_4$ em $M_4'$ , $M_4''$ e $M_4'''$	Separação de partículas	Vácuo entre partículas
2.10. As partículas de água ficam entre as partículas do pó de suco, pois nele existem poros.	1.T*		Entrada de água entre partículas de soluto	Espaços vazios
2.11. O pó de suco dissolveu na água, pois as partículas de água são menores que as do pó de suco.	1.T*		Dissolução do pó de suco	Tamanho de partículas

ARGUMENTO	CLASSIFICAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
2.12. A água vai entrar no meio das partículas do grão de suco, separando-as, pois têm mais vácuo entre as partículas do grão.	1.T*	Defesa de M <sub>4</sub> ' e M <sub>4</sub> ''	Entrada de água entre partículas de soluto	Vácuo entre partículas do soluto
2.13. A água entra no giz porque existem poros preenchidos com ar entre suas partículas e o ar sai.	2.E-E	Experiência com o alvo	Entrada de água no giz	Porosidade do giz
				Saída de ar
2.14. O giz não se dissolve em água porque é mais denso do que ela.	1.T	Refutação de M <sub>4</sub> ''' e elaboração de M <sub>7</sub>	Não dissolução do giz	Densidade
2.15. O pó de suco se dissolve em água porque sua densidade é próxima à da água.	1.T		Dissolução do pó de suco	Densidade
2.16. Giz e pó de suco se comportam diferentemente quanto à dissolução em água, pois são constituídos por diferentes substâncias.	1.T	Refutação de M <sub>7</sub> e Elaboração de M <sub>8</sub>	Dissolução do pó de suco e do giz	Constituição dos materiais
2.17. A água separa o suco e não o giz porque no giz tem mais vácuo do que no suco.	1.T	Experiência com o alvo	Dissolução do pó de suco e do giz	Vácuo entre partículas do soluto
			Espaços vazios	Estado sólido
2.18. Os espaços vazios no pó de suco e no giz são iguais porque os dois são sólidos.	1.T			
2.19. O pó de suco se dissolve na água e o giz não se dissolve porque eles são substâncias diferentes.	1.T	Defesa de M <sub>8</sub>	Dissolução do pó de suco	Constituição dos materiais
2.20. Triturar o giz o torna solúvel em água porque a solução se torna branca.	1. E	Condução de experimentos mentais e de testes empíricos	Dissolução do giz	Cor do sistema
2.21. O giz triturado se dissolve em água porque se encontra na forma de pó.	1.E		Dissolução do giz	Forma de apresentação do soluto
2.22. O suco se dissolve na água e o giz não porque suas partículas são menores do que as do giz e conseguem entrar nos espaços da água.	2.T-T		Dissolução do pó de suco e do giz	Tamanho de partículas
			Ocupação de espaços vazios	

ARGUMENTO	CLASSIFI- CAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
2.23. O giz não se dissolve na água, ao contrário do pó de suco, pois aquele não muda de estado físico quando colocado na água.	1.E		Dissolução do pó de suco e do giz	Mudança de estado físico
3.1. O pó de suco dissolve quando colocado na água, mesmo sem agitação, pois as partículas de água já têm agitação.	1.T*	Conclusão dos testes: M <sub>3</sub> ' atinge objetivo parcialmente	Dissolução	Movimento de partículas no estado líquido
			Agitação	
3.2. As partículas do suco dissolvidas na água não voltam para o fundo, pois as moléculas de água estão em constante movimento.	1.T*		Dissolução do pó de suco	Movimento de partículas no estado líquido
3.3. No estado sólido, as partículas se movimentam pouco porque o espaço entre elas é pequeno.	1.T*	Condução de experimentos mentais e elaboração do Modelo de Interação (M <sub>9</sub> )	Movimento de partículas no estado sólido	Espaços vazios
3.4. O pó de suco dissolve na água, pois a interação entre as partículas do suco e da água é mais forte do que a interação entre as partículas do suco entre si.	2.T-T		Dissolução do pó de suco	Interação entre partículas
				Interação entre partículas
3.5. O giz não dissolve na água, pois não ocorre interação entre as partículas de água e giz.	1.T		Dissolução do giz	Interação entre partículas
3.6. Uma substância se dissolve na outra porque suas partículas interagem.	1.T	Dissolução	Interação entre partículas	
3.7. A dissolução ou não de um material depende da interação entre suas partículas e das cargas elétricas que elas possuem, pois cargas iguais se atraem e cargas diferentes se repelem.	2.T-T	Recapitulação e reformulação de M <sub>9</sub> em M <sub>9</sub> '		Presença de cargas elétricas
				Interação
3.8. O pó de suco se dissolve na água, pois os corantes se misturam porque suas partículas são pequenas e entram no meio das partículas de água por causa do movimento dessas últimas.	2.E.T-T-T		Dissolução do pó de suco	Tamanho de partículas
				Movimento de partículas no estado líquido
				Entrada de partículas de soluto entre as de água
				Cor do sistema

ARGUMENTO	CLASSIFICAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
3.9. O giz não se dissolve em água porque suas partículas não se misturam totalmente com as de água, pois as partículas de água não entram em todos os espaços das partículas do giz.	2.T-T	Experiência com o alvo	Não dissolução do giz	Não ocorrência de “mistura” de partículas
				Entrada de água entre partículas do giz
3.10. O suco se dissolve porque seus grãos são feitos de partículas de corante que, por sua natureza, se separam quando em contato com a água.	2.T-T		Dissolução do pó de suco	Separação de partículas
				Constituição dos materiais
3.11. O suco se dissolve na água porque suas partículas englobam as de água, uma vez que o suco dá cor à água.	2.T-E	Modificação e refutação do Modelo de Englobamento	Dissolução	Englobamento de partículas
				Cor do sistema
3.12. O modelo do englobamento está errado porque não é possível uma partícula de água englobar uma de suco, isto não é real!	2.T-T		Modelo de Englobam. de partículas	Englobam. de partículas
3.13. Nosso modelo é melhor porque o outro (água englobando suco) não explica o sistema ser colorido. O nosso explica a interação entre as partículas e, conseqüentemente, a cor do sistema.	3.T-E-P	Defesa do M <sub>9</sub>	Modelo de interação	Cor do sistema
				Interação entre partículas
3.14. O nosso modelo é melhor porque partículas sempre interagem umas com as outras; elas não englobam umas às outras.	3.T-T-P		Modelo de interação	Interação entre partículas
				Englobam. de partículas
3.15. O outro modelo não explica porque uma partícula não é uma célula que tem membrana para envolver alguma coisa; uma partícula só interage com outra.	3.T-T-P	Refutação do Modelo do Englobamento	Dissolução do pó de suco	Partícula não é célula
				Interação entre partículas
3.16. O nosso modelo é melhor porque partícula não tem vida, não come outras; partículas se misturam porque interagem.	3.T-T-P		Modelo de interação	Interação entre partículas
				Partícula não tem vida
				Partícula não come outras partículas

ARGUMENTO	CLASSIFICAÇÃO	ETAPA DA MODELAGEM	TEMA DO ARGUMENTO	
			AFIRMATIVA	JUSTIFICATIVA
4.1. Água e gasolina não se misturam, pois têm densidades diferentes.	1.T	Verificar as abrangências e limitações do $M_9'$	Dissolução de água e gasolina	Densidade
4.2. Na região da interseção entre água e gasolina ocorre uma repulsão elétrica, pois elas não se misturam, o sistema fica meio esbranquiçado.	2.T-E		Repulsão elétrica	Não dissolução de água e gasolina Cor do sistema
4.3. O etanol se dissolve na água porque quando eles entram em contato, suas partículas ficam menos organizadas, se movimentam mais e interagem com as de água.	2.T-T-T	Condução de experimento mental	Dissolução do etanol	Organ. de partículas
				Movim. de partículas
				Interação de partículas
4.4. Água e etanol se misturam, pois possuem densidade aproximada.	1.T	Defesa de $M_7$	Dissolução	Densidade
4.5. Gasolina e água não se misturam, pois possuem densidades bem diferentes.	1.T		Dissolução	Densidade
4.6. A densidade do sistema água-etanol é mais próxima da densidade do etanol, pois a quantidade de etanol colocada é maior que a da gasolina.	1.T	Experiência com o alvo	Densidade de misturas	Relação soluto/solvente
4.7. O giz não se dissolve em água porque sua densidade é maior do que a da água.	1.T	Defesa de $M_7$	Dissolução do giz	Densidade
4.8. O pó de suco se dissolve em água porque sua densidade é próxima à da água.	1.T		Dissolução do pó de suco	Densidade
4.9. O álcool se dissolve em água porque interage com a água.	1.T	Refutação de $M_7$ e defesa de $M_9'$	Dissolução do álcool	Interação de partículas
4.10. O álcool se dissolve em gasolina porque interage com a gasolina.	1.T		Dissolução do álcool	Interação de partículas
4.11. A gasolina não se dissolve em água porque não interage com ela.	1.T		Dissolução da gasolina	Interação de partículas
4.12. O modelo da interação é mais plausível do que o da densidade porque ele explica a dissolução, pois ele explica as cores dos sistemas.	3.T-E-P	Defesa de $M_9$ e refutação de $M_7$	Modelo de interação	Dissolução
				Cores do sistema

Quadro 1. Análise dos argumentos elaborados por estudantes sobre dissolução no contexto de ensino baseado em modelagem.

### *Aspectos Ligados à Modelagem*

Durante a aplicação da unidade didática sobre dissolução, os estudantes elaboraram 14 modelos. No contexto deste trabalho, oito modelos podem ser classificados como concretos ( $M_1, M_2, M_3, M_3', M_4, M_4', M_5, M_6$ ), por terem sido construídos com bolinhas de isopor de diferentes tamanhos e/ou cores. Os outros seis modelos ( $M_4'', M_4''', M_7, M_8, M_9, M_9'$ ) podem ser classificados como verbais, por se tratarem de descrições das entidades e das relações entre elas em uma representação. Este resultado é incomum, pois a literatura reconhece que, no contexto de Ensino de Química, os modelos mais frequentes são os concretos, visuais e simbólicos (Gilbert, 2005).

Neste estudo, não encontramos modelos visuais e simbólicos, o que pode ser justificado pelo fato de a professora priorizar as discussões orais em detrimento das atividades escritas (nas quais os alunos teriam mais oportunidades de representar seus modelos através de desenhos, por exemplo) e pelo fato de os fenômenos e materiais utilizados, principalmente nas três primeiras atividades, serem comuns no cotidiano (o que pode ter contribuído para que os modelos verbais fossem entendidos pelos alunos sem necessidade de outras formas de representação). Embora não tenham sido propostos modelos gestuais, não podemos deixar de observar que gestos foram usados para “ajudar” na descrição de determinadas características do modelo. Isto aconteceu, por exemplo, na atividade 4, quando Gilberto tentou mostrar com o movimento das mãos que as partículas têm movimento.

Para criar modelos, além de toda vivência prévia e da criatividade, os estudantes precisam ter contato com o “alvo” a ser modelado, seja na forma teórica ou empírica. Para tanto, na atividade 1, os estudantes deveriam fazer previsões antes de realizar testes empíricos e, posteriormente, comparar suas previsões com os dados obtidos a partir dos testes. Essa dinâmica permitiu que os estudantes tivessem acesso a fenômenos, dados e informações relevantes para dar suporte ao processo de elaboração de modelos. Além disso, permitiu que a professora e a assistente de pesquisa identificassem algumas concepções prévias dos estudantes sobre o tema em estudo,

como a que atribui à diferença de densidade a causa de o soluto não se combinar com o solvente (Ebenezer & Erickson, 1996; Kind, 2004). Esta explicação da dissolução baseada na densidade (identificada em roxo no quadro 1) pode ser percebida ao longo dos três encontros realizados: na atividade 1, ainda na fase de previsão; na atividade 2, por ocasião da proposição do modelo  $M_7$  e posteriormente, quando da (aparente) refutação do mesmo ocorrida durante a condução de testes empíricos e mentais. Tal refutação pode ser entendida como aparente, pois, mesmo após a elaboração do Modelo de Interação – modelo muito próximo do modelo curricular almejado – ao final do segundo encontro, os estudantes voltaram a defender  $M_7$  durante a atividade 4, no último encontro.

A participação em atividades como as fundamentadas em modelagem favorece o acesso do professor às concepções dos estudantes e permite que ele explore tais ideias de modo a favorecer o processo de ensino e aprendizagem. Assim, a professora e a assistente de pesquisa, ainda na atividade 1, após os testes empíricos, tiveram acesso a outras concepções dos estudantes relativas ao processo de dissolução, como o acúmulo de soluto no fundo do recipiente e as explicações apoiadas nos aspectos perceptíveis do processo (diminuição do soluto, cor, agitação), como relatado por Carmo e Marcondes (2008).

O engajamento dos estudantes nas atividades de modelagem pode ser percebido, por exemplo, pela proposição de testes empíricos por eles próprios, o que serviu para um melhor contato com o alvo e para proporcionar espaços para novas discussões. Não podemos deixar de relatar o importante papel da professora nesses momentos ao solicitar que os estudantes explicitassem as hipóteses que embasavam os testes empíricos propostos pelos alunos. Esta postura foi fundamental para a compreensão das ideias que fundamentavam seus modelos e para a reformulação dos mesmos. Assim, no contexto da aplicação da unidade didática sobre dissolução, os estudantes apresentaram a habilidade de propor tais testes e de “rodar” seus resultados antes de sua execução (como o que ocorreu quando eles pediram para retirar o giz dentro da água para verificar sua estrutura e quando pediram para colocar o giz dentro do suco de uva). A professora aproveitou a execução destes testes empíricos para

utilizar as novas evidências para discutir e relacionar algumas ideias, como dissolução, acúmulo de sólido no fundo do recipiente, papel da agitação e entrada de água nos poros do giz.

Na atividade 2, cujos objetivos envolviam a produção e expressão de modelos, podemos afirmar que os estudantes tinham um objetivo definido: propor um modelo capaz de explicar a dissolução ou não de diferentes materiais em água. Além disso, naquele momento eles tiveram experiências empíricas (a observação dos sistemas giz e água e pó de suco e água) e consideraram experiências prévias – teóricas e empíricas (como aquelas vivenciadas em sala de aula durante o estudo das características gerais dos materiais e do modelo de partículas com o objetivo de explicar as propriedades específicas dos materiais). A partir das mesmas, eles iniciaram simultaneamente a elaboração e a expressão do modelo. Entendemos que esses processos ocorreram simultaneamente, pois foi a partir do modelo concreto que representava ideias iniciais ( $M_1$ ) que eles começaram a dar significado àquela representação, elaborando o modelo ( $M_2$ ) colaborativamente. Isto reforça nossa crença inicial de que atividades fundamentadas em modelagem são muito importantes para o processo ensino-aprendizagem, pois, como defende Vosniadou (2002), os estudantes aprendem mais ao construir e manipular modelos do que apenas em observá-los.

Ao modelar o sistema 2 (água e pó de suco), os estudantes propuseram  $M_3$  e, para explorar melhor as ideias dos mesmos acerca desse modelo, a professora os estimulou a refletir e a fazer simulações com modelos concretos em diferentes situações (por exemplo, para o pó de suco no estado sólido, para o pó de suco dissolvido na água e para a água, o que resultou, respectivamente nos modelos  $M_4$ ,  $M_5$  e  $M_6$ ). Ao propor tais modelos, os estudantes recorreram a alguns aspectos do modelo cinético molecular, como movimento, organização e distância entre partículas para diferentes estados físicos, ou seja, eles conseguiam lidar com aspectos submicroscópicos da matéria.

Porém, ao propor  $M_5$ , os estudantes focaram em uma característica macroscópica: a cor. Assim, percebemos como essa característica pode ter sido entendida pelos estudantes como uma forte evidência da ocorrência de uma dissolução.



Além disso, é possível perceber outra concepção dos estudantes: a de que propriedades macroscópicas, como a cor, sejam estendidas para o nível submicroscópico. Isto ficou claro quando um deles afirmou que “a cor está nas partículas senão não teria cor por fora”. Este dado é compatível com os resultados obtidos por Ebenezer e Erickson (1996) em seu estudo para identificar concepções de estudantes secundários sobre o fenômeno da solubilidade, no qual são identificadas várias situações em que eles estendem propriedades macroscópicas para o nível submicroscópico. Carmo e colaboradores (2005), ao estudarem a evolução das concepções de estudantes do ensino médio sobre alguns conceitos envolvendo o tema solução e o processo de dissolução, também apontam que os estudantes, em geral, fornecem explicações macroscópicas aos conceitos relacionados à solução. As autoras atribuem esta tendência ao fato de os estudantes serem influenciados pelos aspectos observáveis e pelas experiências que vivenciaram em seu cotidiano. Em nosso estudo, ao conduzir uma longa discussão relativa à cor dos materiais, a assistente de pesquisa destacou para os estudantes que esta propriedade, captada pela nossa visão, só pode ser percebida no nível macroscópico, e que no nível submicroscópico, não acessível à nossa visão, as partículas podem diferir umas das outras, mas não pela cor. Desse modo, a professora e a assistente de pesquisa concluíram que a cor não é uma característica presente nas partículas. Este aspecto foi levado em conta pelos alunos e o modelo  $M_5$  foi abandonado.

Quando a assistente de pesquisa e a professora pediram para os estudantes compararem os modelos  $M_4$  e  $M_6$ , foi possível verificar outra concepção relatada na literatura: o entendimento da dissolução como uma transformação física de sólido para líquido (Ebenezer & Erickson (1996), Kind (2004), Carmo & Marcondes (2008)). Tal concepção parece ser reforçada, tanto pelos aspectos macroscópicos observados (“Passa de sólido para líquido”), quanto pelo entendimento da dinâmica das partículas no estado sólido e no líquido (“Aí no estado sólido não tem muito movimento (referindo-se às partículas). Na hora que ele entrar na água, aí ele vai dissolver e entrar no estado líquido, aí ele vai ter movimentação”). Como a professora não aprofundou a discussão neste ponto, os estudantes não perceberam anomalia nos dados, ou seja, não perceberam

que dissolução e fusão são processos diferentes e, provavelmente por isso, não houve nenhuma reformulação de modelo quanto a este aspecto.

Dois aspectos relativos à dinâmica de aplicação dessa unidade didática sobre dissolução devem ser salientados: (i) a ausência, em algumas atividades, de outros grupos de estudantes, para que os mesmos socializassem seus modelos e trocassem ideias, dando contribuições para que os modelos pudessem ser modificados ou até mesmo refutados; (ii) a atuação da professora e da assistente de pesquisa com muito mais proximidade dos alunos, em relação a uma situação de sala de aula regular, onde o professor precisa interagir com vários grupos. Este segundo aspecto possibilitou, por exemplo, que a professora e a assistente de pesquisa favorecessem a condução de vários testes mentais para os modelos propostos, a partir das questões elaboradas ao longo da atividade 2. Estes testes foram essenciais tanto para o entendimento acerca das ideias que sustentavam tais modelos quanto para que os próprios estudantes tomassem consciência das potencialidades e limitações de seus modelos.

Assim, para responder a questão da professora “por que as partículas do pó de suco se separam quando colocadas em água?”, os estudantes construíram o modelo  $M_4'$  que tentava justificar a separação das partículas do pó de suco em água pela presença de vácuo. Não tendo obtido um resultado positivo com este teste empírico, Ricardo e Bernardo propuseram, quase ao mesmo tempo, os modelos  $M_4''$  e  $M_4'''$ . Tais modelos buscavam responder essa questão através das ideias de poro e do tamanho de partícula, respectivamente. Apesar de o estudante usar o termo relativo a uma propriedade macroscópica (poro), entendemos, pelo contexto apresentado, que ele pretendia fazer menção a espaços vazios. Após a proposição das ideias que sustentavam os modelos  $M_4''$  e  $M_4'''$ , a professora iniciou uma discussão no sentido de contrapor as ideias de poros e espaços vazios. Desse modo, a discussão acabou não contemplando as ideias de Bernardo referentes ao  $M_4'''$ .

Em seguida, Bernardo refutou o modelo proposto por ele anteriormente ( $M_4'''$ ) e elaborou um novo modelo ( $M_7$ , não expresso no modo concreto) baseado na densidade que foi prontamente aceito pelo grupo. A base deste modelo não parece ter

semelhança alguma com os modelos propostos anteriormente, ou seja, ele não parece estar ancorado em aspectos submicroscópicos da matéria que estavam sendo discutidos. Para refutar tal ideia, a professora propôs novos testes empíricos, retomou discussões anteriores, reforçou aspectos discutidos e trouxe novos dados para a discussão. Desse modo, ela conseguiu criar situações didáticas em que os estudantes tiveram que explicar seus modelos e crenças, justificando-os junto a seus pares e professores, compreendendo suas limitações e buscando superá-las (Aguilar Jr. & Mortimer, 2005).

Dessa forma, os estudantes não conseguiram usar  $M_7$  adequadamente para explicar os novos dados e por isso, propuseram outro modelo,  $M_8$  (também não expresso no modo concreto), que pretendia explicar a dissolução com base na constituição dos materiais.

Nesse contexto, a professora recorreu aos materiais concretos, pedindo novamente aos estudantes que fizessem simulações para o que ocorre entre as partículas. A nosso ver, provavelmente a professora agiu assim por perceber que isto favoreceria condições adequadas para o desenvolvimento dos conceitos. Desta maneira,  $M_4$ , modelo baseado em aspectos submicroscópicos da matéria, foi retomado e os modelos  $M_7$  e  $M_8$ , foram abandonados. Mas, mesmo assim, os estudantes não conseguiram responder adequadamente a questão colocada pela professora anteriormente e recorreram às mesmas ideias mencionadas e discutidas, como cor, mudança de estado físico, “encaixe” e tamanho de partícula. Tal retomada é claramente visualizada no quadro 1, pelo reaparecimento, na atividade 2, das cores azul claro, cinza, azul escuro e marinho (que identificam cada uma dessas ideias).

Assim, a ação da professora foi fundamental na condução dessas atividades, pois ela não adotou uma abordagem simplista e tradicional, como o padrão iniciação-resposta-avaliação (I-R-A), em que o professor inicia normalmente por meio de uma pergunta, o aluno responde, e o professor avalia a resposta. Seu objetivo esteve sempre focado no processo vivido pelos estudantes e não na enunciação de respostas corretas.

A atividade 3, que previa a fase de teste para o modelo, parece ter dado subsídios para que os alunos ampliassem a discussão do modelo quanto a outros

aspectos do modelo cinético molecular. Nela, a professora retomou o modelo  $M_4'$  para que os estudantes tentassem explicar a nova situação observada: a dissolução do pó de suco sem agitação. Ao propor uma primeira explicação, eles recorreram a uma das características do modelo cinético molecular: o movimento das partículas. Em seguida, ao conduzir mais um experimento empírico, a professora indagou o porquê de as partículas de suco não voltarem para o fundo do recipiente após a dissolução (Mozzer, 2013). Os estudantes apontaram o movimento das partículas como responsável por esse fenômeno. Assim, pela primeira vez na aplicação dessa unidade didática, um modelo conseguiu responder positivamente a um teste de condução de experimento mental, mesmo que parcialmente.

A partir deste teste e das questões geradoras que o seguiram, a professora criou uma situação adequada para que os estudantes mobilizassem os conhecimentos prévios e a criatividade, permitindo que eles pudessem avançar nas discussões propostas. Então, os estudantes passaram a usar as características do modelo cinético-molecular de forma mais integrada, possibilitando que eles selecionassem a característica fundamental para o modelo científico curricular almejado: o modelo baseado na interação entre as partículas da solução.

Dessa forma, os estudantes conseguiram sofisticar as explicações propostas para os fenômenos estudados sem necessariamente modificar o modelo concreto  $M_4'$  proposto por eles anteriormente. Ao incrementar as ideias que sustentavam este modelo, os estudantes elaboraram um novo modelo,  $M_9$ , identificado como Modelo da Interação (MI) com maior e melhor capacidade de prever e de explicar fenômenos relacionados à dissolução ou não de diferentes materiais.

Este fato reforça o que Blanco e Prieto (1997) sugeriram nas implicações para o ensino de seu estudo focado na visão dos estudantes sobre como fatores externos afetam o processo de dissolução de um sólido em um líquido. Estas autoras recomendam a introdução e o uso do modelo cinético molecular nas aulas de ciências, desenvolvendo ideias de movimento e interação, pois esse conhecimento prévio é muito importante para que os estudantes entendam bem como ocorre o processo de dissolução.

Nakhleh (1992) afirma que os estudantes conseguem aprender um conceito químico quando conseguem explicá-lo no nível atômico molecular. Logo, a ação da professora em estimular os estudantes a compreender o processo da dissolução deste ponto de vista parece ter contribuído para a aprendizagem dos mesmos.

Ao finalizar o segundo encontro, a professora reforçou mais uma característica da natureza da ciência: o fato de o conhecimento científico ser construído a partir de hipóteses bem fundamentadas e coerentes com os dados disponíveis naquela circunstância. Ela também comparou o trabalho desenvolvido pelos estudantes com o trabalho dos cientistas, uma vez que eles estavam construindo conhecimento com base em hipóteses bem fundamentadas.

No terceiro encontro, a professora solicitou que os estudantes recapitulassem o modelo  $M_9$ , construído por eles no fechamento do último encontro. Durante a simulação, os estudantes reformularam o modelo ao acrescentar a noção de atração e repulsão entre partículas através das cargas elétricas ( $M_9'$ ).

Porém, mesmo após a elaboração de um modelo coerente com os dados disponíveis, com boa capacidade de explicação e de previsão, os estudantes recorreram a ideias que já haviam sido discutidas anteriormente, como constituição dos materiais, “encaixe” e tamanho de partículas, (como evidenciado pela presença de células marrom, azul escuro e marinho na parte referente à atividade 3 no quadro 1). Como havia feito em momentos anteriores, a professora usou dados empíricos e teóricos para tentar refutar essas concepções que não estão de acordo com o conhecimento científico.

Como mencionado anteriormente, nos dois últimos encontros só havia um grupo de estudantes, não sendo possível executar uma prática muito importante nas atividades fundamentadas em modelagem: a socialização e discussão dos modelos propostos pelos alunos. A importância da ocorrência dessas ações reside, principalmente, no fato de elas favorecerem a ocorrência de uma situação na qual os estudantes possam avaliar o modelo alheio, aceitando-o, propondo reformulações ou mesmo refutando-o integral ou parcialmente. Esse movimento também contribui para que os estudantes avaliem seus próprios modelos.

Desse modo, a estratégia utilizada pela professora de trazer para a discussão um modelo para a dissolução dos materiais (supostamente proposto por outro grupo de estudantes) foi muito relevante. Isto permitiu que os estudantes comparassem, explicitamente, dois modelos muito diferentes e decidissem qual deles tinha melhor capacidade de previsão e de explicação para os fenômenos analisados. Ao fazer essa comparação, eles conseguiram perceber, a partir dos questionamentos da professora, que o modelo da interação era mais coerente do que o modelo em que uma partícula engloba outra, pois aquele conseguia explicar melhor os fenômenos observados. Eles também conseguiram perceber que as partículas não têm vida e que, portanto, não teriam uma “capacidade de englobamento”. Em tempo, a diferenciação entre partículas e células é algo importante de ser promovida no ensino, uma vez que esta é uma concepção bastante comum entre estudantes (Fernandez & Marcondes, 2006; França et al., 2009).

A última atividade proposta pretendia propor uma situação completamente nova para que os estudantes pudessem perceber as limitações e abrangências do modelo construído por eles. O experimento proposto envolvia líquidos miscíveis e não miscíveis entre si, ou seja, havia sistemas homogêneos e heterogêneos. Mais uma vez, os estudantes recorreram ao modelo baseado na densidade para explicar o comportamento dos líquidos nos diferentes sistemas. Eles não percebiam nenhuma anomalia em usar o Modelo de Interação, no nível submicroscópico, e usar a densidade para explicar o comportamento macroscópico. A professora e a assistente de pesquisa conseguiram refutar esse modelo, aparentemente de forma mais consistente do que no evento anterior, a partir de uma longa discussão e análise detalhada das densidades dos materiais envolvidos nos sistemas e, especialmente, das diferenças entre os valores dessas densidades.

Assim, ao final das discussões, os estudantes conseguiram perceber que: uma substância pode ter comportamentos diferentes frente à dissolução, dependendo do tipo de interação que faz; e que o Modelo da Interação explica melhor a dissolução ou não de materiais do que os outros apontados anteriormente.

### *Aspectos Ligados à Argumentação*

A análise do estudo de caso evidencia que foram elaborados 14 argumentos na atividade 1. Destes, 5 foram classificados como teóricos, sendo que 3 foram elaborados durante a previsão dos fenômenos ocorridos, ou seja, um contexto em que os estudantes precisariam recorrer a conhecimentos prévios. Exatamente pelo fato de os argumentos estarem embasados em conhecimentos prévios, reconhecemos que algumas classificações dão margem a dúvidas. Por exemplo, quando eles afirmaram que “o giz afunda quando colocado na água, pois é mais denso que ela”, a justificativa foi classificada como um conhecimento teórico dos alunos acerca da densidade. Entretanto, tal justificativa poderia ser fruto de uma experiência empírica prévia dos estudantes.

Na etapa de testes empíricos, os estudantes elaboraram 9 argumentos nos quais manifestavam suas concepções sobre o processo de dissolução, sustentadas por justificativas empíricas. Isto indica que observações empíricas podem desempenhar um papel fundamental na elaboração de novas ideias. Por exemplo, na fase de previsão, os alunos recorreram apenas à densidade para sustentar suas afirmações. Entretanto, quando eles tiveram contato com os testes empíricos, mobilizaram um número maior de justificativas (envolvendo a estrutura e porosidade do giz, a presença de resíduos no fundo do béquer, a separação das cores etc.). Essas justificativas apareceram quase exclusivamente na atividade 1. Porém a cor (marcada no quadro 1 em azul claro) parece ter sido uma evidência importante, pois está presente nas quatro etapas vividas pelos estudantes.

Na atividade 2, proposta para que os estudantes elaborassem e expressassem modelos em algum modo de representação, foram produzidos 23 argumentos. Destes, apenas um foi do tipo representacional, o único em todo processo analisado. Ele foi expresso exatamente quando eles tentavam explicar os códigos de representação usados no modelo concreto previamente elaborado por eles ( $M_1$ ).

Entre os 23 argumentos expressos na atividade 2, 13 (aproximadamente 61%) foram classificados como teóricos, sendo que 6 deles estão relacionados a aspectos do modelo cinético molecular (que são identificados no quadro 1 em tons de

laranja) como movimento, organização e espaços entre partículas. Outros 3 argumentos foram justificados por características submicroscópicas da matéria, como tamanho e “encaixe” de partículas (identificados no quadro 1 em azul escuro e marinho). Porém, do ponto de vista do conhecimento científico, eles estão associados a concepções inadequadas. Além disso, 2 argumentos fazem referência à constituição dos materiais (em marrom no quadro 1). Em relação a eles, não é possível inferir se os estudantes estavam pensando em propriedades e características macroscópicas ou na “composição” desses materiais.

Independente dessas particularidades, consideramos que a proposição de um elevado número de argumentos teóricos pode estar associada aos conhecimentos prévios dos estudantes, relacionados ao modelo cinético molecular, que havia sido estudado em sala de aula (inclusive com utilização de algumas atividades de modelagem).

Mesmo estando na fase de elaboração e expressão de modelos, a professora e a assistente de pesquisa, provavelmente pelo contato direto com os estudantes, criaram condições que resultaram em os estudantes submeterem seus modelos a vários testes mentais. A nosso ver, esta estratégia contribuiu para que os estudantes elaborassem um grande número de argumentos, quando comparado com os resultados de Mendonça e Justi (2014).

Ainda no contexto da atividade 2, os estudantes elaboraram 3 argumentos do nível 2, do tipo teórico-empírico, o que evidencia o engajamento dos mesmos nas atividades de modelagem. Isto porque, nestes argumentos, os estudantes conseguiram relacionar, por exemplo, a evidência empírica (separação das cores) com o movimento de partículas de água.

O relacionamento entre aspectos macroscópicos (sistema inicial sólido e sistema final líquido) e um aspecto submicroscópico (o movimento das partículas no estado líquido) também fundamentou a elaboração do argumento 2.7 (A dissolução se deve à passagem de estado físico de sólido para líquido (no caso do suco) devido ao movimento de suas partículas quando em contato com a água.). Entretanto, neste caso, os estudantes trataram fusão e dissolução como sinônimas, concepção alternativa



bastante comum entre estudantes, conforme relatos da literatura (Ebenezer & Erickson (1996), Kind (2004), Carmo & Marcondes (2008)).

No argumento 2.22, os alunos relacionaram tamanho de partículas com ocupação de espaços vazios, considerando que algo menor “entra” em outra coisa maior. Ambas justificativas são de cunho teórico e relacionadas a aspectos submicroscópicos da matéria. Esta concepção do “encaixe” de partículas está bem discutida no estudo de Echeverría (1996) e é bastante recorrente na fala dos estudantes, como pode ser visualizado pela cor azul escura no quadro 1.

Dos 23 argumentos propostos na atividade 2, apenas 4 (17%) são empíricos, dois deles relacionando dissolução e mudança de estado físico e outro associando dissolução com a cor do sistema. Esses relacionamentos reforçam nossa inferência de que alguns aspectos macroscópicos parecem exercer grande influência no entendimento dos estudantes acerca da dissolução. Este resultado é bastante interessante, pois apesar de o tema em estudo estar ligado a fenômenos que permeiam nosso cotidiano, o número de argumentos empíricos é pequeno. Isto é algo desejável no contexto escolar, pois, como afirma Echeverría,

“O conhecimento empírico não conduz o pensamento à cognição da *identidade*, da *essência*, da *causalidade*. Isto só é feito pelo pensamento *teórico* (...) Se o fenômeno mostra e ao mesmo tempo esconde a essência das coisas, se essa essência é mediada pelo pensamento humano, conclui-se que promover o pensamento teórico significa ir além das manifestações empíricas e questionar as causas, a origem, o desenvolvimento dos fatos, num esforço intelectual que dificilmente os alunos realizarão sozinhos. Esta é certamente uma função da escola e, principalmente, do professor.” (Echeverría, 1996, p. 17-18)

Além disso, ainda na atividade 2, os estudantes produziram 7 argumentos subsidiados por conhecimento teórico, mas fortemente ancorados no modelo concreto construído por eles (argumentos que receberam um asterisco em sua classificação). Nestes casos em que os estudantes usavam o modelo concreto para sustentar argumentos fundamentados no nível submicroscópico da matéria, percebemos que eles

apresentavam as seguintes funções, dentre aquelas identificadas por Oliveira e colaboradores (2015):

- reforçar o que os estudantes estavam expressando oralmente (argumentos 2.2, 2.4, 2.5 e 2.9);
- apresentar os modelos (argumentos 2.10, 2.11 e 2.12, nos quais os estudantes apresentam para a professora e para a assistente de pesquisa os modelos reformulados, dando informações complementares sobre esses modelos).

Na atividade 3, foram elaborados 16 argumentos. A análise desses argumentos evidencia uma clara melhora na qualidade dos mesmos em relação àqueles expressos nas atividades anteriores, pois nestes os estudantes conseguiram articular mais de uma justificativa. Foram 4 argumentos do nível 3; 7 argumentos do nível 2; e 5 argumentos do nível 1. Apesar do menor grau de complexidade nos argumentos do nível 1, todos foram classificados como teóricos e todos relacionavam dissolução com algum aspecto do modelo cinético molecular, o que evidencia a melhora na capacidade dos estudantes de lidar com o conhecimento científico nesse nível. Dentre esses 16 argumentos, os três primeiros foram expressos a partir do modelo concreto e, por isso, receberam um asterisco em sua classificação no quadro 1. Nos dois primeiros, os estudantes recorreram ao  $M_3$  para explicar a dissolução do pó de suco sem agitação, ou seja,  $M_3$  teve a função de explicar um aspecto específico desse modelo. No terceiro argumento da atividade 3, os estudantes fizeram uma simulação com algumas bolinhas de isopor para reforçar o que estavam expressando oralmente.

Ao longo da atividade 3, os estudantes conseguiram propor modelos e argumentos coerentes com os científicos curriculares, pois o modelo proposto por eles ( $M_9$ ) conseguia explicar os fenômenos observados com coerência lógica no relacionamento das justificativas teóricas e empíricas. Além disso, os estudantes elaboraram alguns argumentos relacionando dissolução e interação entre partículas. Eles também elaboraram argumentos considerando a força das interações (soluto/soluto, soluto/solvente e solvente/solvente) entre as partículas envolvidas, tanto no processo de

dissolução do pó de suco, como na não dissolução do giz em água. Estes argumentos foram fundamentais para a compreensão do Modelo da Interação.

Quanto aos argumentos do nível 3 elaborados pelos estudantes, é importante ressaltar:

- a capacidade dos alunos em articular e interpretar evidências de modo a buscar elementos retóricos visando refutar ou confirmar determinadas ideias;
- a importância da socialização dos modelos para que os alunos analisem modelos distintos (nesse caso, apesar de um dos modelos ser fictício, ele era fundamentado em ideias comumente apresentadas por alunos em contextos de ensino de dissolução de materiais). Assim, eles puderam fazer comparações e eleger modelos mais coerentes com os dados obtidos e com maior poder de explicação frente a novas situações;
- a ação fundamental da professora em conduzir discussões, sem se preocupar em avaliar as ideias expressas pelos estudantes como certas ou erradas, mas buscando engajá-los nas atividades com questões que demandavam esforço e raciocínio e não apenas conhecimento declarativo.

Esses três aspectos contribuíram para que a comunicação oral fosse favorecida, para que os estudantes pudessem expressar suas próprias ideias, complementando e refinando as ideias dos colegas. Isto resultou na elaboração de muitos argumentos durante a aplicação da unidade didática e, particularmente, na atividade 2.

Na atividade 4, foram elaborados 12 argumentos, sendo 9 do nível 1; 2 do nível 2; e 1 do nível 3. Como essa atividade previa a identificação de limitações e abrangências do modelo final proposto, trazendo situações completamente diferentes das apresentadas anteriormente, não é difícil entender o maior número de argumentos teóricos do nível 1. Porém, o que pode causar estranheza é o retorno do argumento que explica a dissolução com base na diferença de densidade dos materiais – concepção bastante resistente à mudança. Os diálogos apresentados no estudo de caso reforçam que

algumas ideias (principalmente as relacionadas à densidade) foram recorrentes, o que também pode ser observado no quadro 1, ao se observar a repetição das cores das células dos temas das justificativas. Isto evidencia que o processo de aprendizagem não é linear e unidirecional.

Durante a discussão sobre o modelo  $M_7$ , uma das estudantes deixou claro que a confusão entre densidade e dissolução era anterior àquele momento, pois se originava em um experimento realizado em sala pela professora. A partir de minha própria experiência como professora, percebo que recorrência a discussões anteriores são comuns entre os estudantes, talvez até porque tais discussões não tenham sido muito esclarecedoras. Na situação da pesquisa, ao trazer os dados da densidade de todos os materiais utilizados, a professora e a assistente de pesquisa conduziram a discussão de modo que os estudantes pudessem avaliar esses dados e concluir, com base nas evidências, que não seria possível relacionar adequadamente dissolução e densidade. Nesse contexto, os estudantes conseguiram não somente refutar o modelo baseado na densidade ( $M_7$ ) como também usar elementos retóricos para persuadir sobre a validade do Modelo de Interação.

Ao longo das atividades 2, 3 e 4 os estudantes elaboraram 51 argumentos. Desses, 45 (88%) se relacionavam aos modelos propostos ou suas características. Porém, apenas em 10 argumentos (24%), concentrados na atividade 2 (7 argumentos) e no início da atividade 3 (3 argumentos), os estudantes recorrem ao modelo concreto para embasar suas justificativas. Este resultado pode ser entendido, conforme Oliveira e colaboradores (2015), como uma aquisição, por parte dos estudantes, de maior domínio de aspectos conceituais e de vocabulário específico para se expressar por meio do modo verbal, o que resultaria em eles se tornarem “independentes” dessas representações.

Todos os aspectos destacados nesta discussão mostram que, no contexto da aplicação dessa unidade didática, além de se envolverem ativamente nas discussões propostas, os estudantes apresentaram a capacidade de argumentar com base em hipóteses, dados e evidências obtidas durante as atividades.

Além disso, dos 65 argumentos elaborados ao longo dos três encontros, 43 abordavam diretamente o tema da unidade didática: dissolução (células verdes no quadro 1). Em outros argumentos, podemos perceber que a noção de dissolução está implícita, como é o caso daqueles que discutem o Modelo de Interação (3; células em rosa) ou o Modelo do Englobamento (4; células em cinza). Finalmente, ideias relacionadas à dissolução também foram expressas quando os alunos conseguiam relacionar aspectos submicroscópicos de modelo cinético molecular entre si (7; células em tons de laranja). Estes dados mostram que, apesar de vários aspectos terem sido focados nas afirmativas e justificativas expressas pelos estudantes, a maioria absoluta de seus argumentos estiveram relacionados ao tema central da unidade didática.

Outro aspecto importante é que a riqueza dos dados obtidos está para além dos modelos propostos pelos estudantes ou dos argumentos expressos por eles. Um aspecto digno de nota é a maneira como a professora explorou esses modelos, não se atendo apenas aos aspectos concretos, mas buscando as ideias que davam ou poderiam dar subsídios para a explicação dos fenômenos relacionados à dissolução, isto é, criando situações que favorecessem a argumentação dos estudantes.

Um último aspecto interessante de ser comentado é que permitir que os estudantes vivenciem experiências argumentativas em contextos de atividade de modelagem pode ajudá-los a perceber alguns aspectos relacionados à natureza da ciência. Na situação de ensino analisada neste trabalho, isto ocorreu, por exemplo, quando um dos estudantes indagou se não havia equipamento capaz de “ver” partículas e a professora aproveitou a oportunidade para, brevemente, contrapor a ideia, muito comum, de ciência como verdade inquestionável, discutindo como o conhecimento científico é baseado em modelos, hipóteses e representações. Provavelmente visando favorecer a compreensão dos estudantes sobre o que estava falando, ela comparou as atividades de modelagem nas quais os estudantes estavam participando com atividades desenvolvidas pelos cientistas. Considerando a ausência de questionamentos adicionais dos estudantes, parece que eles aceitaram tais colocações, porém sem convicção. Por isso, defendemos que práticas semelhantes às da professora sejam rotineiras no contexto escolar, pois é necessário que os estudantes da escola básica conheçam um pouco mais

alguns aspectos da ciência, não no sentido deter uma visão profunda, mas uma visão mais ampla sobre a mesma. Assim, seria necessário uma mudança na abordagem nos conteúdos já estudados, permeando-os com os aspectos da natureza da ciência cabíveis em cada contexto. É importante reconhecer também a não necessidade de esgotar a discussão desses aspectos, uma vez que os mesmos poderiam ser retomados em diferentes momentos, considerando o grau de maturidade dos alunos (Anjos & Justi, 2015).

## CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Neste trabalho, nos propusemos a analisar a atuação de estudantes e sua professora em um contexto de ensino investigativo sobre dissolução, fundamentado em Modelagem e em Argumentação. Desse modo, focamos nosso trabalho em três aspectos básicos: (i) nas características desejáveis e indesejáveis de um ensino de ciências profícuo e autêntico; (ii) nas características do ensino fundamentado em modelagem; e (iii) nas características e potencialidades da argumentação. Além disso, buscamos apreender as interfaces entre modelagem e argumentação, na teoria e na prática. Neste capítulo, retomamos alguns dos resultados obtidos para nos auxiliar na discussão de nossas questões de pesquisa.

Quanto à nossa primeira questão “Como a participação dos alunos em situações argumentativas em contextos de ensino fundamentado em modelagem contribui para a aprendizagem sobre o processo de dissolução?”, primeiramente, gostaríamos de ressaltar que a unidade didática sobre dissolução pode contribuir tanto para uma aprendizagem conceitual quanto para uma aprendizagem de práticas científicas. Essas duas potencialidades da unidade didática estão relacionadas aos fundamentos e pressupostos que foram considerados na sua formulação, bem como no modo como ela deve ser conduzida. Como discutido anteriormente, essa unidade didática é uma atividade investigativa, fundamentada em modelagem de acordo com o referencial teórico do DMM e que deve ser conduzida em contexto de ensino que estimule situações argumentativas. Sendo assim, essa unidade didática pode contribuir para o aprendizado dos estudantes “engajando-os em atividades científicas” ou “aprendendo conceitos científicos”. Gostaríamos de discutir inicialmente aspectos relacionados à primeira possibilidade apontada.

Durante a aplicação da unidade didática, os estudantes trabalharam em grupos, colaborativamente e com grande engajamento nas atividades propostas. Esse engajamento pode ser evidenciado, por um lado, pela quantidade de modelos e argumentos elaborados ao longo das atividades, e por outro, pela postura dos estudantes de propor ideias, fundamentar opiniões e justificar, contrária ou favoravelmente, as

afirmações construídas naquele contexto social. Além disso, o engajamento dos estudantes foi tão significativo, que em vários momentos, eles próprios levantaram hipóteses e questões e buscaram esclarecê-las com a proposição de testes empíricos, inicialmente não previstos e até com experimentos mentais.

Nesse contexto, a interação aluno-aluno foi estimulada, de modo que eles, enquanto grupo, foram encorajados, ao longo da aplicação da unidade didática, a participar ativamente das discussões, da construção de modelos e da elaboração de argumentos, ou seja, da proposição de afirmativas devidamente subsidiadas por justificativa, empíricas e/ou teóricas. Assim, as atividades foram conduzidas diferentemente do padrão tradicional, pois exigiam dos estudantes uma pro-atividade, uma vez que, eles não tinham onde buscar as respostas certas, mas precisavam refletir para construir tais respostas. Em outras palavras, as discussões foram centradas na voz dos estudantes e o conhecimento construído dialogicamente. É importante salientar que no contexto desta atividade, esperávamos que os estudantes elaborassem modelos e argumentos, e não simplesmente opiniões, pois era necessário subsidiar suas afirmações, bem como ouvir os colegas, apresentando críticas e raciocínios. Os estudantes precisavam buscar por evidências e conhecimentos teóricos e articular essas informações com os fenômenos e dados disponíveis.

O padrão de interação dos estudantes com a professora também foi relevante no contexto deste estudo. Como comentamos anteriormente, essa interação não se deu com base no discurso monológico e nem com autoritarismo. Provavelmente em função do pequeno número de estudantes presentes, especialmente no segundo e terceiro encontros, a professora teve oportunidade de acompanhar, com bastante proximidade, as discussões ocorridas no grupo. Desse modo, a professora pode propor várias questões para os estudantes, especialmente questões abertas e geradoras. Estas questões ocorreram muitas vezes com a condução de experimentos mentais, o que demandou a busca por novos dados, a repetição ou modificação de testes empíricos. Esse movimento resultou na construção, reformulação e refutação de modelos, bem como na elaboração de argumentos para sustentar a validade, a coerência, a capacidade de explicação e de previsão ou não destes modelos.



No contexto do estudo de Mendonça e Justi (2013), as autoras afirmam que os estudantes tiveram muita dificuldade com as questões e interpretações dos experimentos, apontando como possíveis causas: (i) a ausência de conhecimento científico prévio, especialmente relacionado ao aspecto submicroscópico; (ii) a falta de familiaridade com atividades de natureza investigativa, como as de modelagem; (iii) o alto grau de complexidade do assunto investigado (ligações químicas e interações intermoleculares).

Por outro lado, na aplicação desta unidade didática, assim como na análise dos dados gerados não encontramos os mesmos resultados, pois:

- Os estudantes se mostraram hábeis na construção de modelos durante a aplicação da unidade didática, provavelmente por terem uma boa noção do modelo cinético molecular para os diferentes estados de agregação da matéria.
- Os estudantes tinham algum conhecimento, mesmo que simples, sobre modelos e modelagem.
- Embora os dois temas (ligação química e dissolução) sejam igualmente abstratos, o tema em questão está mais próximo do cotidiano, além de os experimentos trazerem uma relação mais direta com o tema.

Quanto ao aspecto da aprendizagem dos estudantes sobre o processo de dissolução, podemos perceber que eles conseguiram, ao longo do processo vivido, conectar os três níveis do conhecimento químico. Eles conseguiram elaborar modelos concretos (aspecto representacional) que consideravam a organização e interação entre partículas (soluto-soluto e soluto-solvente; aspecto submicroscópico) e usá-los para explicar os fenômenos observados (aspecto macroscópico). Além disso, os estudantes conseguiram usar o modelo proposto por eles para fazer previsões e explicar novas situações. Nos momentos descritos anteriormente os estudantes elaboraram argumentos com os quais eles explicitavam as suas ideias e concepções, bem como as sustentavam. É importante apontar que estas ocasiões foram importantes para que a professora tivesse acesso às concepções prévias dos estudantes e, desse modo, pudesse oferecer a eles elementos para pensar de outro ponto de vista, bem como avaliar quais ideias são mais

coerentes frente aos dados disponíveis. Percebemos que muitas dessas concepções são incompatíveis com o conhecimento científico e muito resistentes a mudanças, o que demanda do professor paciência e habilidade na condução dessas discussões.

Para a construção de vários modelos, os estudantes recorreram aos conhecimentos prévios relacionados ao modelo cinético-molecular, o que favoreceu enormemente as discussões e conseqüentemente os argumentos e os modelos elaborados.

Podemos afirmar que os estudantes compreenderam o fenômeno da dissolução do ponto de vista curricular? Acreditamos que sim, pois, apesar de toda a idiossincrasia do processo vivido por eles, das idas e vindas de modelos e argumentos, os estudantes foram capazes de: (i) interpretar coerentemente várias evidências, o que resultou na construção de argumentos que envolviam mais de uma justificativa; (ii) conduzir raciocínios e elaborar argumentos que conduziam à reformulação ou refutação de modelos; (iii) propor um modelo muito próximo do modelo curricular; (iv) usar este modelo para explicar o fenômeno da dissolução no nível submicroscópico; e (v) explicar a dissolução com base em argumentos que articulavam várias justificativas ou continham elementos retóricos para persuasão.

Assim como em outros trabalhos do grupo REAGIR (por exemplo, Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2013), podemos inferir que atividades de ensino fundamentadas em modelagem e conduzidas de modo a favorecer situações argumentativas conduziram à aprendizagem conceitual, bem como à vivência da “ciência como prática”. Para o sucesso dessas estratégias de ensino não podemos deixar de considerar o importante papel do professor.

Sendo assim, com relação a nossa segunda questão de pesquisa “Como a ação do professor na condução da situação de ensino fundamentada em modelagem contribui para a aprendizagem dos alunos sobre o processo de dissolução?”, retomamos alguns dados apresentados para respondê-la.

Na condução da unidade didática, percebemos que a professora e a assistente de pesquisa estimularam e encorajaram as interações entre os estudantes, na medida em que solicitava que eles discutissem e avaliassem as ideias e opiniões dos colegas, dando sugestões e construindo social e dialogicamente o conhecimento científico. Deste modo, a professora abriu espaço para que os estudantes discutissem e desenvolvessem uma visão da ciência não apenas como conhecimento conceitual, mas também como “prática”.

A participação dos estudantes é especialmente reforçada pelo tipo de avaliação que o professor realiza durante os momentos de discussão. A partir da minha prática profissional, identifiquei dois comportamentos muito comuns dos professores que tolhem completamente a participação dos estudantes: a avaliação negativa do tipo “não é isso!” e “você está errado!”; e o fato de ignorar a contribuição do aluno. Esse padrão de avaliação e a condução das atividades sem considerar a voz dos estudantes, dificulta o engajamento dos estudantes nas atividades e discussões propostas. Porém, não foi esse o padrão adotado pela professora neste estudo, pois ela considerava, sempre que possível as falas e contribuições dos estudantes, assim como não sentenciava seus argumentos como certos ou errados. Essa mesma forma de condução é esperada quanto aos modelos elaborados, pois, como ocorreu, o interessante é que a professora não os sentencie, mas auxilie os estudantes a identificar pontos fracos e fortes no mesmo. Ela alcançou este objetivo ao longo da unidade didática, muito provavelmente, através da proposição das inúmeras questões geradoras que estimulavam os estudantes a refletir e expressar seu raciocínio interativamente com colegas e professora. Dessa forma, os estudantes eram apoiados na busca por evidências e conhecimentos que pudessem ser usados para testar a coerência de seus modelos frente aos fenômenos e dados disponíveis, levando-os a reformulação, abandono ou refutação dos mesmos.

Além de não sentenciar os modelos como certo e errado, a professora também não atuava de modo enciclopédico, oferecendo as respostas certas, mas introduzindo nas discussões novas informações ou dados, propondo testes, buscando evidências e conhecimentos. Desse modo, ela fomentava as discussões auxiliando os

alunos na busca por modelos mais coerentes e argumentos bem justificados diante dos dados, informações e conhecimentos disponíveis.

É importante salientar que tanto os processos de modelagem quanto os de argumentação são idiossincráticos, complexos e não lineares. Na prática, isto significa que o professor perde aquele controle e poder que ele tem no ensino tradicional, onde define as ideias e conceitos contemplados bem como define como a atividade ocorrerá, ou seja, ele detém o controle do “processo” e do “produto final”. Sendo assim, como ocorreu neste trabalho, o professor deve se preparar bem para desenvolver tais práticas investigativas em suas aulas. Para conduzir essas atividades, é interessante que o professor tenha conhecimentos sobre argumentação, especialmente voltada para o ensino de ciências e modelagem, bem como contato com literatura do campo que possa auxiliá-lo na compreensão das concepções dos estudantes referente ao tema que será estudado. Nesse sentido, entendemos que a “capacitação” da professora em questão foi fundamental no êxito da aplicação da unidade didática sobre dissolução. Isto porque, apesar da imprevisibilidade dos “produtos” e “processos” ao longo de uma atividade investigativa, a professora se mostrou hábil em reconhecer as concepções dos estudantes e no uso de estratégias de ensino adequadas para auxiliá-los na construção do conhecimento científico. No nosso caso, a professora usou estas habilidades para dar suporte aos estudantes na construção de um modelo para a dissolução bastante próximo do modelo curricular, bem como na construção de afirmativas, diretas ou indiretas, sobre os processos de dissolução subsidiadas por justificativas empíricas e/ou teóricas. Uma das estratégias de ensino utilizadas pela professora com muita propriedade e frequência está relacionada com as questões propostas; quais, como e quando estas questões eram dirigidas aos estudantes. Nesta estratégia de fazer perguntas, geralmente abertas e geradoras, a professora conseguiu engajar os estudantes nas atividades, fazendo-os refletir, apresentando seu raciocínio e conclusões, apoiando-os nas discussões e nas tomadas de decisão.

Outra estratégia de ensino que não podemos deixar de mencionar, refere-se a habilidade da professora em propor a discussão de um modelo fictício com base em dados da literatura (Mozzer, 2013). Como já mencionado anteriormente, a socialização

de modelos é uma etapa fundamental nas atividades de modelagem, pois é um momento crucial para os estudantes refletirem sobre seus modelos e sobre os modelos elaborados por outros colegas. Nestas circunstâncias, os estudantes têm a oportunidade de identificar pontos fortes e fracos nos modelos, além de analisar a coerência dos mesmos diante dos dados e conhecimentos disponíveis. Diante dessa rica situação didática, em consonância com os dados de Mendonça e Justi (2013), os estudantes podem elaborar argumentos de maior qualidade, inclusive argumentos com elementos retóricos visando a persuasão. Como no contexto deste trabalho não havia mais de um grupo e, no grupo existente os modelos eram consensuais, a estratégia adotada pela professora de introduzir um modelo alternativo como se fosse o de outro grupo foi essencial para que os estudantes tivessem a possibilidade de comparar diferentes modelos. Ao comparar os distintos modelos, os estudantes puderam elencar as características mais importantes de cada um e julgá-las frente aos dados e conhecimentos disponíveis. Desse modo, eles conseguiram perceber a força e centralidade da característica “interação” em um dos modelos, em oposição à fragilidade da característica do “englobamento”. Assim, os estudantes não somente conseguiram chegar a um modelo para a dissolução muito próximo do modelo curricular pretendido, como conseguiram elaborar argumentos de melhor qualidade e argumentos persuasivos.

Também gostaríamos de observar que, conforme comentado anteriormente, o grupo de estudantes, com exceção do momento discutido anteriormente, trabalhou sempre com modelos consensuais, não havendo discussões internas para escolher entre duas ou mais opções de modelos. Apesar disso, os estudantes discutiram e elaboraram vários argumentos relacionados a cada um dos modelos que o grupo elaborou, ou seja, não foi necessária a presença de modelos concorrentes para que os estudantes argumentassem. Inferimos que isto ocorreu, pelo menos em parte, devido à ação da professora introduzindo perguntas geradoras em busca de compreender não somente o modelo proposto, mas também como os estudantes o usavam para explicar a dissolução no nível submicroscópico. Desse modo, os estudantes explicitavam suas concepções prévias e seu raciocínio e a professora dava suporte para que eles avaliassem criticamente o modelo e reformulassem os aspectos necessários ou, ainda, que refutassem o modelo e começassem novamente o ciclo da modelagem. Nestes momentos,

os estudantes precisam sustentar suas afirmações com justificativas e não simplesmente emitir opiniões. Por isso perguntas do tipo “como” e “por que” foram recorrentes durante a aplicação da unidade didática.

A professora também deu suporte para que seus alunos contemplassem os três níveis do conhecimento químico, quando pedia que usassem modelos para explicar os fenômenos no nível submicroscópico. Entendemos que ao reforçar a ideia das partículas e de seu comportamento no nível submicroscópico, ela favoreceu a compreensão dos alunos sobre a dissolução, pois se faz necessário integrar estes diferentes aspectos para uma melhor compreensão de temas químicos que são essencialmente abstratos. Sendo assim, podemos inferir que os estudantes aprenderam o conceito de dissolução, pois, conforme Nakhleh (1992), para aprender um conceito químico é necessário explicá-lo no nível atômico-molecular. Essa aprendizagem pode ser entendida como consequência do engajamento dos estudantes e das ações da professora que conduziu o processo de ensino-aprendizagem de modo que os estudantes conseguiram usar o modelo da interação para conectar conhecimentos teóricos (características dos estados físicos como presença de partículas e espaços vazios) e representação (o modelo concreto construído), nível macroscópico (o fenômeno da dissolução) e nível submicroscópico (partículas de soluto e solvente), bem como outras conexões possíveis.

Com relação às ações do professor, apontadas por Mendonça e Justi (2013), como essenciais para promover situações argumentativas em contextos de ensino fundamentado em modelagem, duas não foram observadas no contexto deste trabalho: (i) a presença de explicações adicionais sobre requisitos das questões apresentadas nas atividades escritas, principalmente sobre os fins para os quais o modelo será produzido; e (ii) a utilização de outros modos de representação, além do verbal (como gestos e materiais concretos) ao tentar compreender as ideias dos estudantes. Provavelmente, essas diferenças estão relacionadas aos diferentes contextos de aplicação das unidades didáticas e da natureza dos temas discutidos em ambas situações. Como a aplicação da unidade didática sobre dissolução ocorreu com um número pequeno de estudantes e a professora manteve com eles um contato constante, interativo e dialógico, certos

momentos, como aqueles em que a professora inicia ou fecha um atividade para a turma toda, não ocorreram e assim não favorecendo tais ações. Além disso, conforme já discutido, parece que nossos estudantes tinham certa familiaridade com modelos e modelagem, e ainda conhecimentos prévios importantes.

Um aspecto que não foi possível analisar neste trabalho é se, em momentos posteriores à aplicação da unidade didática, os estudantes recorreriam novamente ao modelo da interação para explicar outras situações relacionadas à dissolução, em contexto escolar, ou se recorreriam a outros modelos sustentados por ideias como a densidade e o encaixe de partículas, que não estão de acordo com o conhecimento científico. Este dado posterior teria sido importante para reafirmar a aprendizagem dos estudantes em relação ao tema.

Além disso, queremos reforçar, como fizeram Blanco e Prieto (1997), que os estudantes tenham acesso ao modelo cinético-molecular para os estados físicos, considerando aspectos como por exemplo, partículas, espaços vazios, organização e interação das partículas. Recomendamos, porém que esse contato não seja de forma inerte, como nos livros ou no quadro, mas que os estudantes possam propor, discutir, testar e verificar abrangências e limitações deste modelo. Se o professor, investir algum tempo nessa atividade, provavelmente, os estudantes compreenderão com muito mais facilidade e melhor vários outros temas discutidos nas aulas de ciências.

Finalmente, gostaríamos de apontar para a necessidade dos professores terem contemplado, na sua formação inicial e continuada, o estudo sobre modelagem, argumentação e natureza da ciência para que possam se instrumentalizar para planejar e conduzir atividades de ensino mais condizentes com os novos paradigmas da educação científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS. (1999). *Science for All Americans: A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington: DC: Oxford University Press.
- Abdo K. & Taber, K.S. (2009). Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757–786.
- Aguiar Jr., O. G. & Mortimer, E. F. (2005). Tomada de consciência de conflitos: análise da atividade Discursiva em uma Aula de Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 179-207.
- Alves, A. J. (1991). O planejamento de pesquisas qualitativas em educação. *Cadernos de Pesquisa*, 77, 53-61.
- Anjos, M.M.O., & Justi, R. (2015). Favorecendo a Discussão de Alguns Aspectos de Natureza da Ciência no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 1-7.
- Baker, M. (2009). Argumentative Interactions and the Social Construction of Knowledge. In N. M. Mirza & A. Perret-Clermont (Eds.), *Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices* (pp. 127-144). New York: Dordrecht: Springer.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanzec, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377.
- Blanco, A. & Prieto T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: a cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19(3), 303-315.
- Carmo, M. P., Marcondes, M.E.R. & Martorano, S. (2005). Um estudo sobre a evolução dos estudantes na construção de modelos explicativos relativos ao conceito de solução e ao processo de dissolução. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 1-5.
- Carmo, M. P. & Marcondes, M.E.R. (2008). Abordando soluções em sala de aula – uma experiência de ensino a partir das ideias dos alunos. *Química Nova na Escola*, 28, 37-41.



- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2001). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Christodoulou, A. & Osborne, J. (2014). The Science Classroom as a Site of Epistemic Talk: A Case Study of a Teacher's Attempts to Teach Science Based on Argument. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(10), 1275–1300.
- Coll, R.K. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Crawford, B.A. (2012). Moving the Essence of Inquiry into the Classroom: Engaging Teachers and Students in Authentic Science. In K. C. D. Tan & M. Kim (Eds.), *Issues and Challenges in Science Education Research: Moving Forward* (pp. 25-42). Dordrecht: Springer.
- Duschl, R. (2008). Quality Argumentation and Epistemic Criteria. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 159-175). Dordrecht: Springer.
- Duschl, R. & Osborne, J.F. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38(1), 37-41.
- Ebenezer, J.V. & Erickson, G.L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: a phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201.
- Echeverría, A. (1996). Como os estudantes concebem a formação de soluções. *Química Nova na Escola*, 3, 15-18.
- Erduran, S. (2008). Methodological Foundations of Learning Argumentation. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 47-70). Dordrecht: Springer.
- Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2008). Argumentation in Science Education: An Overview. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27): Dordrecht: Springer.
- Fernandez, C. & Marcondes, M.E.R. (2006). Concepções dos Estudantes sobre Ligação Química. *Química Nova na Escola*, 24, 20-24.
- França, A. C. G.; Marcondes, M. E. R. & Carmo, M. P. (2009). Estrutura atômica e formação de íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. *Química Nova na Escola*, 31(4), 275-282.

REFERÊNCIAS

- Gilbert, J.K. (2004). Models and Modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J.K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 9-27): Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J.K., Boulter, C., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17): Dordrecht: Kluwer.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553.
- Justi, R & Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teacher's view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- Justi, R. (2006). La Enseñanza de Ciencias basada en la Elaboración de Modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2010). Modelos e Modelagem no Ensino de Química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: Santos, W.L.P. e Maldaner, O.A. (Org.) *Ensino de Química em Foco*. (pp.209-230). Ijuí: Ed. Unijuí.
- Kind V., (2004). Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas, 2nd Edition. School of Education, Durham University.
- Lüdke, M. & André, M. E. D. A. (2013). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. 2a. ed. Rio de Janeiro: EPU.
- Maia, P.F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- Mazzotti-Alves, A. J. (1996). O debate atual sobre os paradigmas de pesquisa em educação. *Cadernos de Pesquisa*, 96, 13-23.
- Mazzotti-Alves, A.J. & Gewandsznajder, F. (1998). *O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa*. São Paulo, Pioneira Thomson Learning.
- McNeill, K. L., & Knight, A. M. (2013). Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Scientific Argumentation: The Impact of Professional Development on K-12 Teachers. *Science Education*, 97(6), 936-972.

REFERÊNCIAS

MARY MENDES OLIVEIRA DOS ANJOS

- McNeill, K. L., & Pimentel, D. S. (2009). Scientific Discourse in Three Urban Classrooms: The Role of the Teacher in Engaging High School Students in Argumentation. *Science Education*, 94(2), 203-229.
- MEC. (1998). *PCN Ensino Fundamental – Ciências Naturais*. Brasília: SEMTEC-CNE.
- MEC. (2000). *PCN Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: SEMTEC-CNE.
- MEC. (2002). *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: SEMTEC-CNE.
- Mendonça, P.C.C. (2011). *Influência de atividades de modelagem na qualidade de argumentos de estudantes de química do ensino médio*. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Mendonça, P.C.C., & Justi, R. (2013). The Relationships Between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Mendonça, P.C.C., & Justi, R. (2014). An Instrument for Analyzing Arguments Produced in Modeling-Based Chemistry Lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 192-218.
- Mendonça, P.C.C., Justi, R., & Oliveira, M.M. (2006). Analogias sobre Ligações Químicas Elaboradas por Alunos do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 6(1), 35-54.
- Merriam, S.B. (1995). What Can You Tell From Na N of 1?: Issues of Validity and Reliability in Qualitative Research. *PAACE Journal of Lifelong Learning*, 4, 51-60.
- Merriam, S.B. (1998). *Case Study Research in Education – A Qualitative Approach*. San Francisco and London: Jossey-Bass.
- Mirza, N. M. & Perret-Clermont, A.-N. (2009). *Argumentation and Education - Theoretical Foundations and Practices*. Dordrecht: Springer.
- Morrison, M. & Morgan, M. S.(1999). Models as mediating instruments. In: Morgan, M. S.; Morrison, M. (Eds.). *Models as mediators*. (pp. 10-37) Cambridge: Cambridge University Press.
- Mortimer, E.F., Machado A., & Romanelli, L.I. (2000). A Proposta Curricular de Química do Estado de Minas Gerais: Fundamentos e Pressupostos. *Química Nova*, 23(2), 273-283.

- Mozzer, N. B. (2013). *O Entendimento Conceitual do Processo de Dissolução a partir da Elaboração de Modelos e sob a Perspectiva da Teoria de Campos Conceituais*. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconceptions. *Journal Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- 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.
- NRC. (2012). *A Framework For K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, D. C.: The National Academies Press.
- Oliveira, D.B.S., Justi, R., & Mendonça P.C.C. (2015). The Use of Representations and Argumentative and Explanatory Situations. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1402-1435.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What “Ideas-about-Science” Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Passmore, C.M. & Svoboda J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535–1554.
- Sandoval, W.A. & Morrison, K. (2003). Students' Ideas about Theories and Theory Change after a Biological Inquiry Unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369–392.
- Sandoval, W.A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634–656.
- Sasseron, L.H. & Carvalho, A.M.P. (2011a). Uma Análise de Referenciais Teóricos sobre a Estrutura do Argumento para Estudos de Argumentação no Ensino de Ciências. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(3), 243-262.
- Sasseron, L.H. & Carvalho, A.M.P. (2011b). Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. *Ciência & Educação*, 17(1), 97-114.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Swartz, Y., Hug, B., & Krajcik., J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.

REFERÊNCIAS

MARY MENDES OLIVEIRA DOS ANJOS

- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(2), 1-26.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- van Joolingen, W. (2004). *Roles of modeling in inquiry learning*. Paper presented at the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Joensuu, Finland.
- 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.
- Yin, R.K. (2001). *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman.

## ANEXOS

### Anexo I: Anuência da Escola

Belo Horizonte, X de fevereiro de 2014.

Ilmo. Sr. XXX

D.D. Diretor do Colégio YYY

Prezado Sr.,

De acordo com as diretrizes previstas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Ciências no Brasil, espera-se que, além de aprenderem o conteúdo dessa disciplina, os alunos desenvolvam uma série de habilidades que lhes capacitem a exercer mais plenamente a cidadania. A literatura da área de Educação em Ciências tem mostrado que várias dessas habilidades podem ser desenvolvidas quando os alunos participam de atividades de ensino relacionadas às práticas epistêmicas da própria ciência (como, por exemplo, a investigação experimental, a modelagem, e a argumentação).

Na última década, nosso Grupo de Pesquisa tem desenvolvido uma série de investigações envolvendo a promoção do ensino de ciências nessa perspectiva. Todos os nossos resultados têm mostrado que a participação dos alunos em atividades de modelagem favorecem imensamente o aprendizado dos temas envolvidos, assim como o desenvolvimento das capacidades investigativas, argumentativas e de visualização de entidades abstratas (tão comuns na Química). No contexto dessas pesquisas, temos também desenvolvido instrumentos que possibilitam analisar os dados obtidos de forma a favorecer a discussão de nossas questões de pesquisa. Há dois anos atrás, por exemplo, desenvolvemos um instrumento para avaliar a qualidade da argumentação produzida por alunos do ensino médio quando envolvidos em atividades de modelagem. Isto foi feito como parte de uma tese de doutorado cujos resultados já estão publicados no Brasil e no exterior e que foi agraciada com o prêmio de melhor tese da área de

Educação da UFMG em 2012. Dados como estes evidenciam que nosso Grupo tem realizado trabalhos sérios e de qualidade. Um dos aspectos que contribuí para isto é o fato de as nossas pesquisas serem conduzidas em salas de aula regulares – o que só é possível a partir da valiosa colaboração de algumas escolas (diretores, professores, pais e alunos) que aceitam participar das mesmas.

Em uma oportunidade anterior, desenvolvemos uma pesquisa com alunos da instituição que o senhor dirige e, tendo em vista a excelente receptividade que tivemos, nos dirigimos ao senhor novamente para solicitar sua anuência para o desenvolvimento de outra pesquisa nesta instituição.

Como explicado anteriormente, há dois anos desenvolvemos um instrumento para avaliar a qualidade da argumentação dos alunos quando eles participam de atividades de modelagem. Tal instrumento se mostrou bastante eficiente mas, para garantir sua confiabilidade neste tipo de análise, precisamos utilizá-lo em outros contextos. Para tanto, pretendemos aplicar, para alunos do nono ano, algumas atividades fundamentadas na prática da modelagem sobre o tema dissolução. As atividades são simples, envolvem materiais cotidianos nas partes experimentais, e podem ser desenvolvidas em três ou quatro encontros (dependendo do nível de participação dos alunos nas discussões). Elas seriam conduzidas pela professora de Química do nono ano, que também é membro de nosso Grupo de Pesquisa. Visando não comprometer o cumprimento da programação anterior da disciplina, as atividades seriam realizadas no período da tarde e com um grupo de alunos voluntários. Após esclarecimentos detalhados sobre o trabalho a ser feito, todos os alunos seriam convidados a participar. Entretanto, considerando que muitos têm outros compromissos durante a tarde e que a atividade não será avaliada, acreditamos que nem todos se interessem por participar. A professora e os alunos que se interessarem receberão um documento (a ser aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais após a anuência da escola), para ser assinado por eles e por seus responsáveis (no caso dos alunos).

Durante o desenvolvimento dessas atividades, os alunos trabalharão em grupos pequenos e os encontros serão registrados em vídeo. Isto se faz necessário pois precisamos registrar todas as manifestações (verbais e gestuais) envolvidas nas situações argumentativas. Como acontece em todas as pesquisas, as imagens dos alunos serão usadas apenas para dar suporte à análise dos dados, conduzida no âmbito de nosso Grupo de Pesquisa. Além disso, os alunos e a escola não serão identificados em nenhum dos trabalhos acadêmicos e publicações resultantes desta pesquisa.

Considerando todos estes aspectos, a participação na pesquisa não implica em nenhum risco para os alunos. Ao contrário, a partir dos resultados de nossas pesquisas anteriores, acreditamos que eles podem se beneficiar por aprenderem um conceito químico importante a partir da vivência de atividades interessantes e por terem oportunidade de desenvolver sua capacidade argumentativa.

A partir dos dados coletados, faremos a análise utilizando o instrumento desenvolvido previamente para, posteriormente, discutirmos a validade do mesmo. Este será o foco da dissertação de Mestrado de minha aluna Mary Mendes Oliveira dos Anjos, atualmente intitulado “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. A mestranda Mary será responsável pelas filmagens, contando, provavelmente com a ajuda de uma assistente de pesquisa.

Certas de contar com sua habitual compreensão em relação à importância de promovermos um ensino melhor para os alunos e do papel que a pesquisa em Educação pode desempenhar nesse sentido, solicitamos, então, sua anuência em relação à condução desta pesquisa no Colégio YYY nas condições especificadas anteriormente.

Finalmente, informamos que o desenvolvimento deste projeto foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. Caso ainda existam dúvidas sobre o projeto, maiores informações podem ser obtidas pelas vias abaixo identificadas:

- Profª. Dra. Rosária Justi

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, telefone: 3409.5694, e-mail: rjusti@ufmg.br

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG

Unidade Administrativa II, 2o. andar, sala 2005, Campus Pampulha, telefone: 3409.4592.

Atenciosamente,

Profª. Dra. Rosária Justi

Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de  
Minas Gerais

Pesquisadora responsável pelo projeto



## AUTORIZAÇÃO

Considerando que entendi perfeitamente os objetivos da pesquisa “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”, assim como a metodologia a ser utilizada no mesmo, autorizo a realização da coleta de dados que dará suporte ao desenvolvimento da mesma a partir do registro em vídeo de encontros conduzidos pela professora de Química com alunos do nono ano do Colégio YYY.

XXX

Diretor

**ANEXO II: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido destinado à  
Professora**

Prezada professora de Química do nono ano do Colégio YYY,

De acordo com as diretrizes previstas nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino de Ciências no Brasil, espera-se que, além de aprenderem o conteúdo dessa disciplina, os alunos desenvolvam uma série de habilidades que lhes capacitem a exercer mais plenamente a cidadania. A literatura da área de Educação em Ciências tem mostrado que várias dessas habilidades podem ser desenvolvidas quando os alunos participam de atividades de ensino relacionadas às práticas da própria ciência (como, por exemplo, a investigação experimental, a modelagem, e a argumentação).

Como você sabe, na última década, nosso Grupo de Pesquisa tem desenvolvido uma série de investigações envolvendo a promoção do ensino de ciências nessa perspectiva. Todos os nossos resultados têm mostrado que a participação dos alunos em atividades de modelagem favorecem imensamente o aprendizado dos temas envolvidos, assim como o desenvolvimento das capacidades investigativas, argumentativas e de visualização de entidades abstratas (tão comuns na Química). No contexto dessas pesquisas, temos também desenvolvido instrumentos que possibilitam analisar os dados obtidos de forma a favorecer a discussão de nossas questões de pesquisa. Há dois anos atrás, por exemplo, desenvolvemos um instrumento para avaliar a qualidade da argumentação produzida por alunos do ensino médio quando envolvidos em atividades

de modelagem. Um dos aspectos que contribui para a qualidade de nossas pesquisas é o fato de elas serem conduzidas em salas de aula regulares – o que só é possível a partir da valiosa colaboração de algumas escolas (diretores, professores, pais e alunos) que aceitam participar das mesmas.

O instrumento para avaliar a qualidade da argumentação dos alunos quando eles participam de atividades de modelagem desenvolvido anteriormente se mostrou bastante eficiente mas, para que sua credibilidade junto a outros pesquisadores seja garantida, precisamos utilizá-lo em outros contextos. Para tanto, pretendemos aplicar, para alunos do nono ano do Instituto Baião Santos, algumas atividades fundamentadas na prática da modelagem sobre o tema dissolução. As atividades são simples, envolvem materiais cotidianos nas partes experimentais, e podem ser desenvolvidas em três ou quatro encontros (dependendo do nível de participação dos alunos nas discussões). Elas serão conduzidas por você. Visando não comprometer o cumprimento de sua programação anterior da disciplina e, de acordo com sua disponibilidade, as atividades serão realizadas no período da tarde, em dias a serem combinados entre você e os alunos interessados em participar. Essas datas serão comunicadas por escrito aos responsáveis pelos alunos. Considerando que muitos alunos têm outros compromissos durante a tarde e que a atividade não será avaliada, acreditamos que nem todos se interessem em participar, ou possam fazê-lo. Através deste documento, solicitamos sua autorização para que isto aconteça.

Durante o desenvolvimento dessas atividades, os alunos trabalharão em grupos pequenos e os encontros serão registrados em vídeo. Isto se faz necessário, pois precisamos registrar todas as manifestações (verbais e gestuais) envolvidas nas discussões. Como acontece em todas as pesquisas, as imagens dos alunos serão usadas apenas para dar suporte à análise dos dados, conduzida no âmbito de nosso Grupo de Pesquisa. Além disso, os alunos, você e a escola não serão identificados em nenhum dos trabalhos acadêmicos e publicações resultantes desta pesquisa.

Considerando todos estes aspectos, a participação na pesquisa não implica em nenhum risco para os alunos. Ao contrário, a partir dos resultados de nossas pesquisas anteriores, acreditamos que eles podem se beneficiar por aprenderem um conceito químico importante a partir da vivência de atividades interessantes e por terem oportunidade de desenvolver sua capacidade argumentativa. Entretanto, se por algum motivo um(a) aluno(a) desistir durante o processo, ele(a) tem todo o direito de deixar de participar dos encontros. Nesse caso, os diálogos dos quais aquele(a) aluno(a) participou não serão utilizados como dados da pesquisa.

A partir dos dados coletados, faremos a análise utilizando o instrumento desenvolvido previamente para, posteriormente, discutirmos a validade do mesmo. Este será o foco da dissertação de Mestrado de minha aluna Mary Mendes Oliveira dos Anjos, atualmente intitulado “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. A mestranda Mary será responsável pelas filmagens, contando, provavelmente com a ajuda de uma assistente de pesquisa.

Informamos que o desenvolvimento deste projeto foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e foi autorizado pelo diretor do Colégio. Caso ainda existam dúvidas sobre o projeto, maiores informações podem ser obtidas pelas vias abaixo identificadas:

- Profa. Dra. Rosária Justi

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, telefone: 3409.5694, e-mail: rjusti@ufmg.br

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG

Unidade Administrativa II, 2o. andar, sala 2005, Campus Pampulha, telefone: 3409.4592.

Certas de contar com sua compreensão em relação à importância de promovermos um ensino melhor para os alunos e do papel que a pesquisa em Educação pode desempenhar nesse sentido, solicitamos que concorde em participar da mesma, preenchendo e assinando uma das vias deste documento.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Rosária Justi

Profa. Mary Mendes Oliveira dos Anjos

Pesquisadora responsável

Mestranda em Educação

#### CONCORDÂNCIA

Após ler este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, informo que entendi os objetivos e a metodologia a ser utilizada no desenvolvimento do projeto de pesquisa “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. Sendo assim, concordo em participar das atividades do mesmo.

Nome da professora:

Assinatura:

### **ANEXO III: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido destinado aos Responsáveis pelos Alunos**

Srs. pais ou responsáveis pelos alunos do nono ano do Colégio YYY,

De acordo com os documentos oficiais sobre o Ensino de Ciências no Brasil, espera-se que os alunos tanto aprendam o conteúdo dessa disciplina quanto desenvolvam várias habilidades que lhes capacitem a exercer mais plenamente a cidadania. A literatura da área de Educação em Ciências tem mostrado que várias dessas habilidades podem ser desenvolvidas quando os alunos participam de atividades de ensino relacionadas às práticas da própria ciência (como, por exemplo, a investigação experimental, a modelagem, e a argumentação).

Na última década, nosso Grupo de Pesquisa tem desenvolvido uma série de investigações envolvendo a promoção do ensino de ciências nessa perspectiva. Todos os nossos resultados têm mostrado que a participação dos alunos nesses tipos de atividades favorecem imensamente o aprendizado dos temas envolvidos, assim como o desenvolvimento de várias habilidades. Um dos aspectos que contribui para isto é o fato de as nossas pesquisas serem conduzidas em salas de aula regulares – o que só é possível a partir da valiosa colaboração de algumas escolas (diretores, professores, pais e alunos) que aceitam participar das mesmas.

Nessas pesquisas, temos também desenvolvido instrumentos que possibilitam analisar os dados obtidos de forma a favorecer discussões relevantes. Há dois anos atrás, por exemplo, desenvolvemos um instrumento para avaliar a qualidade de argumentos produzidos por alunos do ensino médio quando participavam de atividades de modelagem. Esse instrumento se mostrou bastante eficiente mas, para que sua credibilidade junto a outros pesquisadores seja garantida, precisamos utilizá-lo em outros contextos. Para tanto, pretendemos aplicar, para alunos do nono ano do Instituto Baião Santos, algumas atividades investigativas sobre o tema dissolução. As atividades são simples e envolvem dissolver materiais cotidianos em água e discutir os aspectos observados. Elas podem ser desenvolvidas em três ou quatro encontros (dependendo do nível de participação dos alunos nas discussões) e serão conduzidas pela professora de Química do nono ano, que também é membro de nosso Grupo de Pesquisa. Visando não comprometer o cumprimento da programação anterior da disciplina, as atividades serão realizadas no período da tarde, em dias a serem combinados entre a professora e os alunos interessados em participar. Essas datas serão comunicadas por escrito aos responsáveis pelos alunos. Considerando que muitos alunos têm outros compromissos durante a tarde e que a atividade não será avaliada, acreditamos que nem todos se interessem em participar, ou possam fazê-lo. Caso o(a) aluno(a) pelo qual você é responsável se interesse em participar e tenha disponibilidade para tal, solicitamos sua autorização para que isto aconteça.

Durante o desenvolvimento dessas atividades, os alunos trabalharão em grupos pequenos e os encontros serão registrados em vídeo. Isto é necessário pois precisamos registrar todas as falas e gestos envolvidos nas discussões. Como acontece em todas as pesquisas, as imagens dos alunos serão usadas apenas na análise dos dados, conduzida em nosso Grupo de Pesquisa. Além disso, os alunos e a escola não serão identificados em nenhum dos trabalhos resultantes desta pesquisa.

Considerando todos estes aspectos, a participação na pesquisa implica em riscos mínimos para os alunos (talvez apenas ode eles utilizarem os materiais de forma diferente da solicitada nas atividades). Entretanto a professora e as pessoas responsáveis pela filmagem estarão atentas, impedindo que isto aconteça. Além disso, a partir dos resultados de nossas pesquisas anteriores, acreditamos que eles podem se beneficiar por aprenderem um conceito químico importante a partir da vivência de atividades interessantes e por terem oportunidade de desenvolver sua capacidade argumentativa. Entretanto, se por algum motivo um(a) aluno(a) desistir durante o processo, ele(a) tem todo o direito de deixar de participar dos encontros. Nesse caso, os diálogos dos quais aquele(a) aluno(a) participou não serão utilizados na pesquisa.

A partir dos dados coletados, faremos a análise utilizando o instrumento desenvolvido anteriormente para, depois, discutirmos a validade do mesmo. Este será o foco da dissertação de Mestrado de minha aluna Mary Mendes Oliveira dos Anjos, atualmente intitulado “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. A mestranda Mary será responsável pelas filmagens, contando, provavelmente com a ajuda de uma assistente de pesquisa.

Informamos que o desenvolvimento deste projeto foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e foi autorizado pelo diretor do Colégio. Caso ainda existam dúvidas sobre o projeto, maiores informações podem ser obtidas pelas vias abaixo identificadas:

- Profa. Dra. Rosária Justi

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, telefone: 3409.5694, e-mail: rjusti@ufmg.br

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG

Unidade Administrativa II, 2o. andar, sala 2005, Campus Pampulha, telefone: 3409.4592.

Certas de contar com sua compreensão em relação à importância de promovermos um ensino melhor para os alunos e do papel que a pesquisa em Educação pode desempenhar nesse sentido, solicitamos que autorize a participação do(a) aluno(a) pelo(a) qual é responsável nesta pesquisa, preenchendo e assinando uma das vias deste documento.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Rosária Justi

Profa. Mary Mendes Oliveira dos Anjos

Pesquisadora responsável

Mestranda em Educação

#### AUTORIZAÇÃO

Após ler este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, informo que entendi os objetivos e a metodologia a ser utilizada no desenvolvimento do projeto de pesquisa “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. Sendo assim, autorizo o(a) aluno(a) abaixo identificado(a) a participar das atividades do mesmo.

Nome do(a) aluno(a):

Nome do(a) responsável:

Assinatura do(a) responsável:

#### **ANEXO IV: Termo de Assentimento Livre e Esclarecido**

Prezado aluno(a) do nono ano do Colégio YYY,

Um dos objetivos importantes do ensino de ciências é que você desenvolva várias habilidades como, por exemplo, as de saber organizar e discutir suas ideias. Tais habilidades podem ser desenvolvidas quando você participa de atividades experimentais, de modelagem e das que favorecem discussões com seus colegas e/ou com o professor.

Na última década, nosso Grupo de Pesquisa tem desenvolvido uma série de pesquisas relacionadas com esses temas. Nossos resultados têm mostrado que a participação de alunos nesses tipos de atividades favorece imensamente o aprendizado dos temas envolvidos, assim como o desenvolvimento de várias habilidades. Nossas pesquisas são sempre conduzidas em salas de aula regulares, mas isto só é possível a partir da valiosa colaboração de algumas escolas (diretores, professores, pais e alunos) que aceitam participar das mesmas.

Nessas pesquisas, temos também desenvolvido instrumentos para analisar os dados obtidos de forma a favorecer discussões importantes. Há dois anos atrás, por exemplo, desenvolvemos um instrumento para avaliar a qualidade dos argumentos produzidos por alunos do ensino médio quando participavam de atividades de modelagem. Esse instrumento se mostrou bastante eficiente mas, para que outros pesquisadores o aceitem como válido, precisamos utilizá-lo em outras salas de aula. Para tanto, pretendemos aplicar, para os alunos da sua turma, algumas atividades investigativas sobre o tema dissolução. As atividades são simples e envolvem dissolver materiais cotidianos em água e discutir os aspectos observados. Elas podem ser desenvolvidas em três ou quatro encontros (dependendo do nível de participação dos alunos nas discussões) e serão conduzidas pela sua professora de Química, que também é membro de nosso Grupo de Pesquisa. Visando não comprometer o cumprimento da programação anterior da disciplina, as atividades serão realizadas no período da tarde, em dias a serem combinados entre a professora e os alunos interessados em participar. Essas datas serão comunicadas por escrito aos seus responsáveis. Considerando que muitos alunos têm outros compromissos durante a tarde e que a atividade não será avaliada, acreditamos que nem todos se interessem em participar, ou possam fazê-lo. Caso você se interesse em participar e tenha disponibilidade para tal, solicitamos sua autorização para que isto aconteça.

Durante a realização dessas atividades, vocês (alunos) trabalharão em grupos pequenos e os encontros serão registrados em vídeo. Isto é necessário, pois precisamos registrar todas as falas e gestos envolvidos nas discussões. Como acontece em todas as pesquisas, as imagens dos alunos serão usadas apenas na análise dos dados, conduzida em nosso Grupo de Pesquisa. Além disso, os alunos e a escola não serão identificados em nenhum dos trabalhos resultantes desta pesquisa.

Considerando todos estes aspectos, a participação na pesquisa implica em riscos mínimos para vocês, alunos (talvez apenas o de utilizarem os materiais de forma diferente da solicitada nas atividades). Entretanto a professora e as pessoas responsáveis pela filmagem estarão atentas, impedindo que isto aconteça. Além disso, a partir dos resultados de nossas pesquisas anteriores, acreditamos que você pode se beneficiar por aprender um conceito químico importante a partir da vivência de atividades interessantes e por ter oportunidade de desenvolver sua habilidade de argumentar. Entretanto, se por algum motivo você desistir durante o processo, tem todo o direito de deixar de participar dos encontros. Nesse caso, os diálogos dos quais você participou não serão utilizados na pesquisa.

A partir dos dados coletados, faremos a análise utilizando o instrumento desenvolvido antes. Este será o foco da dissertação de Mestrado de minha aluna Mary Mendes Oliveira dos Anjos, atualmente intitulado “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem”. A mestranda Mary será responsável pelas filmagens, contando, provavelmente com a ajuda de uma assistente de pesquisa.

Informamos que o desenvolvimento deste projeto foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e foi autorizado pelo diretor do Colégio. Caso ainda

existam dúvidas sobre o projeto, maiores informações podem ser obtidas nos seguintes contatos:

- Profa. Dra. Rosária Justi  
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, telefone: 3409.5694, e-mail: rjusti@ufmg.br
- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG  
Unidade Administrativa II, 2o. andar, sala 2005, Campus Pampulha, telefone: 3409.4592.

Certas de contar com sua compreensão em relação à importância de promovermos um ensino melhor e do papel que a pesquisa em Educação pode desempenhar nesse sentido, solicitamos sua concordância em participar desta pesquisa, preenchendo e assinando uma das vias deste documento.

Atenciosamente,

Profa. Dra. Rosária Justi  
Pesquisadora responsável

Profa. Mary Mendes Oliveira dos Anjos  
Mestranda em Educação

#### CONCORDÂNCIA

Após ler este Termo de Assentimento Livre e Esclarecido, informo que entendi os objetivos e da pesquisa “Análise dos Argumentos dos Alunos em Contextos de Ensino Baseado em Modelagem” e como ela será feita. Sendo assim, concordo em participar das atividades da mesma.

Nome do(a) aluno(a):

Assinatura do(a) aluno(a):



## ANEXO V: Unidade Didática

### ATIVIDADE 1

Na bancada existem os seguintes sistemas:

- **SISTEMA 1:** frasco com água e um pedaço de giz.
- **SISTEMA 2:** frasco com água e recipiente com certa quantidade de pó para preparar suco.

Com relação a cada um desses sistemas:

1. Tente prever o que ocorrerá quando, em cada um deles, seus constituintes forem misturados. No quadro abaixo, anote suas previsões e justifique-as.

SISTEMA	PREVISÃO	JUSTIFICATIVA
<b>1</b>		
<b>2</b>		

2. Misture os constituintes de cada sistema e anote no quadro abaixo o que você observou. No sistema 2, utilize uma colher ou bastão de vidro para lhe ajudar.

SISTEMA	OBSERVAÇÕES
<b>1</b>	
<b>2</b>	

3. Caso tenham ocorrido, discuta as diferenças entre aquilo que você havia previsto inicialmente e aquilo que você observou ao misturar os sistemas. Por que você acha que essas diferenças ocorreram?

### ATIVIDADE 2

1. Elabore um modelo para cada sistema obtido na questão 2 da atividade anterior com o objetivo de explicar os fenômenos observados **NO NÍVEL SUBMICROSCÓPICO**. Para tanto, utilize o material disponibilizado. Depois, **DESENHE** e **EXPLIQUE** seus modelos.

Modelo 1. Sistema 1	Modelo 2. Sistema 2
Explicação	Explicação

2. As ideias expressas nos modelos 1 e 2 podem ser sintetizadas em um único modelo, isto é, é possível expressar um único modelo que seja capaz de explicar a dissolução ou não de uma substância em outra?

<input type="checkbox"/> Sim. Então, <u>caracterize</u> seu modelo para a dissolução e <u>explique</u> como ele pode ser usado para explicar o que você observou nos dois sistemas.	<input type="checkbox"/> Não. Então, <u>justifique</u> porque não é possível propor um único modelo para explicar o que você observou nos dois sistemas.

3. Esquematize suas ideias de forma a tentar convencer seus colegas de que seu modelo único (questão 2) ou seus modelos individuais (questão 1) é/são satisfatório(s) para explicar a DISSOLUÇÃO ou não de uma substância em outra.
4. Na questão 3, quais EVIDÊNCIAS foram levadas em conta?

### ATIVIDADE 3

Considere novamente os constituintes do sistema 2 utilizados na Atividade 1.

- **SISTEMA 2:** béquer com água e vidro de relógio com certa quantidade de pó para preparar suco.
1. Adicione o pó para preparar suco à água, **SEM AGITAÇÃO** e, após algum tempo, anote suas observações no quadro abaixo.

SISTEMA	OBSERVAÇÕES
2 (sem agitação)	

2. Seu modelo final da atividade anterior pode ser usado para explicar suas observações atuais?

<input type="checkbox"/> Sim. Então, <u>descreva</u> como seu modelo pode explicar as observações atuais.	<input type="checkbox"/> Não. Então, <u>reformule</u> seu modelo de forma que o novo modelo possa ser usado para explicar as observações atuais. <u>Represente</u> o novo modelo e <u>descreva</u> como ele pode explicar as observações atuais.

**ATIVIDADE 4**

Durante as atividades, você elaborou e reformulou modelos. Nesta atividade você vai discutir a abrangência e as limitações dos modelos construídos.

Na bancada temos água, gasolina e álcool comum (etanol). Com estas substâncias, o professor irá montar os sistemas descritos no quadro abaixo. Anote suas observações.

SISTEMA	OBSERVAÇÕES
Água + Gasolina	
Água + Etanol	
Gasolina + Etanol	

1. Usando seu modelo final (Atividade 3), como você explica suas observações do sistema água + gasolina?
2. Usando seu modelo final (Atividade 3), como você explica suas observações do sistema água + etanol?
3. Usando seu modelo final (Atividade 3), como você explica suas observações do sistema gasolina + etanol?