

**Nilmara Braga Mozzer**

**O ENTENDIMENTO CONCEITUAL  
DO PROCESSO DE DISSOLUÇÃO  
A PARTIR DA ELABORAÇÃO DE  
MODELOS E SOB A PERSPECTIVA DA  
TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS**

**Belo Horizonte**

**2013**

**Nilmara Braga Mozzer**

**O ENTENDIMENTO CONCEITUAL  
DO PROCESSO DE DISSOLUÇÃO A PARTIR  
DA ELABORAÇÃO DE MODELOS  
E SOB A PERSPECTIVA DA  
TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS**

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

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Orientadora: Profa. Dra. Rosária Justi

Orientador no Estágio Sanduíche: Prof. Dr. Gérard Vergnaud

**Belo Horizonte**

**2013**

**Faculdade de Educação da UFMG**

*“O objetivo principal da educação nas escolas deveria ser o de criar homens e mulheres que sejam capazes de fazer coisas novas, não simplesmente repetir o que outras gerações têm feito; homens e mulheres que sejam criativos, inventivos e descobridores, que possam ser críticos e verificadores e não aceitem tudo que lhes é oferecido.”*

*Jean Piaget*

(Citado em Education for Democracy, Proceedings from the Cambridge School Conference on Progressive Education, 1998. Kathe Jervis and Arthur Tobier (Eds.))

## AGRADECIMENTO

À Deus por absolutamente tudo.

À Rosária Justi, com quem compartilho o desejo de explorar o conhecimento, agradeço pela amizade, orientação, compreensão e disposição em ajudar, sempre presentes durante todo o percurso que trilhamos juntas.

Ao Vergnaud, pela orientação, compromisso, carinho e acolhida. À Sandra Bruno, pelo apoio, pelas discussões e por ter oportunizado minha inserção no grupo de pesquisas CRAC. À Isabelle Kermen, Cécile de Hosson e Laurence Viennot, pelas discussões e por me acolherem tão gentil e solicitamente no grupo de pesquisas André Revuz.

Ao meu marido, Leandro Mozzer e à minha filha, Maria Mozzer, por existirem e por fazerem a minha vida muito especial.

À minha mãe, Roni Braga e à minha irmã, Liliane Braga, pela cumplicidade e amparo que permitiram tornar essa tese possível. Ao meu pai, Alintor Carvalho, pelo apoio e compromisso com o trabalho. Às minhas sobrinhas Juju Braga e Bibi Braga, fontes de alegria e de inspiração.

À Carol, professora de inglês, pela disponibilidade e profissionalismo. Ao Marcos Antonace, professor de francês, por partilhar comigo de tantos momentos de uma aprendizagem singular.

Aos meus familiares, em particular à Milce Braga, pela criatividade e habilidades inspiradoras, ao Dário Moura, pelo carinho, olhar crítico e competência técnica, à Gláucia Moura e Daniel Braga, pela colaboração e ao Dimas Moura, por me ensinar a grandeza da simplicidade.

Aos amigos, em especial à Helô Avelar, pela fidelidade e companheirismo e à Mélanie Ducaté, pelo cuidado.

Aos amigos do grupo de pesquisa REAGIR, pelas discussões e por me incentivarem neste período de trabalho intenso. Agradeço, em especial, à Paula Paganini, Paula Mendonça e Kristianne Lina, por partilharem comigo do entendimento da força de um trabalho em grupo, ainda que o resultado almejado nem sempre seja o atingido.

À Ana Márcia e ao Luiz Carlos, diretores da escola onde realizei esta pesquisa, e aos alunos entrevistados, que gentil e prontamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Aos professores Maria Lucia Faria Moro, Orlando Aguiar Júnior, Maria de Fátima Cardoso Gomes, Paula Cristina Cardoso Mendonça, Danusa Munford e Maria Eunice Ribeiro Marcondes por darem suas contribuições a este trabalho, participando em diferentes momentos de sua realização e, especialmente, como membros (titulares e suplentes) da banca de avaliação.

## RESUMO

A modelagem é uma prática autêntica no ensino de Ciências, pois possibilita a conjugação de processos individuais e sociais na construção do conhecimento nesse domínio. Neste trabalho, atividades de modelagem propostas a partir do Diagrama Modelo de Modelagem favorecem aos sujeitos vivenciar as etapas de produção de modelos explicativos para o processo de dissolução; expressão desses modelos em diferentes modos de representação (concreto, gestual, verbal, com ênfase na elaboração de comparações etc.); teste e avaliação dos modelos elaborados. Na investigação do entendimento conceitual do processo de dissolução por sujeitos vivenciando essas etapas, conjugamos o referencial da modelagem com o da Teoria de Campos Conceituais (TCC), elaborada pelo psicólogo francês Gérard Vergnaud. Seis alunos da última série do ensino fundamental de uma escola particular de Belo Horizonte participaram de nosso estudo. Eles trabalharam individualmente e sob orientação da pesquisadora, sendo questionados por ela à medida que desenvolviam seus modelos para representar e explicar o comportamento submicroscópico dos sistemas 'giz e água' e 'suco em pó e água'. As entrevistas foram filmadas e gravadas em áudio e todo material produzido pelos sujeitos (modelos concretos, desenhos e folhas de atividades) fez parte da nossa coleta de dados. Quatro dos seis participantes tiveram suas entrevistas selecionadas para análise pela clareza e detalhamento na expressão de suas ideias. Para subsidiar a análise dos dados, foram elaborados estudos de caso para cada sujeito e realizamos uma análise micro-desenvolvimental e processual das múltiplas fontes de dados (gravações em áudio e vídeo das entrevistas e suas transcrições, modelos concretos, fotografias, material escrito e notações de campo da pesquisadora). Os esquemas de representação (ER) do processo de dissolução foram identificados e sua modificação, acompanhada. Nas atividades relacionadas a *produção* e *expressão* de seus modelos, os sujeitos mobilizaram o ER *espalhamento meso*, no qual a dissolução é concebida como um processo de desgaste do soluto mesoscópico pelo solvente contínuo ou mesoscópico e subsequente dispersão das partículas daquele neste; ou o ER *reação meso* em que ela é entendida como um processo de englobamento das partículas mesoscópicas e afins de soluto e solvente. Nas atividades relacionadas a *teste* e *avaliação*, eles passaram da mobilização do ER *união física submicro* (no qual a dissolução é concebida como um processo em que as partículas esféricas e submicroscópicas do soluto e do solvente entram em contato por afinidade ou mantêm o contato entre as partículas do mesmo gênero devido à ineficiência do solvente na separação das partículas do soluto) à mobilização do ER *interação submicro* (no qual a dissolução é concebida como um processo dependente do balanço das intensidades das interações eletrostáticas estabelecidas pelas partículas submicroscópicas do soluto e do solvente no sistema). As comparações elaboradas pelos sujeitos acompanharam esta evolução: daquelas de mera aparência, centradas em aspectos perceptivos superficiais, às analogias, centradas em aspectos relacionais. Essa evolução no entendimento evidenciada pela análise dos esquemas de representação e que ocorre a partir da participação dos sujeitos nas atividades de modelagem é gradual e lenta. Nela, a autenticidade pessoal nos modelos elaborados é mantida, uma vez que não significa a extinção e substituição de ideias pelos sujeitos, mas o desenvolvimento adaptativo de seus esquemas de representação, que inclui mudança e ampliação dos seus conhecimentos-em-ação na medida em que eles enfrentam situações múltiplas. Uma vez que o ensino fundamentado em modelagem e a TCC pressupõem o engajamento mental e material dos sujeitos na ação em situação, a conjugação desses referenciais se mostra profícua para compreender certos aspectos da construção de conhecimento pelos sujeitos naquelas atividades e em outras situações autênticas de ensino.

## ABSTRACT

Modelling is an authentic practice in science education because it makes it possible to integrate the individual and the social processes of knowledge building in that domain. In this study, modelling-based activities produced from the Model of Modelling Diagram favoured individuals to experience the stages of producing explicative models for the dissolving process; expressing such models in different modes of representation (concrete, gestural, verbal, with special emphasis on the drawing of comparisons, etc.); testing and evaluation of the models. In order to investigate the subjects' conceptual understanding about dissolving when experiencing such stages, we integrated the modelling theoretical perspective with the Theory of Conceptual Fields (TCF), proposed by the French psychologist Gérard Vergnaud. Six students from the last grade of the fundamental level of a private school in Belo Horizonte participated in our study. They performed the modelling activities individually and under the supervision of the researcher, who questioned them whilst they proposed their models to represent and explain the sub-microscopic behaviour of the systems 'chalk and water' and 'powder juice and water'. The interviews were video and audio recorded, and all the material produced by the subjects (concrete models, drawings, and worksheets) comprised our data gathering. The interviews of four subjects were selected to be analysed due to the clear and detailed way their ideas had been expressed. In order to analyse the data, we produced case studies for each of the subjects, and conducted a micro-developmental and processing analysis of the multiple sources of data (audio and video recordings of the interviews, their transcriptions, concrete models, photos, written material, and the researcher's filed notes). The representation schemes (RS) for the dissolving process were identified, and their changes were followed. In the activities related to the production and expression of models, the subjects used the *mesoscopic scattering*, according to which dissolving is a process of wearing of a mesoscopic solute by a continuum or mesoscopic solvent, followed by the dispersion of the particles of the former into the last; or the RS *mesoscopic reaction*, according to which dissolving is a process of encompassing of mesoscopic and similar particles of solute and solvent. In the activities related to tests and evaluation of the models, they started using the RS *sub-microscopic physical union* (according to which dissolving is a process in which the sub-microscopic and spherical particles of the solute and the solvent are physically connected due to affinity, but particles of the same type are kept connected due to the incapacity of the solvent to separate the solute particles), and evolved to use the RS *sub-microscopic interaction* (according to which dissolving is a process that depends on the balance of the intensity of the electrostatic interactions established between the sub-microscopic particles of the solute and the solvent in the system). The comparisons made by the subjects followed the same pattern of evolution: from those of mere appearance, focused on observable superficial features, to analogies, focused on relational ones. Such an evolution of their understanding was made evident by the analysis of the RS and that occurs from the subjects' participation in the modelling-based activities is progressive and gradual. In this evolution, the individual authenticity of the models continues during the whole process, since it does not mean substitution or extinction of the subjects' ideas. It rather means an adaptive development of their RS that includes changing and enlargement of their knowledge-in-action as they experience multiple situations. Since modelling-based teaching and the TCF assume the mental and material engagement of the subjects in the action, their integration showed to be fruitful in supporting the understanding of some aspects concerning knowledge construction in modelling-based activities and, as so, seem to be fruitful in the study of other authentic teaching situations.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTO.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Contextualização da pesquisa .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Estrutura da tese.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 2. OS PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Processos individuais na aprendizagem de Ciências .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Processos sociais na aprendizagem de Ciências .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3. A natureza do conhecimento científico e a conjugação de processos         individuais e sociais na construção do conhecimento de Ciências .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 3. O FENÔMENO DE DISSOLUÇÃO NA CIÊNCIA, NO ENSINO E NA PESQUISA .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. Abordagem do tema na ciência .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. A relevância do tema no ensino e os aspectos curriculares para o         ensino fundamental.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3. Abordagem das concepções sobre a natureza da matéria e         dissolução na literatura da área de ensino de Ciências .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4. Abordagem das concepções sobre a natureza da matéria e         dissolução na Psicologia Genética .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 4. MODELOS E MODELAGEM NA CIÊNCIA E NO ENSINO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. A inter-relação entre modelos, hipóteses, teorias, e analogias na         ciência .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2. Modelos na cognição e no ensino de Ciências .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.1. As analogias no ensino de Ciências .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3. Modelagem na ciência e no ensino de Ciências .....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.1. Modelagem na ciência .....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.2. A elaboração de analogias fundamentada na modelagem no ensino                 de Ciências.....</b>	<b>54</b>

4.3.3. <i>A modelagem na construção do conhecimento de Ciências</i> .....	56
<b>CAPÍTULO 5. A TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS E SUAS RELAÇÕES COM A MODELAGEM</b> .....	<b>60</b>
<b>5.1. Fundamentos da TCC</b> .....	<b>60</b>
5.1.1. <i>Os componentes dos esquemas</i> .....	64
5.1.2. <i>A representação e o processo de conceitualização</i> .....	68
<b>5.2. A conjugação dos referenciais TCC e Ensino Fundamentado em     Modelagem na abordagem do entendimento conceitual do processo     de dissolução</b> .....	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 6. A PESQUISA</b> .....	<b>75</b>
<b>6.1. Objetivos e Questões de pesquisa</b> .....	<b>75</b>
<b>6.2. Aspectos metodológicos</b> .....	<b>76</b>
6.2.1. <i>Seleção da amostra e contexto de ensino</i> .....	76
6.2.2. <i>Coleta de dados</i> .....	78
6.2.2.1. <i>Instrumento de coleta</i> .....	78
6.2.2.2. <i>Caracterização e condução das entrevistas</i> .....	83
6.2.3. <i>Análise</i> .....	89
6.2.3.1. <i>Categorias de análise</i> .....	93
6.2.3.2. <i>Caracterização dos estudos de caso</i> .....	96
<b>CAPÍTULO 7. ANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>98</b>
<b>7.1. Estudo de caso 1</b> .....	<b>98</b>
<b>7.2. Estudo de caso 2</b> .....	<b>128</b>
<b>7.3. Estudo de caso 3</b> .....	<b>153</b>
<b>7.4. Estudo de caso 4</b> .....	<b>181</b>
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES</b> .....	<b>206</b>
<b>8.1. A identificação dos esquemas de representação na modelagem da     dissolução</b> .....	<b>206</b>
<b>8.2. A modificação dos esquemas de representação na modelagem da     dissolução</b> .....	<b>209</b>
8.2.1. <i>Aspectos invariantes dos esquemas</i> .....	209
8.2.2. <i>Aspectos específicos das atividades dos sujeitos</i> .....	216
<b>8.3. O papel das comparações na dinâmica das elaborações dos sujeitos</b> .	<b>217</b>
<b>8.4. O entendimento conceitual na modelagem sob a perspectiva da TCC</b>	<b>221</b>
<b>CAPÍTULO 9. IMPLICAÇÕES</b> .....	<b>225</b>

<b>9.1. Principais contribuições do trabalho .....</b>	<b>225</b>
<b>9.2. Implicações para o ensino .....</b>	<b>227</b>
<b>9.3. Implicações para a pesquisa .....</b>	<b>229</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>231</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>240</b>
<b>Anexo 1. Atividade de Introdução às Analogias .....</b>	<b>240</b>
<b>Anexo 2. Atividades de Modelagem .....</b>	<b>241</b>
<b>Anexo 3. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado à Direção da Escola .....</b>	<b>243</b>
<b>Anexo 4. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado aos Pais ou outro Responsável pelo Aluno .....</b>	<b>246</b>
<b>Anexo 5. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado ao Aluno .....</b>	<b>249</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	A Teoria Genética e a concepção construtivista do ensino e da aprendizagem.....	9
Figura 2.2.	Adaptação da representação de Johnstone para a inter-relação dos três níveis do conhecimento químico.....	17
Figura 3.1.	Conhecimentos pré-requisitos e conhecimentos construídos a partir da compreensão do tema 'soluções'.....	23
Figura 4.1.	Representação do relacionamento entre conjunto de afirmações, modelos e o representado.....	38
Figura 4.2.	Adaptação do esquema de Duit sobre o significado de analogia.....	40
Figura 4.3.	Versão simplificada do Diagrama Modelo de Modelagem.....	50
Figura 4.4.	Diagrama Modelo de Modelagem.....	50
Figura 5.1.	Relação entre os invariantes operatórios e as demais formas de conhecimento.....	65
Figura 5.2.	Esquema da análise da representação a partir da TCC.....	69
Figura 6.1.	Componentes sólidos dos sistemas observados.....	80
Figura 6.2.	Comportamento do sistema 'giz e água'.....	80
Figura 6.3.	Comportamento do sistema 'suco e água' com agitação.....	81
Figura 6.4.	Comportamento do sistema 'suco e água' sem agitação.....	81
Figura 6.5.	Representação esquemática das etapas de análise.....	93
Figura 7.1.	Representação gestual da proximidade das "moléculas" no giz elaborada por S1.....	101
Figura 7.2.	Representação dos componentes do sistema 'giz e água' antes e após a mistura elaborada por S1.....	103
Figura 7.3.	Representação gestual do processo de "englobamento" das "moléculas" do suco pelas de água elaborada por S1.....	105
Figura 7.4.	Representação dos componentes do sistema 'suco e água' antes e após a mistura elaborada por S1.....	106
Figura 7.5.	Representação para explicar o processo de "englobamento" das partículas elaborada por S1.....	107
Figura 7.6.	Representação da comparação da dissolução do suco com uma reação hipotética elaborada por S1.....	109
Figura 7.7.	Representação da água e do giz nos estados sólido, líquido e gasoso elaborada por S1.....	110
Figura 7.8.	Representação do sistema 'giz e água' elaborada por S1.....	111
Figura 7.9.	Representação reformulada da dissolução como união física entre as partículas de água e de suco elaborada por S1.....	114

Figura 7.10.	Representação reformulada da água e do suco antes da mistura e após a mistura elaborada por S1. ....	118
Figura 7.11.	Representação da mistura giz e água elaborada por S2. ....	129
Figura 7.12.	Representação dos componentes do sistema 'giz e água' antes da mistura elaborada por S2. ....	130
Figura 7.13.	Representação do sistema 'giz e água' durante e após a mistura dos componentes elaborada por S2. ....	131
Figura 7.14.	Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S2. ....	132
Figura 7.15.	Representação reformulada do giz (a) e da água (b) antes da mistura elaborada por S2 (primeira reformulação). ....	133
Figura 7.16.	Representação reformulada do giz antes da mistura em água elaborada por S2 (segunda reformulação). ....	134
Figura 7.17.	Representação de uma reação química genérica elaborada por S2. ....	136
Figura 7.18.	Representação reformulada do sistema 'giz e água' após a mistura elaborada por S2. ....	137
Figura 7.19.	Representação do sistema 'suco e água' antes (a), durante (b) e após (c) a mistura elaborada por S2. ....	139
Figura 7.20.	Representação para a separação dos componentes no processo de dissolução elaborada por S2. ....	141
Figura 7.21.	Representação gestual do processo de dissolução do giz elaborada por S3. ....	153
Figura 7.22.	Representação do giz antes da mistura em água (a) elaborada por S3. Detalhes de sua estrutura (b) e (c). ....	156
Figura 7.23.	Representação da água antes da mistura elaborada por S3. ....	158
Figura 7.24.	Representação da mistura giz e água elaborada por S3. ....	158
Figura 7.25.	Representação da água (a) e do suco em pó (b) antes da mistura elaborada por S3. ....	160
Figura 7.26.	Representação da mistura de suco e água elaborada por S3. Detalhe da dissolução como "englobamento". ....	161
Figura 7.27.	Representação reformulada do giz antes da mistura elaborada por S3. ....	163
Figura 7.28.	Representação reformulada da água antes da mistura com giz elaborada por S3. ....	164
Figura 7.29.	Representação reformulada da mistura giz e água elaborada por S3. ....	164
Figura 7.30.	Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S3. ....	165
Figura 7.31.	Representação reformulada do grão de suco antes da mistura, elaborada por S3. ....	167
Figura 7.32.	Representação reformulada da mistura de suco e água (a) e da união entre as partículas em detalhe (b) elaborada por S3. ....	168

Figura 7.33.	Representação dos componentes do sistema 'giz e água' antes da mistura (parte superior das figuras (a) e (b)) e após a mistura (parte inferior das figuras (a) e (b)) elaborada por S4. ....	184
Figura 7.34.	Representação gestual do processo de dissolução elaborada por S4..	185
Figura 7.35.	Representação da não dissolução do giz elaborada por S4.....	185
Figura 7.36.	Representação reformulada da mistura de giz e água elaborada por S4. ....	186
Figura 7.37.	Representação dos componentes do sistema 'suco e água' antes (a) e após (b) a mistura elaborada por S4.....	188
Figura 7.38.	Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S4.	189
Figura 7.39.	Representação reformulada da mistura giz e água elaborada por S4.	191
Figura 7.40.	Representação para a dissolução do suco como "englobamento" de partículas (a); e da reação química como rearranjo de átomos (b) elaboradas por S4.....	193
Figura 7.41.	Representação da atração entre as cargas opostas das partículas de cada um dos componentes do sistema 'giz e água' elaborada por S4..	197
Figura 8.1.	Representação da dinâmica de modificação dos esquemas de representação com relação aos invariantes operatórios. ....	213

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Contextualização da pesquisa

Certa vez fui procurada por uma aluna, que cursava a última série do ensino fundamental e que tinha conhecimento de que eu era professora de Química. Ela acabara de fazer uma avaliação e queria discutir uma das questões que tratava de processos de separação de misturas. Nesta, era solicitado que fossem indicados os métodos mais adequados para se separar os componentes da mistura sal, água, óleo e areia e que a resposta fosse justificada. A aluna disse ter apontado a filtração como processo inicial, e justificado dizendo que a areia e o sal ficariam retidos no filtro, uma vez que o sal só seria dissolvido na água se agitado. Segundo ela, como nada havia sido explicitado na questão sobre a agitação, deduziu que o componente sal não estaria dissolvido em água e que, portanto, seria separado juntamente com a areia. O processo seguinte, apontado pela aluna como necessário para separar a mistura de sal e areia obtida, foi a dissolução fracionada. De acordo com ela, tal procedimento garantiria a dissolução do sal através da agitação.

Muito provavelmente, essa trajetória de raciocínio era algo inimaginável para o seu professor de Química, para quem essa questão deveria estar entre as mais simples da avaliação. No contexto de ensino daquela aluna, discussões sobre o preparo de misturas como água e açúcar e água e sal, tão cotidianamente observadas, eram provavelmente consideradas desnecessárias.

Em seu cotidiano, no entanto, o que a aluna observa quando adoça seu suco, por exemplo, é que o açúcar só desaparece quando ela agita a mistura com a ajuda de uma colher. Como parte de um conhecimento que vai sendo construído na ação-interação, que inclui a interação com o outro e que se transforma a partir dessa ação, a agitação passa a ser entendida como a causa e a condição para a ocorrência do processo de dissolução de sólidos em água. Conhecimentos-em-ação implícitos como este, guiam o raciocínio dos alunos. Reconhecê-los e compreender como os alunos fazem uso deles é condição necessária para auxiliá-los na (re)construção dos significados científicos.

Pesquisas como as que realizamos no grupo REAGIR<sup>1</sup> (por exemplo, Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2010; Mozzer, Queiroz, & Justi, 2007; Souza & Justi, 2010) têm evidenciado que uma das maneiras possíveis de auxiliar os alunos nesta (re)construção pela ação-interação é através de atividades de modelagem, nas quais eles vivenciam a elaboração, expressão, crítica e reformulação de modelos. Essas atividades possibilitam a eles se valer de seus próprios recursos e, com o auxílio de seus professores e pares, modificar e enriquecer esses recursos. Nessas pesquisas, analisamos como as atividades de modelagem podem favorecer a aprendizagem de conteúdo e o desenvolvimento de habilidades investigativas dos alunos. Entretanto, todos os nossos trabalhos anteriores envolveram a realização de atividades de modelagem em salas de aula regulares com uma média de 35 alunos trabalhando em grupos e os dados anteriormente coletados não favoreceram análises detalhadas sobre como os alunos atribuem significados aos temas estudados.

Conscientes de que esta é uma das direções de evolução de nossos trabalhos, nesta pesquisa, acompanhamos os sujeitos trabalhando individualmente, sob orientação da pesquisadora. Além disso, considerando os resultados obtidos por nossos trabalhos anteriores relacionados à elaboração de analogias – que incluem minha pesquisa de Mestrado (Mozzer, 2008) e outros com divulgação no âmbito nacional e internacional (Mozzer & Justi, 2009b, 2010, 2012, 2013) – decidimos que as atividades de modelagem que subsidiariam esta pesquisa seriam voltadas para a elaboração de modelos em geral e analógicos em particular.

Se por um lado a modelagem tem se mostrado profícua em auxiliar os sujeitos na (re)construção de significados, por outro, esse referencial não dá suporte a uma análise profunda e detalhada desse processo. Nosso maior desafio, então, foi definir como conduzir a análise dos dados de forma a efetivamente favorecer a discussão de tal processo.

A partir de estudos na área de Psicologia Cognitiva, conhecemos a Teoria de Campos Conceituais (TCC), elaborada pelo psicólogo francês Gérard Vergnaud. Nossos estudos iniciais sobre a TCC evidenciaram que a mesma tinha uma grande potencialidade para sustentar as discussões que pretendíamos conduzir de forma a resultar, efetivamente, em produção de conhecimento para a área. Um dos motivos,

---

<sup>1</sup> Grupo de pesquisa cujo eixo central de investigação é constituído pelas temáticas Modelagem e Educação em Ciências. Esse grupo, no qual atuo como pesquisadora desde 2005, é coordenado pela professora Dra. Rosária Justi.

dentre vários outros discutidos neste trabalho, que nos levou a vislumbrar a conjugação entre a TCC e a modelagem como proffua para a pesquisa que nos propusemos a desenvolver é que, de acordo com a TCC, a compreensão de um conceito se dá através das situações e problemas que os sujeitos venham a enfrentar e sua aprendizagem não se reduz à sua definição. Tal consideração também embasa atividades de modelagem como as que propomos aqui, em que aprender e ensinar Ciências ocorre através da ação-interação em situações múltiplas.

Os estudos iniciais sobre a TCC foram realizados em parceria com o prof. Dr. Gérard Vergnaud, no período de três meses (entre dezembro de 2009 e fevereiro de 2010) em que passei na França, durante as férias acadêmicas. Esses estudos subsidiaram o detalhamento do meu projeto de Doutorado, a partir da análise de um piloto realizado no ano de 2009.

Novas discussões, estas a respeito do instrumento de coleta de dados, foram estabelecidas com o autor da TCC, em 2010, durante nossa participação no IV Colóquio Internacional de Educação e Contemporaneidade. Ao final deste mesmo ano, coletamos os dados que foram analisados de 2011 a 2012, período no qual realizei um estágio sanduíche sob supervisão de Gérard Vergnaud, na Université Paris VIII.

Os resultados deste processo de investigação são reportados nesta tese e esperamos, com eles, proporcionar contribuições ao campo da pesquisa e do ensino.

## **1.2. Estrutura da tese**

Nossa proposição de conjugar o referencial do Ensino de Ciências fundamentado em modelagem com a TCC da Psicologia Cognitiva na investigação do entendimento conceitual dos sujeitos é uma perspectiva inédita. Isto implica na necessidade de esclarecer posições e pressupostos e de estabelecer relações para a adequada compreensão de nossos objetivos. Em adição, propomos, como parte das atividades de modelagem, a elaboração de comparações pelos próprios sujeitos, algo escassamente investigado na área do ensino de Ciências e que também se baseia em pressupostos e relações que necessitam ser compreendidos. Isso justifica o fato de nos dedicarmos, nos quatro capítulos desta tese que seguem a introdução, à revisão da literatura.

No Capítulo 2, tratamos dos processos de construção individuais e sociais do conhecimento de Ciências, da natureza do conhecimento da ciência e assumimos uma posição epistemológica frente a eles.

No Capítulo 3, tratamos do tema dissolução, escolhido para a investigação do processo de entendimento conceitual dos sujeitos. Perpassamos a construção desse conhecimento na ciência, sua relevância, os aspectos curriculares de seu tratamento no nível fundamental de ensino e suas abordagens nas pesquisas do ensino de Ciências e da Psicologia Genética.

Visando familiarizar o leitor com os fundamentos dos dois referenciais sobre os quais apoiamos nosso trabalho, destinamos os capítulos 4 e 5 para a discussão da modelagem e da TCC. No Capítulo 4, de maneira geral, abordamos a modelagem como um processo de construção do conhecimento na ciência, assim como sua utilização e seu papel no ensino de Ciências. Em específico, discutimos o papel das analogias em ambos os domínios, uma vez que as atividades de modelagem propostas neste trabalho envolvem também a elaboração e refino de modelos analógicos. No Capítulo 5, abordamos os fundamentos da TCC, em especial, a noção e o papel dos esquemas na conceitualização que embasam este trabalho. Ao final do Capítulo 5 explicitamos também as conjugações que vislumbramos entre a TCC e a modelagem.

No Capítulo 6, intitulado “A Pesquisa”, destacamos nossos objetivos geral e específicos, nossas questões de pesquisa e abordamos como aspectos metodológicos a seleção e caracterização de nossa amostra; a descrição do contexto de ensino vivenciado pelos sujeitos entrevistados; o detalhamento da elaboração e dos objetivos de nosso instrumento de coleta de dados; a caracterização da entrevista quanto ao tipo de intervenção da pesquisadora; e a descrição de aspectos gerais de sua condução.

No Capítulo 7, apresentamos os estudos de caso elaborados a partir da análise da vivência pelos sujeitos de situações de modelagem, nas quais eles foram solicitados a elaborar, expressar, criticar e reformular suas representações para o processo de dissolução.

No Capítulo 8, tratamos em separado de cada uma das subquestões de pesquisa que nos propusemos investigar: a identificação dos esquemas de representação na modelagem da dissolução; a análise de suas modificações ao longo das situações vivenciadas; e o papel das comparações na dinâmica da elaboração do conhecimento pelos sujeitos. Tal tratamento subsidiou a resposta à nossa questão de pesquisa geral sobre o entendimento conceitual na modelagem sob a perspectiva da TCC, discutida ao final deste capítulo.

Finalmente, no Capítulo 9 apresentamos as principais contribuições de nosso trabalho numa área do conhecimento, o Ensino de Química, que ainda não havia sido

explorada pela TCC. Conjecturamos também as principais implicações para a pesquisa e para o ensino nessa e em outras áreas.

## CAPÍTULO 2. OS PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO

### 2.1. Processos individuais na aprendizagem de Ciências

No estudo da gênese do conhecimento no indivíduo, a questão de base da Psicologia Genética formulada por Piaget era: *Como o conhecimento do indivíduo se amplia?* ou *Como o indivíduo passa de um conhecimento inferior (menos organizado) a um conhecimento superior?* (Giusta, 1990)

Na tentativa de responder a essa questão, Piaget diferenciou as funções constantes (ou invariantes funcionais) da conduta e do pensamento das estruturas variáveis de um nível mental a outro. De acordo com ele, em todos os níveis, uma ação pressupõe sempre um interesse que a desencadeia, seja este de ordem fisiológica, afetiva ou intelectual (uma pergunta ou uma situação-problema, por exemplo). A inteligência procura sempre compreender, explicar etc. e essas funções do interesse são invariáveis em todos os estágios de um indivíduo. Por outro lado, 'os interesses' em oposição ao 'interesse', ou 'as explicações particulares' em oposição ao 'ato de explicar' assumem formas diferentes de acordo com o nível de desenvolvimento intelectual do indivíduo (Piaget, 1986).

Com relação à invariância das grandes funções do pensamento, Piaget (2008) afirma que "a inteligência é uma *adaptação*" (p. 15, grifo nosso) e que a *organização* é inseparável da adaptação. Como a primeira afirmação evidencia, o processo de adaptação assume grande importância na teoria de Piaget e constitui também um dos nossos focos de interesse, uma vez que este trabalho trata do entendimento, pelos alunos, de um objeto do conhecimento químico: o conceito de dissolução.

Na relação entre o sujeito e o objeto do conhecimento, os quais formam uma totalidade, as ações de um sobre o outro são recíprocas. Isto garante a construção concomitante do conhecimento e de suas estruturas. Da interação sujeito/objeto advém o interesse, ou a necessidade, que tende a incorporar as coisas e pessoas à atividade própria do sujeito, ou seja, que contribui para que o indivíduo assimile o mundo exterior às estruturas do conhecimento já construídas. A *assimilação*, portanto, constitui uma tentativa do indivíduo de integrar os dados da experiência aos

esquemas<sup>2</sup> cognitivos e/ou estruturas<sup>3</sup> previamente construídos (ação do sujeito sobre o objeto). Se os esquemas ou as estruturas se mostram inoperantes, eles tendem a se modificar como consequência da própria integração, ou seja, passam por uma *acomodação* frente às exigências e especificidades do objeto de conhecimento (ação do objeto sobre o sujeito). Sendo assim, assimilação e acomodação são processos inter-relacionados: ao incorporar novos elementos aos esquemas ou estruturas prévios, a inteligência os modifica de forma a ajustá-los aos novos dados e, em contrapartida, esse ajuste só é possível pela assimilação dos novos elementos, uma vez que “as coisas nunca são conhecidas em si mesmas” (Piaget, 2008, p.18). Do equilíbrio entre esses mecanismos de assimilação e acomodação resulta a *adaptação* intelectual (Piaget, 2008), uma adequação cognitiva dos esquemas e estruturas ao mundo externo. Essa é a forma geral e invariável do equilíbrio psíquico.

A atividade do sujeito é de suma importância no seu desenvolvimento mental, exercendo-se a partir da assimilação que ocorre por meio de esquemas de ação. Nesse processo de desenvolvimento, ocorre uma progressiva e cada vez mais sofisticada adaptação/readaptação à realidade. Um desequilíbrio é causado quando algo se modifica fora do sujeito ou nele, provocando um reajustamento de sua conduta em função dessa mudança. Um novo equilíbrio é estabelecido entre o fato novo que desencadeou o desequilíbrio e a organização mental anterior. Entretanto, não significa um retorno ao equilíbrio anterior, mas o estabelecimento de um equilíbrio novo, num nível superior e mais estável, que passa a funcionar como ponto de partida para as equilibrações ulteriores. Esse movimento de superação contínuo e perpétuo é chamado de *equilíbrio majorante* (Piaget, 1975).

No que diz respeito à *organização* e sua relação com a adaptação, ambas compõem uma totalidade funcional e são interdependentes. Na organização do conhecimento, a lei das relação das partes com o todo rege tanto o fato de que uma operação intelectual é sempre relativa a todas as outras quanto as relações recíprocas entre elementos de uma mesma operação. Sendo assim, cada esquema cognitivo do sujeito se encontra coordenado com todos os demais e constitui ele mesmo uma totalidade de partes diferenciadas e inter-relacionadas. Por isso, “Todo e qualquer ato

---

<sup>2</sup> Com base em obras como Piaget e Inhelder (2011) e Piaget (1986, 2008), podemos compreendê-los como instrumentos a partir dos quais os sujeitos interpretam a realidade e organizam sua atividade. A definição de esquema adotada neste trabalho provém da Teoria de Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud que, por sua vez, parte do construto de Piaget e o amplia. Isso será posteriormente discutido.

<sup>3</sup> Conjunto de esquemas de ação e representativos do sujeito e sua combinação a partir de determinadas regras e operações pelo sujeito (C. Coll, 1997).

de inteligência supõe um sistema de implicações mútuas e significações solidárias” (Piaget, 2008, p. 19). Isso reflete a indissociabilidade entre adaptação e organização no pensamento, que pode ser expressa da seguinte maneira: “é adaptando-se às coisas que o pensamento se organiza e é organizando-se que estrutura as coisas” (p.19).

Em coexistência com as funções constantes estão as estruturas cognitivas que variam de um nível mental a outro e que organizam a inteligência humana numa linha progressiva: partem dos reflexos, passam pela representação (inteligência simbólica), ganham maior relevância com a elaboração das operações concretas (começo da lógica) e atingem o apogeu com a capacidade dedutiva das operações intelectuais abstratas (operações formais), caracterizadas por “conservações rigorosas e necessárias pelo poder de eliminação, pré-correção ou evitação de erros” (Giusta, 1990, p. 33). As estruturas compõem e caracterizam os estágios ou períodos do desenvolvimento do indivíduo. Cada estágio, constitui uma forma particular de equilíbrio, sendo a equilibração cada vez mais completa quando se passa de um estágio a outro.

No seu estudo sobre a gênese do conhecimento, Piaget investigou um *sujeito epistêmico*, focalizando uma cognição geral, ou seja, aquilo que é comum a todas as crianças, desconsideradas suas diferenças individuais – um modelo universal (Parrat-Dayan, 2003). Como discutido aqui, o enfoque de sua teoria estava na maneira pela qual os indivíduos atribuem significado ao objeto do conhecimento por meio de esquemas ou de estruturas, sendo os mais desenvolvidos aqueles associados a operações lógicas gerais. Assim, apesar do conteúdo matemático associado a esses esquemas e/ou estruturas, em seu estudo, Piaget não considera os conteúdos escolares de domínios específicos.

Na educação formal, no entanto, nosso interesse é colocado sobretudo no *sujeito psicológico*, inserido em um contexto e sofrendo múltiplas influências do mesmo. Portanto, parece-nos importante que a investigação do processo de construção do conhecimento no contexto da aprendizagem escolar não desconsidere as influências sociais, nem aquelas referentes aos domínios específicos.

Assim, quando se trata da aplicação dos fundamentos de uma teoria do desenvolvimento – como a Teoria Genética – na área da educação, existem diferentes aspectos referente às particularidades desta área sobre os quais necessitamos refletir e que foram destacados por Coll (1997). Neste trabalho, o autor afirma que a natureza e as funções da educação escolar, bem como as características próprias e específicas

das situações de ensino e aprendizagem devem atuar como “origem e mediador entre o conhecimento psicológico e a teoria e prática educativas” (p. 151). Num processo intercambiável como representado na figura 2.1, as teorias e explicações construtivistas são interpeladas a partir da problemática da educação escolar e, igualmente, estas interpelam a teoria e a prática educativas (disciplinas educativas e a própria prática).

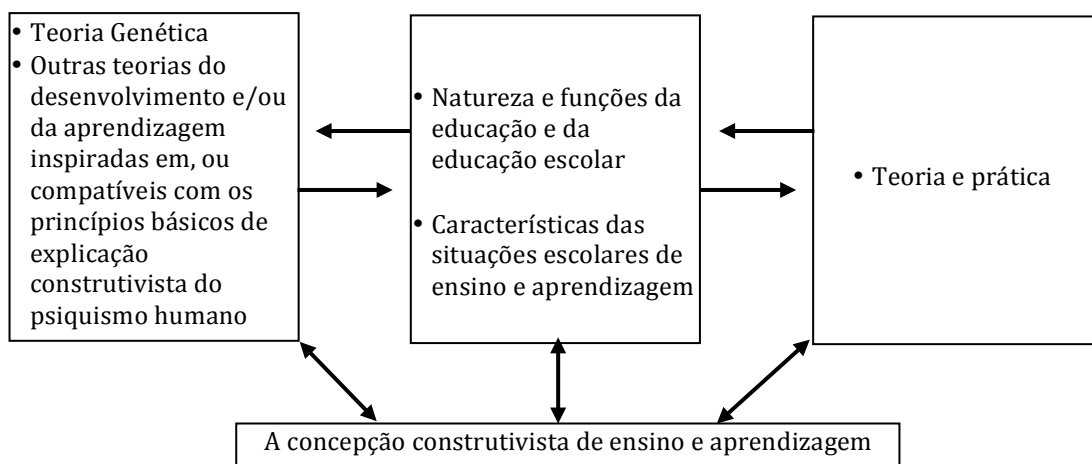


Figura 2.1. A Teoria Genética e a concepção construtivista do ensino e da aprendizagem (C. Coll, 1997, p. 151)

Com base no esquema representado na figura 2.1, o autor também destaca as potencialidades da Teoria Genética para a concepção construtivista de ensino e aprendizagem e suas limitações quando se considera a natureza, as funções e as características da educação escolar.

Suas principais contribuições dizem respeito a três de seus princípios fundamentais referentes ao funcionamento do psiquismo humano:

- *a realidade não é diretamente acessível*. Seu acesso se dá por meio dos esquemas de ação e de representação do sujeito e, portanto, sua capacidade de aprendizagem num determinado momento de seu desenvolvimento está estreitamente relacionada com seu nível de competência cognitiva;
- *a atividade mental é construtiva*. Sendo física ou material, mental ou simbólica, ela permite a elaboração de interpretações da realidade, a construção de significados sobre ela e a construção de novos esquemas e formas de organizá-los que abrem novas possibilidades de ação e conhecimento;

- *a equilibração majorante.* O motor do desenvolvimento é a tendência do psiquismo humano de construir organizações de esquemas e estruturas de pensamento que podem proporcionar um maior equilíbrio nas interações do sujeito com o meio. Essa tendência tem raiz biológica e torna possível que outros fatores como a maturação, as experiências física (interação com objetos) e social (interação com as pessoas), possam atuar.

Coll também aponta as seguintes limitações da Teoria Genética em geral e desses princípios em particular quando se considera a educação escolar:

- os esquemas de assimilação e interpretação ativados pelos alunos em situações de ensino e aprendizagem de conteúdos escolares – diferentemente dos esquemas “desencarnados” de ação e representação da Teoria Genética – são “conjuntos organizados de conhecimento relativos a esses conteúdos concretos” (p. 158), cuja origem deverá ser buscada menos na dinâmica e realizações do desenvolvimento intelectual e mais nas experiências prévias dos alunos sejam elas cotidianas ou escolares. Sendo assim, as características desses esquemas se diferem grandemente daquelas dos conjuntos organizados de esquemas (estruturas operatórias da Teoria Genética) e, conseqüentemente, requerem instrumentos conceituais e metodológicos diferentes para sua identificação e descrição;
- a equilibração majorante, em situações escolares, não se produz de forma espontânea e natural, uma tendência de natureza e origem biológicas, como aquela que ocorre com as estruturas operatórias. Isso porque naquelas situações: (i) nem sempre é fácil promover o desequilíbrio dos conhecimentos iniciais dos alunos; (ii) a passagem de um estado de equilíbrio a outro mais estável não é automática, nem fácil; (iii) as atividades de ensino e aprendizagem propostas nem sempre levam a uma reorganização dos conhecimentos dos alunos de forma a lhes proporcionar um maior nível de equilíbrio. Isso significa que é necessário um esforço considerável para que a equilibração majorante dos conhecimentos referentes aos conteúdos escolares ocorra e que a compreensão das estruturas ou conjuntos organizados desses conhecimentos ocorra a partir do ensino;
- a construção das formas de organização mental mais potentes, de acordo com a Teoria Genética, não é apenas individual e em grande parte interna, mas também

solitária<sup>4</sup>. Isso desconsidera o fato de que as situações escolares são essencialmente comunicativas. Portanto, a consideração dos sucessivos estados de equilíbrio/desequilíbrio/reequilíbrio na construção dos conhecimentos sobre os conteúdos escolares implica também na consideração do outro não apenas como suporte ou pretexto para desencadear a dinâmica da construção, mas sobretudo como co-participante no desenvolvimento e êxito do processo e na sua orientação.

A essas considerações sobre as limitações de se tentar projetar diretamente uma teoria psicológica como a Teoria Genética de Piaget sobre a educação escolar se junta a consideração de Parrat-Dayan (2003) que, em consonância com as ideias de Coll (1987), afirma que:

“A competência operatória é uma condição necessária para a aprendizagem de determinados conteúdos, porém não se confunde com esta última. Aprender exige uma competência intelectual que está em relação com a complexidade do que se aprende, mas exige que se saiba utilizar adequadamente tal competência, e é nessa utilização que se situa prioritariamente a problemática das atuações educacionais.” (Parrat-Dayan, 2003, p. 36)

Assim, o fato de o indivíduo psicológico ter desenvolvidas suas estruturas operatórias pode ser uma condição necessária, mas não suficiente para que ele compreenda determinados conceitos do domínio de Ciências. Como discutido na seção 1.4, esses indivíduos precisam ser ‘enculturados’ nas práticas desse domínio e cabe aos professores e/ou pesquisadores promoverem situações adequadas à utilização e adaptação dos esquemas pelos alunos. Entretanto, isso deve ser feito sem desconsiderar que a apropriação de tal conhecimento depende, necessariamente, da própria atividade do indivíduo (Vergnaud, 2010).

Ainda na mesma linha de raciocínio de Coll (1997), é importante ressaltar que, embora Piaget investigue o desenvolvimento da lógica humana utilizada como recurso metodológico, acreditamos que, quando nos voltamos para a investigação da aprendizagem de conteúdos específicos do domínio de Ciências, o desenvolvimento desse conhecimento não pode se restringir aos aspectos relacionados ao raciocínio lógico-matemático. Isto porque essa restrição também implica na retirada do foco sobre as influências sociais (como, por exemplo, a familiaridade ou não com o objeto do conhecimento ou com a tarefa a ser realizada e o papel dos questionamentos dos

---

<sup>4</sup> Tal aspecto é apontado por Coll como uma limitação da Teoria Genética face à educação escolar, apesar do fato de Piaget reconhecer o papel das transmissões e interações sociais no desenvolvimento cognitivo (Moro, 1991).

outro na (re)elaboração das ideias pelo sujeito) e sobre as influências referentes aos conhecimentos específicos aos domínios (como, por exemplo, no âmbito da Química, a necessidade de se conceber a matéria como descontínua para a elaboração de explicações adequadas para processos como as reações químicas e a dissolução).

Em síntese, no que se refere aos processos individuais relacionados à aprendizagem de conteúdos escolares, como os de Ciências, consideramos, compartilhando as ideias de Coll (1997), que uma das maiores contribuições da teoria de Piaget para a Educação é a concepção do desenvolvimento intelectual como uma adaptação progressiva dos esquemas cognitivos de um sujeito ativo a experiências mais complexas, por meio do processo de equilíbrio/desequilíbrio/reequilíbrio. Isso porque tal concepção distancia a aprendizagem escolar de uma recepção passiva de conhecimento e passa a situá-la na perspectiva construtivista, entendida e assumida neste trabalho como um processo progressivo de estruturas e reorganizações complexas fundamentado no conhecimento prévio do indivíduo. Essa perspectiva nos fornece subsídios, quando consideradas as especificidades do ensino e da aprendizagem, para uma análise detalhada dos processos envolvidos no entendimento conceitual<sup>5</sup> tanto no que diz respeito aos aspectos específicos, particulares ao indivíduo, quanto aos gerais, comuns a diversos deles.

## **2.2. Processos sociais na aprendizagem de Ciências**

O foco de Piaget no sujeito epistêmico faz com que, em sua teoria, pouco destaque seja atribuído aos processos sociais de desenvolvimento do conhecimento. No entanto, a construção do conhecimento no contexto escolar exige a consideração dessa dimensão, dado que o fenômeno educacional é, essencialmente, social. A função da escola e do sistema educacional como um todo pode ser vista como a de promover a aprendizagem de conhecimentos e valores elaborados ao longo da história da humanidade e reconhecidos como relevantes para a sobrevivência dos indivíduos (Parrat-Dayán, 2003).

---

<sup>5</sup> Neste trabalho, o termo entendimento conceitual está associado às (re)elaborações graduais de ideias de domínio específico pelos sujeitos, no sentido de torná-las mais coerentes com as representações científicas. Nesse processo, eles se deparam com dificuldades, erros, desequilíbrios, demandas, conexões, rupturas, constância de certas ideias, etc. Por isso, entendimento conceitual aqui se difere da noção de mudança conceitual quando entendida como supressão de ideias “incorretas” e sua substituição por outras consideradas “corretas”.

Essa dimensão é enfatizada na perspectiva histórico-cultural de Vygotsky, a qual pressupõe o desenvolvimento de um funcionamento mental mais elevado, como aquele que envolve a compreensão de conceitos de Ciências, ocorre a partir da interação social, ou seja, a partir de uma interação mediada entre o sujeito e o objeto. A relação sujeito-objeto é mediada por instrumentos culturais (instrumentos – ou ferramentas – externos de mediação: o outro, os objetos, a organização do ambiente etc.) e signos (instrumentos internos de mediação semiótica: a linguagem escrita, falada etc.). Nesse processo, a cultura fornece os sistemas simbólicos de representação da realidade que permitem ao sujeito construir interpretações do real (Wertsch, 1988).

A linguagem e outros mecanismos semióticos proporcionados pela cultura fornecem os meios para que os conceitos possam ser comunicados entre as pessoas num plano social ou inter-mental. Na troca com o outro e consigo mesmo, os indivíduos se apropriam e se tornam capazes de usar por si mesmos e de forma consciente, num plano intra-mental, ferramentas inicialmente disponíveis no plano social – processo conhecido como *internalização* (Vygotsky, 1991).

Para Vygotsky (2009) existem dois níveis de desenvolvimento: o real (ou atual) e o potencial. No primeiro, o indivíduo é capaz de realizar tarefas com independência, o que caracteriza um desenvolvimento já consolidado. No segundo, o indivíduo necessita da ajuda do outro para ser capaz de realizar tarefas mais complexas.

Partindo desses dois níveis, Vygotsky define a zona de desenvolvimento proximal (ZDP)<sup>6</sup> como a distância entre o nível de desenvolvimento real e o potencial. A ZDP é individual, ou seja, é diferente para cada sujeito e não é infinita, o que significa que não é qualquer tipo de problema que um indivíduo é capaz de resolver sob auxílio, mas somente aqueles que se encontram “na zona de suas próprias potencialidades intelectuais” (Vygotsky, 2009, p. 328).

O processo de desenvolvimento cognitivo estaria centrado justamente na possibilidade de o sujeito ser constantemente envolvido em tarefas que provoquem a construção de conhecimentos a partir da zona de desenvolvimento proximal. Ou seja,

---

<sup>6</sup> Somente após a finalização deste trabalho tomei conhecimento da discussão atual de Zoia Prestes (2010) sobre a tradução das obras de Vygotsky para o português. Segundo a autora, o termo ZDP não está presente nos trabalhos de Vygotsky, o qual, no idioma russo, se referiu à zona de desenvolvimento iminente (ZDI) como “(...) um campo de *possibilidades* para o desenvolvimento” (p. 174, grifo nosso). Assim, a palavra “possível” assumida pelos tradutores como “potencial” mudou o sentido atribuído por Vygotsky a esse conceito. Ao contrário da ideia de transferência de habilidades dos que sabem mais para aqueles que sabem menos, seu foco está no uso, em colaboração, dos recursos mediadores no intuito de criar, obter e comunicar significados. No entanto, apesar de nos basearmos nas traduções iniciais das obras, consideramos que neste trabalho, a elaboração e reformulação de modelos pelos sujeitos em interação com a entrevistadora também ocorreu no sentido de possibilitar a criação de zonas de desenvolvimento iminente nos sujeitos.

o sujeito necessita estabelecer relações entre seus conhecimentos já consolidados e os conhecimentos de outros sujeitos, num processo de interação que pode consolidar um conhecimento novo. Neste caso, o desenvolvimento potencial passa a ser real quando se retira o suporte do outro e o sujeito é capaz de resolver, por si só, aquele tipo de problema.

De acordo com Driver, Asoko, Leach, Mortimer e Scott (1999), a partir dessa perspectiva,

“Conferir significado é, portanto, um processo dialógico que envolve pessoas em conversação e a aprendizagem é vista como um processo pelo qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes. À medida que isso acontece, eles ‘apropriam-se’ das ferramentas culturais por meio de seu envolvimento nas atividades dessa cultura.” (p. 34)

Portanto, o entendimento dos conceitos e procedimentos científicos pelos alunos inseridos na cultura escolar se daria quando estes, engajados em discussões com seus pares, professores ou qualquer outro membro mais experiente dessa cultura, tivessem o auxílio necessário para a estruturação da tarefa. Isso ocorreria de forma a tornar possível a internalização dos conceitos e dos procedimentos envolvidos, ou seja, a transformação destes em ferramentas, cujo uso passa a ser dotado de consciência, planejamento e deliberação.

Em outras palavras, na construção do conhecimento de Ciências, alunos necessitam ser auxiliados para se apropriar das experiências físicas, conceitos, modelos e práticas peculiares a esse domínio, num processo do qual participam não são só ativa, mas também interativamente. Isso vai ao encontro da perspectiva de *cognição situada*, a partir da qual a aprendizagem é vista como um processo de enculturação ou participação do indivíduo em práticas socialmente organizadas (como aquelas da comunidade científica) nas quais habilidades especializadas são desenvolvidas como resultado de “participação guiada” (Rogoff, 1991, p. 8) ou de “participação periférica legítima”<sup>7</sup> (Lave & Wenger, 1991).

Brown, Collis e Duguid (1989) apontam alguns dos componentes chave desse processo de aprendizagem: a tutoria, o apoio, o esclarecimento e o incentivo aos alunos para que reflitam sobre suas estratégias de resolução de problemas; processo

---

<sup>7</sup> De acordo com esses autores, o processo de passagem do novato a perito ocorre a partir de sua participação em uma série de atividades e práticas de uma comunidade, da qual se torna membro. Seu papel muda gradativamente à medida que sua participação na comunidade se torna mais complexa. Assim, a participação periférica legítima “fornece uma forma de se falar sobre as relações entre novatos e veteranos e também sobre atividades, identidades.” (Lave & Wenger, 1991, p. 29).

que pode levar o aluno a se tornar envolvido em práticas autênticas de uma “comunidade prática” (Lave & Wenger, 1991, p. 29). Como os primeiros autores salientam, isso evitaria diversos dos problemas resultantes da solicitação aos alunos de utilização de ferramentas associadas a uma disciplina, como os modelos em Ciências, sem que tenham sido capazes de adotar a cultura do domínio do conhecimento relacionada ao uso de tais ferramentas.

Vale ressaltar ainda que o processo de internalização do conhecimento de Ciências pelos alunos a partir da perspectiva histórico-cultural não se reduz à transferência direta dos conhecimentos e habilidades necessários à adequada utilização das ferramentas do plano social para o plano pessoal. Ao contrário, isso ocorre por meio da necessária interpretação pessoal das ideias encontradas no plano social. Assim, se considerarmos que os alunos atribuem sentido às ideias à sua volta a partir do relacionamento dessas com suas próprias ideias e maneiras de pensar pré-existentes (Leach & Scott, 2008), somos levados a encarar a aprendizagem de Ciências como uma elaboração gradual e prolongada que envolve, simultaneamente, processos sociais e individuais na construção dos conhecimentos escolares desse domínio.

### **2.3. A natureza do conhecimento científico e a conjugação de processos individuais e sociais na construção do conhecimento de Ciências**

A aprendizagem de Ciências envolve a compreensão dos produtos da ciência, ou seja, leis, teorias e modelos (*‘aprender ciência’*), a compreensão da epistemologia e da metodologia da ciência (*‘aprender sobre ciência’*) e a compreensão das práticas da ciência, seguida da capacidade de executá-las (*‘aprender a fazer ciência’*) (Hodson, 1992). Isso significa que a natureza do conhecimento científico e as práticas da ciência têm implicações no processo de ensino e aprendizagem de Ciências (Driver, et al., 1999).

Embora não exista, entre filósofos da ciência, um consenso sobre todos os aspectos da natureza da ciência, há um acordo geral dentro da corrente pós-moderna (Casti, 1989; Chalmers, 1982; Kuhn, 1970) sobre alguns deles. De modo geral, o conhecimento científico é reconhecido como um construto humano que sofre influência dos conhecimentos e experiências prévios daqueles que o produzem e cujo processo de construção é influenciado pela criatividade e imaginação desses sujeitos (Johnson-Laird, 1989), sendo, neste sentido, subjetivo. Ele não emerge diretamente da observação, como se fosse revelado de maneira óbvia por ela, apesar de sua base

empírica. A observação do real não é neutra, mas dirigida por teorias e questões de pesquisa. Modelos<sup>8</sup> são construídos na tentativa de interpretar e explicar a realidade observada e são expressos através de formas especializadas de linguagem (fórmulas, equações, gráficos, desenhos etc.). Esse processo de elaboração está sujeito a erros e modificações.

Para ser aceito, o conhecimento científico deve ser socialmente negociado e validado dentro da comunidade científica. Tal processo ocorre a partir da avaliação do conhecimento quanto à coerência de seus argumentos em relação às evidências, pois este tipo de conhecimento tende a não conviver pacificamente com contradições. Além disso, o conhecimento científico é historicamente contextualizado uma vez que a produção de novos conhecimentos ocorre a partir de conhecimentos e equívocos anteriores. E, como se trata de um conhecimento público, este é comunicado através da cultura e das instituições sociais da ciência.

Ainda com foco neste conhecimento, é importante levar em consideração suas especificidades. No que se refere ao conhecimento químico, essas especificidades, de acordo com Johnstone (1982), dizem respeito à inter-relação de três diferentes níveis, a saber:

- *Macroscópico* (ou fenomenológico): constituído pelo que pode ser observado e manuseado. Apresenta caráter descritivo e funcional, uma vez que as propriedades dos materiais são descritas em termos de densidade, estado físico, cor, tamanho etc. e as dos aparatos em termos de seu funcionamento.
- *Submicroscópico* (ou teórico): aquele que invoca entidades como átomos, moléculas, íons, elétrons etc. para explicar o comportamento macroscópico de substâncias e materiais e justificar suas propriedades. Apresenta caráter explanatório, pois nos proporciona uma imagem mental que visa justificar as observações feitas no nível macroscópico.
- *Representacional* (ou simbólico): aquele constituído de abstrações utilizadas para representar o nível submicroscópico. Por exemplo, substâncias químicas são representadas por meio de fórmulas, elementos químicos por símbolos e as transformações químicas por equações. Seu caráter é, portanto, representacional.

---

<sup>8</sup> Representações de objetos, eventos, processos ou ideias concebidos com alguma finalidade específica (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Eles são discutidos no Capítulo 3 deste trabalho.

É importante destacar que considerar a existência dos três níveis não implica assumir que o conhecimento químico seja o resultado da justaposição dos mesmos. Isto porque eles são indissociáveis e se integram de forma a promover tanto o desenvolvimento do conhecimento quanto a sua compreensão através do ensino (figura 2.2). Esta, por sua vez, ocorre quando os alunos se mostram capazes de articular adequadamente os diferentes níveis e de transitar entre eles.

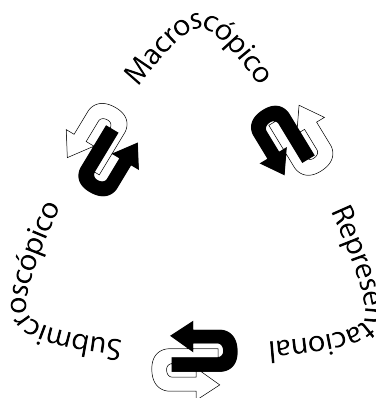


Figura 2.2. Adaptação da representação de Johnstone (2006) para a inter-relação dos três níveis do conhecimento químico.

Considerar que o conhecimento químico, em específico, envolve três níveis diferentes e inseparáveis de conhecimento e que o conhecimento científico, em geral, é simultaneamente subjetivo e socialmente construído, validado e comunicado tem implicações para o ensino e aprendizagem de Ciências no sentido de ser necessário considerar dois aspectos principais:

- frente às observações do real, alunos raciocinam e elaboram explicações a partir de seus conhecimentos prévios;
- dadas as características das entidades ontológicas (como átomos, elétrons, íons etc.) e conceitos científicos e/ou das relações entre eles, bem como das epistemologias e práticas relacionadas à construção da ciência, essas entidades e conceitos dificilmente são compreendidos por alunos envolvidos em investigações empíricas isoladas e sem qualquer orientação (Driver, et al., 1999).

Ambos os aspectos são levados em consideração na perspectiva da cognição situada mencionada anteriormente, a qual pode ser traduzida, no que concerne a aprendizagem de Ciências, da maneira expressa por Driver et al., (1999):

“Aprender ciências envolve a introdução das crianças e adolescentes a uma forma diferente de pensar sobre o mundo natural e de explicá-lo; é tornar-se socializado, em maior ou menor grau, nas práticas da comunidade científica, com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento.” (Driver, et al., 1999, p. 36)

Sendo assim, defendemos, como estes autores o fazem, que a aprendizagem de ciências envolve concomitantemente processos individuais e sociais, uma vez que os alunos precisam ser iniciados nas ideias e práticas da ciência, engajando-se na co-construção e na atribuição pessoal de significados. Neste processo, o professor é responsável pela organização das situações de aprendizagem nas quais atua como mediador entre o conhecimento científico e o conhecimento prévio dos alunos, co-construindo com eles os sentidos atribuídos aos produtos da ciência e à maneira pela qual eles são gerados e validados.

Nessa mesma direção, Leach e Scott (2002, 2008), apontam a dimensão individual-social da aprendizagem de ciências como um *continuum*, sem, no entanto, imaginá-la como possível de ser mapeada em relação à dimensão aquisição-participação. As metáforas de aquisição e participação para a aprendizagem foram propostas por Sfard (1998). Na primeira, a aprendizagem implica em ganho, posse de algo que é armazenado e mantido em algum lugar. Na segunda, a aprendizagem é vista como o engajamento em ações características de comunidades. Nesta última, o aluno é visto como interessado em participar das atividades propostas, ao invés de um indivíduo que acumula posses. Ao contrário da dimensão individual-social, a dimensão aquisição-participação não constitui um *continuum*, uma vez que as metáforas a ela associadas apresentam perspectivas ontológicas de aprendizagem radicalmente diferentes. Por isso, uma visão socioconstrutivista de aprendizagem, entendida como a conjugação de aspectos sociais e interativos e atribuição pessoal de sentido do processo de aprendizagem, é coerente com o *continuum* presente na dimensão individual-social (Leach & Scott, 2002, 2008). Essa é também a visão adotada neste trabalho.

As práticas de ensino e aprendizagem autênticas são coerentes com essas ideias. De acordo com Roth (1995), práticas autênticas no ensino de Ciências envolvem atividades que compartilham grande similaridade com as atividades dos cientistas. Então, no caso das atividades científicas desenvolvidas em sala de aula, estas deveriam ser elaboradas de forma a contribuir para que os alunos:

- aprendam em contextos constituídos por problemas para os quais não vislumbrem uma solução imediata, conhecida de antemão por eles;
- vivenciem incertezas, ambiguidades e a natureza social do trabalho científico;
- se engajem em aprendizagem baseada em, e dirigida por, seu estado de conhecimento atual;
- se sintam parte de comunidades de investigação nas quais conhecimentos, práticas, recursos e discurso são compartilhados; e
- participem de práticas de sala de aula nas quais eles possam se valer da proficiência de outros que têm mais conhecimento.

Uma prática autêntica no ensino de Ciências e condizente com as ideias aqui expostas e defendidas é a da modelagem. Sua utilização resulta no que tem sido chamado de ‘ensino fundamentado em modelagem’, caracterizado pela proposição de atividades investigativas e colaborativas de construção, validação e utilização de modelos, análogas àquelas vivenciadas pelos cientistas na construção da ciência. Nessas atividades, os alunos são auxiliados no desenvolvimento de seus conhecimentos *de ciência, sobre ciência e do fazer ciência* no sentido exposto por Hodson (1992) e, portanto, em sua ‘enculturação’ gradual nas normas e práticas da comunidade científica. Maiores detalhes sobre o ensino fundamentado em modelagem são apresentados no Capítulo 4.

### CAPÍTULO 3. O FENÔMENO DE DISSOLUÇÃO NA CIÊNCIA, NO ENSINO E NA PESQUISA

#### 3.1. Abordagem do tema na ciência

Ao longo da história, filósofos e cientistas propuseram diferentes modelos com o intuito de explicar como as substâncias se dissolvem. Alguns desses modelos historicamente significativos e as ideias que os fundamentam são apresentados a seguir, em ordem cronológica e com base nos trabalhos de Selley (1998) e Echeverría (1993).

- *Modelo da 'liquefação'*: o soluto faz aquilo que presume-se, com base em aspectos perceptivos superficiais, que ele tenha feito, ou seja, se transforma em líquido. O sal, por exemplo, ao ser adicionado em água, se transforma em salmoura (teoria de transubstanciação de Aristóteles). Neste modelo não se faz menção a qualquer hipótese atomística.
- *Modelo de 'espaços' ou 'ataque'*: o solvente tem espaços entre seus 'átomos' nos quais os 'átomos' de soluto podem se acomodar. Em apoio a essa ideia, Lucrecio (50 a.C.) mencionou o fato de que um vaso repleto de cinzas ainda suportaria o acréscimo de água sem transbordar; Heron de Alexandria (aproximadamente no ano 150 da era cristã) ensinava que a miscibilidade do vinho em água também era um evidência da existência dos espaços; e Gassendi (início do século XVII) acreditava que os espaços 'interatômicos' podiam ser confirmados pela experiência de se dissolver alume<sup>9</sup> em solução aquosa já saturada de sal comum.

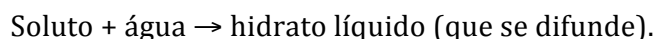
O processo de dissolução foi inicialmente representado como o choque contínuo de partículas de água movendo-se rapidamente contra o sólido e o subsequente deslocamento das partículas do soluto, que erodiam, pelos espaços da água. Esse modelo foi amplamente aceito e vigorou até o início do século XIX.

- *Modelo do hidrato (ou modelo da atração)*: os modelos de atração, diferentemente do modelo de 'ataque', foram propostos com base na ideia de que os 'átomos' do soluto eram 'puxados' para a solução por forças de atração. Apesar da maior elaboração deste modelo, ao longo de todo o século XVIII ainda não se distinguia entre uma dissolução simples (como a do sal em água) e uma reação química

---

<sup>9</sup> Sulfato duplo de um metal trivalente e de um metal alcalino ou de amônio.

seguida de dissolução (como a de um metal 'dissolvido' por um ácido). Somente no século XIX este último fenômeno foi reconhecido como uma reação química, enquanto o primeiro ainda estava longe de ser interpretado a partir da visão atual. O sucesso da análise quantitativa na determinação de fórmulas e equações desviou a atenção do modelo cinético molecular e os químicos preferiram um modelo estático daltoniano ou mesmo nenhum modelo. Assim, a dissolução passou a ser aceita como uma forma leve de reação química que poderia ser representada de maneira geral como:



Embora atualmente se reconheça certos aspectos da transformação química no modelo de dissolução (introduzidos por Mendeléiev), os hidratos definidos neste modelo não poderiam ser detectados, pois a composição saturada das soluções não correspondia às proporções estequiométricas, nem a qualquer dos hidratos sólidos conhecidos.

- *Modelo da interação:* A crescente indústria química do século XIX demandava conhecimento sobre a densidade das soluções para o controle da concentração dos destilados. Willian Nicol (físico escocês famoso pela invenção do prisma que leva seu nome) demonstrou, através de cálculos derivados desses dados disponíveis sobre as soluções, que - em linguagem moderna - o volume molar ocupado por um íon em solução independia da natureza do seu contra íon. Por exemplo, o volume de  $\text{Cl}^-$  em uma solução seria o mesmo, independente de ser advindo do NaCl ou do KCl. Esse novo modelo, publicado por Nicol em 1883, contrariava a ideia de formação de hidratos líquidos quando da mistura de soluto em água.

Quase ao mesmo tempo, Arrhenius publicou sua teoria de dissociação eletrolítica, na qual enunciou que os eletrólitos, em solução, se decompunham em íons, permitindo a condução de corrente elétrica. No entanto, os modelos de Nicol e Arrhenius não explicavam o processo de formação dos íons em solução.

Por volta de 1905, Mendeléiev propôs uma teoria química para as soluções eletrolíticas. O modelo de dissolução dessa teoria propõe que são estabelecidas interações químicas entre solvente e soluto (solvatação) e que a energia necessária (ou parte dela) para desintegrar as 'moléculas neutras' do eletrólito em íons é proveniente dessas interações. Isto porque, íons solvatados pelas moléculas do solvente são menos energéticos do que quando se encontram no retículo cristalino.

Sendo assim, a interação do soluto com o solvente seria uma condição obrigatória – mas, não única<sup>10</sup> – para a formação de íons.

O acompanhamento dessa evolução histórica dos modelos propostos para a dissolução pode facilitar nossa compreensão sobre a complexidade deste tipo de elaboração para os alunos. Considerando-se que a proposição da teoria atômica de Dalton só ocorreu entre 1803 e 1808 – sem ter aceitação ampla no início – e que um modelo de soluções próximo do atual só foi proposto há cerca de 110 anos, é de se esperar que os alunos tenham inúmeras dificuldades em usar o modelo de partículas da matéria (ou modelo cinético molecular) e o modelo de dissolução como um processo de interação entre as partículas do soluto e do solvente (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986; Nakhleh, Smarapungavan, & Saglam, 2005; Selley, 2000). A análise da literatura sobre concepções alternativas e evolução conceitual de alunos de escolas primárias e secundárias (seção 3.3) nos permite constatar algumas dessas dificuldades.

### **3.2. A relevância do tema no ensino e os aspectos curriculares para o ensino fundamental**

Um breve exame do nosso entorno seria suficiente para identificarmos diferentes tipos de soluções<sup>11</sup> e, como consequência, reconhecermos a importância da compreensão do processo envolvido em sua formação: a dissolução. Água potável, soro, alimentos, cosméticos, medicamentos e produtos de limpeza são alguns poucos exemplos de soluções com as quais cotidianamente nos deparamos.

A ampla aplicação dessas soluções em nosso cotidiano nos permite conjecturar que um adequado entendimento do processo de dissolução pode auxiliar os alunos no reconhecimento, compreensão e discussão das transformações da matéria envolvidas nos processos de obtenção dessas soluções, sejam eles industriais, domésticos, provenientes de ciclos naturais ou resultantes das ações humanas sobre meio ambiente. Tal entendimento vai ao encontro dos objetivos apontados pelo PCN (MEC, 1998) para o ensino de Ciências de se criar condições que permitam aos alunos acessar um conjunto de conhecimentos socialmente elaborados e consolidados,

---

<sup>10</sup> Outra condição para que os compostos iônicos sejam dissolvidos é a de que os solventes apresentem propriedades isolantes (elevada constante dielétrica) para reduzir a atração entre os íons de cargas opostas uma vez solvatados por suas moléculas.

<sup>11</sup> Sistemas homogêneos formados pela mistura de duas ou mais substâncias. A composição química e as propriedades são, praticamente, as mesmas em qualquer região da fase única formada pelas substâncias.

importantes para o seu exercício pleno da cidadania.

Além disso, a compreensão do tema “soluções” e, conseqüentemente, do processo de dissolução – foco de nossa investigação – pressupõe a compreensão de diversos conhecimentos associados como: substância, mistura, modelo cinético-molecular e interações químicas, indicados na parte superior da figura 3.1. A partir desses conhecimentos, os alunos podem desenvolver outras noções mais complexas sobre o tema e outros conteúdos químicos relacionados, como aqueles indicados na parte inferior da figura 3.1. A construção do entendimento do processo de dissolução é influenciada pela construção dos demais conhecimentos e exerce influência na mesma, aspecto representado nessa figura através das setas duplas.

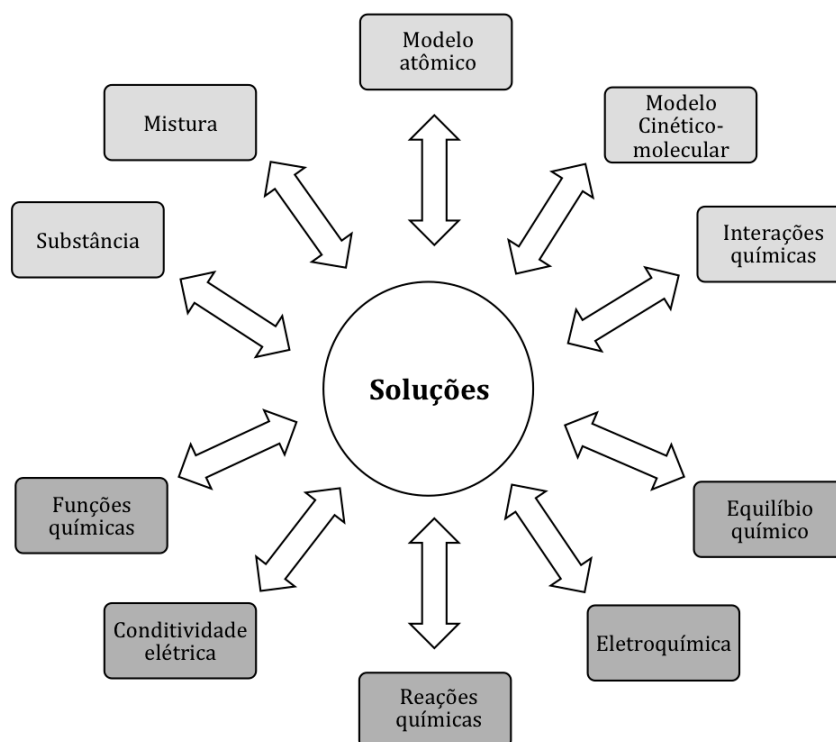


Figura 3.1. Conhecimentos pré-requisitos para a compreensão do tema ‘soluções’ (parte superior) e conhecimentos construídos a partir da compreensão do tema (parte inferior).

Diante disso, parece possível afirmar que a compreensão do processo de dissolução não é algo fácil para os alunos, pois atreladas à ela se encontram noções abstratas<sup>12</sup> – modelos de entidades invisíveis (átomos, moléculas e íons) e atributos de

<sup>12</sup> Diferentemente do seu emprego na Psicologia Cognitiva (por exemplo, no estudo do processo de abstração realizado por Piaget), na área de Ensino de Ciências, o termo ‘abstrato’ se refere a conceitos e noções que não

processo (interação entre partículas invisíveis) (She, 2004) – que não são simples de serem entendidos por um aluno de Ciências no início de seus estudos e, às vezes, por toda a sua vida escolar.

Em geral, a última série (nona) do ensino fundamental é a etapa em que os alunos têm pela primeira vez um enfoque maior da disciplina Ciências voltado para a aprendizagem de Química. Isto pode ocorrer no período de um semestre letivo, quando a disciplina Ciências se divide entre o ensino de Química e Física, ou de um ano letivo, quando Química e Física são ensinadas concomitantemente em disciplinas diferentes.

Também de uma maneira geral, o currículo de Química na nona série se organiza em torno dos temas: materiais, substâncias, estrutura da matéria, transformações e energia. Nesse nível de ensino, as soluções são comumente abordadas no estudo do tema substâncias e retomadas ao se tratar as transformações.

Desde esse nível inicial de estudos, o que comumente se observa é uma excessiva preocupação por parte dos professores com o entendimento, pelos alunos, de aspectos quantitativos relacionados ao processo. Isso pode justificar a elaboração de concepções pouco fundamentadas ou até inadequadas que evidenciam uma incompreensão do fenômeno de dissolução no nível submicroscópico.

Sob esse enfoque, professores almejam que seus alunos sejam capazes de interpretar e construir curvas de solubilidade, efetuar cálculos com base nestas e outros referentes à concentração, em detrimento do tratamento da natureza do fenômeno e das explicações propostas para ele (Devetak, Vogrinc, & Glažar, 2009; Echeverría, 1993). Neste sentido, Valanides (2000) sugere que a ênfase no ensino de dissolução deveria ser colocada em aspectos como o movimento das partículas e sua interação no nível submicroscópico. Isto favoreceria a compreensão da distinção entre fatores essenciais para a dissolução (como a interação entre partículas) e aqueles que só aceleram o processo (como a agitação e o estado de agregação da matéria).

Harrison e Treagust (2002) e She (2004), também salientam que o modelo cinético-molecular fornece a base para a compreensão de eventos submicroscópicos subjacentes a fenômenos naturais como a dissolução. Isso corrobora a ideia de Valanides, porque quando os alunos são capazes de compreender que o movimento é inerente às partículas submicroscópicas da matéria, eles se tornam mais susceptíveis a

---

correspondem a nenhum dado sensorial ou concreto imediatos, por exemplo, aqueles que envolvem entidades submicroscópicas, força e energia. Neste trabalho, tal termo será usado com este significado.

buscar por uma explicação causal para o processo de dissolução também nesse nível de representação.

Em consonância com essas advertências, com as orientações de documentos como o PCN (MEC, 1998) e com as recomendações da literatura (Harrison & Treagust, 2002; Selley, 2000; She, 2004; Talanquer, 2009), destacamos os aspectos do *modelo curricular*<sup>13</sup> de dissolução e da teoria cinético-molecular cuja compreensão seria almejada para alunos ao final do ensino fundamental. Esses são os seguintes: a matéria é composta por partículas submicroscópicas; essas partículas são constituídas de átomos ou conjuntos destes; os átomos, por sua vez, são constituídos de subpartículas, algumas delas dotadas de cargas; matérias diferentes são constituídas de partículas diferentes (seja em relação aos tipos de átomos ou à combinação destes); existem espaços vazios entre as partículas da matéria; as partículas se encontram em constante movimento e interagem entre si; as interações entre partículas são eletrostáticas; as magnitudes das interações soluto-solvente em relação às interações soluto-soluto e solvente-solvente determinam a dissolução (ou não) desses componentes; no caso de solutos cristalinos, a forte interação entre as partículas de soluto e de solvente determina a desintegração da rede de partículas do soluto e sua distribuição homogênea pelo solvente.

Esse contexto, que evidencia concomitantemente a importância e a complexidade da compreensão do processo de dissolução pelos alunos, realça também a necessidade de que mais atenção seja dada à abordagem inicial desse processo no ensino de Química e às ideias que os alunos trazem consigo. Isto porque, como enfatizado no capítulo anterior, na perspectiva socioconstrutivista (que adotamos neste trabalho), aprendizagem tem mais chances de ocorrer quando os conhecimentos prévios dos alunos e a maneira como eles se desenvolvem e/ou se alteram são levados em consideração.

### **3.3. Abordagem das concepções sobre a natureza da matéria e dissolução na literatura da área de ensino de Ciências**

Como apontado anteriormente, a representação do processo de dissolução está fundamentada, dentre outros aspectos, na forma como o sujeito concebe a matéria. Por isso, analisamos a literatura de ensino de Ciências no sentido de identificar as

---

<sup>13</sup> Simplificações dos modelos científicos que são ensinadas na escola, isto é, constituem o currículo escolar (Gilbert, et al., 2000).

diferentes concepções comuns aos alunos sobre a natureza da matéria (quadro 3.1) e o processo de dissolução (quadro 3.2). Assim, esperamos fornecer uma visão mais integrada e progressiva dessas ideias do que aquela existente na literatura da área, a qual geralmente as apresenta como um catálogo de unidades estanques. Essa abordagem de inventário, segundo Talanquer (2009), dificulta a identificação dos pressupostos comuns e os padrões de raciocínio dos alunos. Como Renström, Andersson e Marton (1990) e Talanquer (2009), consideramos ser de suma importância o desenvolvimento de um conhecimento mais profundo sobre as compreensões dos alunos a respeito dos fenômenos e das entidades da Ciência.

Em inúmeros dos estudos analisados, as concepções eram denominadas alternativas, '*misconceptions*', estruturas alternativas etc., mas, devido à possível associação destes termos com 'ideias errôneas dos alunos', vamos denominá-las simplesmente concepções. Sob nosso ponto de vista, estas se referem às ideias dos alunos manifestadas quando eles tentam atribuir sentido às situações-problema com as quais são confrontados e que, apesar de frequentemente distantes do conhecimento curricular, podem apresentar coerência dentro da base de conhecimentos que mobilizam, ou caracterizarem uma etapa de transição entre conhecimentos em formação e aqueles já consolidados.

No quadro 3.1, apresentamos as ideias dos alunos sobre a natureza da matéria, considerando quatro temas principais: (i) natureza da estrutura, composição e estado dos constituintes; (ii) espaço; (iii) movimento e (iv) interação. No quadro 3.2, as ideias são apresentadas considerando-se dois aspectos: o processo em si e os fatores que o determinam ou influenciam.

Natureza da matéria		
Tema geral	Concepções	Estudos que as identificaram
Natureza da estrutura, composição e estado dos constituintes	A matéria é contínua. <sup>14</sup> (N1) <sup>15</sup>	Novick e Nussbaum (1981); Pfundt (1981); Renström, et al. (1990); Griffiths e Preston (1992); Nakhleh (1992); Johnson (1998); Nakhleh, et al. (2005); Pozo e Gómez Crespo (2005)
	A matéria é composta de pequenos pedaços do mesmo material (macropartículas, visíveis ou não). (N2)	Novick e Nussbaum (1981); Pfundt (1981); Ben-Zvi, et al. (1986); Renström (1988); Renström et al. (1990); Ebenezer e Erickson (1996); Johnson (1998); Nakhleh e Samarapungavan (1999); Johnson (2002); Nakhleh, et al. (2005)
	A matéria é contínua-corpúscular: macro (N2) ou micropartículas (N3) incorporadas a uma base contínua.	Renström, et al. (1990); Lee, Eichinger Anderson, Berkheimer e Blakeslee (1993); Johnson (1998); Johnson (2002)
	Enquanto nas substâncias líquidas, gasosas e pulverizadas, a matéria é constituída de pequenos pedaços (N2) ou submicropartículas (N3), nos sólidos rígidos a matéria é contínua (N1) ou composta de macropartículas. (N2)	Nakhleh, et al. (2005)
	Substâncias são misturas de algum tipo de componentes primários (por exemplo, a água é mistura de hidrogênio e oxigênio). (N1)	Ebenezer & Erickson (1996); Andersson (1990); Johnson (2002)
	Gases não têm massa ou peso. (N1)	Driver (1985); Séré (1986); Stavy (1988); Stavy (1990); Renström, et al. (1990)
	Pós não são nem sólidos nem líquidos. (N2)	Stavy e Stachel (1985); Ryan (1990)
Espaço	Espaço vazio se relaciona com o estado de agregação e não com a natureza da estrutura da matéria. (N1)	Echeverría (1996)
	Os espaços entre as partículas da matéria contêm ar ou a própria matéria. (N2)	Novick e Nussbaum (1981); Pfundt (1981); Lee, et al. (1993); Ebenezer e Erickson (1996); Pozo e Gómez Crespo (2005)
Movimento	As partículas da matéria são estáticas. (N1)	Novick e Nussbaum (1981); Pfundt (1981)
	O movimento das partículas da matéria é determinado por algum agente externo (como calor, agitação etc.). (N1)	Andersson (1986); Pozo e Gómez Crespo (2005)
	Matérias líquidas e gasosas são dinâmicas, enquanto as sólidas são estáticas. (N1)	Selley, (2000); Pozo & Gómez Crespo, (2005)
Interação	Partículas interagem por contato físico. (N1) <sup>16</sup>	Bar, Zinn, e Goldmuntz (1994); Wellman e Gelman (1998); Fernandez e Ribeiro (2006); Mozzer e Justi (2012)
	Existência, natureza e forças das interações entre as partículas são condicionadas por fatores como temperatura, estado físico e gravidade. (N1)	Brook, Briggs, e Driver, (1984); Stevens, Shin, Delgado, Krajcik, e Pellegrino (2007)

Quadro 3.1. Concepções dos alunos acerca da natureza da matéria.

<sup>14</sup> Esta concepção também diz respeito ao aspecto espaço.

<sup>15</sup> Este código será explicado posteriormente.

<sup>16</sup> Esta concepção pode ser expressa de maneira mais ampla como “um objeto não pode influenciar outro sem contato entre eles”.

<b>Dissolução</b>		
<b>Tema geral</b>	<b>Concepções</b>	<b>Estudos que as identificaram</b>
<b>Processo</b>	Dissolução como desaparecimento. (N1)	Lee, et al. (1993); Piaget e Inhelder (1971); Prieto, Blanco e Rodriguez (1989); Slone e Bokhurst (1992)
	Dissolução como fusão. (N1)	Cosgrove e Osborne (1981); Driver (1985); Renström (1988); Prieto, Blanco e Rodriguez (1989); Stavridou e Solomonidou (1989); Abraham, Gryzybowski, Renner e Marek (1992); Abraham, Williamson e Westbrook (1994); Ebenezer e Erickson (1996); Barker e Millar (1999); Selley (2000); Ebenezer (2001); Kabapınar, Leach e Scott (2004)
	Dissolução como reação (química): junção de matérias formando uma nova matéria (N1) ou reorganização de partículas. (N2)	Driver (1985); Fensham e Fensham (1987); Prieto, et al. (1989); Ebenezer e Erickson (1996); Abraham, et al. (1992; 1994); Selley (2000); Ebenezer (2001)
	Dissolução como resultante da penetração ou choques do solvente no soluto, com quebra do soluto (nível macro (N1/N2) ou submicro (N3)) e seu espalhamento no solvente.	Prieto, et al. (1989); Abraham, et al. (1994); Ebenezer e Erickson (1996); Selley (2000); Ebenezer (2001)
	Dissolução como um processo de absorção de macropartículas do soluto pelas macropartículas de solvente. (N2)	Prieto, et al. (1989); Abraham, et al. (1994); Nakhleh, et al. (2005)
<b>Fatores</b>	Dissolução é determinada por ações mecânicas (como agitação e aumento da temperatura). (N1)	Blanco e Prieto (1997)
	Dissolução é momentânea. (N1)	Blanco e Prieto (1997)
	Dissolução depende de propriedades (densidade, aspereza, granulometria etc.) do soluto. (N1)	Abraham, et al. (1992); Ebenezer e Erickson (1996); Echeverría (1996)
	A quantidade de soluto dissolvida depende da quantidade de espaço disponível no solvente. (N2)	Ebenezer e Erickson (1996); Echeverría (1996)

Quadro 3.2. Concepções dos alunos acerca do processo de dissolução.

Considerando que, como explicado no capítulo anterior, o conhecimento químico perpassa três níveis (macroscópico, submicroscópico e representacional), a aprendizagem de conceitos químicos envolve a capacidade de transitar entre eles, percebendo as relações que estabelecem entre si e suas particularidades. Vários estudos (como os citados nos quadros 3.1 e 3.2), no entanto, têm indicado que os alunos podem ter dificuldades de visualizar (ou seja, gerarem representações internas) e explicar eventos no nível submicroscópico. As concepções sobre natureza da matéria e processo de dissolução apresentadas nesses quadros ilustram bem essas dificuldades.

É comum também a esses estudos que os autores atribuam a origem das

concepções à grande influência da percepção sobre as elaborações dos alunos ou, em outras palavras, à influência da aparência física das entidades e fenômenos em questão sobre suas explicações. Outra causa se relaciona aos sentidos cotidiano e metafórico do termo “dissolução”. No cotidiano, o termo pode ser usado como sinônimo de fundir/derreter, ou vice-versa. Expressões como: “as geleiras da Antártica estão se dissolvendo” ou “o açúcar derrete em água” são exemplos desse uso cotidiano. Além disso, termos cuja grafia se assemelha a dissolver são comumente usados como se fossem sinônimos do mesmo. O termo “diluir”, por exemplo, pode ser encontrado em instruções constantes em receitas como: “dilua o amido de milho em água”. Por outro lado, o sentido metafórico pode ser ilustrado por sentenças como: “o juiz dissolveu os laços matrimoniais do casal” ou “aquela resposta dissolvia qualquer dúvida”.

Razões como essas parecem justificar a manifestação de concepções baseadas somente em aspectos macroscópicos como as de: matéria contínua; matéria dotada de macropartículas (quadro 3.1); dissolução como um processo de fusão do soluto no solvente (no caso de um soluto sólido como sal ou açúcar); dissolução como desaparecimento ou; dissolução como formação de uma nova matéria a partir da junção das matérias iniciais, cujas propriedades são intermediárias às destas (quadro 3.2).

Essas ideias são contrapostas àquelas mais próximas das cientificamente aceitas, que levam em consideração a caracterização no nível submicroscópico das entidades e fenômenos. No entanto, apesar dessa polarização das concepções dos alunos, presente na maioria dos trabalhos, ideias intermediárias, ou seja, não tão elementares quanto as explicações macroscópicas nem tão sofisticadas quanto as explicações submicroscópicas, mas com indícios de evolução em direção às explicações de base submicroscópica, precisam ser levadas em consideração se nos propomos a estudar o entendimento conceitual dos alunos.

Sendo assim, nos quadros 3.1 e 3.2 apresentamos também uma distinção entre esses tipos de concepções, chamando de nível 1 (N1) aquelas fundamentadas exclusivamente nos aspectos macroscópicos; e de níveis 2 (N2) e 3 (N3) aquelas que, apesar de essencialmente baseadas em aspectos perceptivos macroscópicos (como as primeiras), demonstram que o sujeito começa a pensar em aspectos condizentes com representações submicroscópicas mais acuradas. A distinção entre concepções de nível 2 e de nível 3 se deve à consideração, nestas últimas, da constituição das

partículas da matéria por átomos ou grupos deles.

Concepções de nível 1 (como a de que a matéria é contínua) e mesmo de nível 2 (como a de que a matéria é dotada de macropartículas imóveis), limitam as representações dos alunos para o processo de dissolução à consideração apenas de aspectos macroscópicos (por exemplo, a dissolução como desaparecimento ou fusão do soluto no solvente ou como uma reação que ocorre pela mistura de matérias diferentes para formar uma matéria intermediária). Nessa perspectiva macroscópica, as explicações causais para o fenômeno da dissolução são associadas a fatores externos (como agitação e aumento da temperatura) e às propriedades físicas do soluto (como a granulometria).

No entanto, no caso da concepção de constituição da matéria como formada por macropartículas que retêm suas propriedades macroscópicas (N2), há indícios de que os alunos começam a pensar em aspectos condizentes com as representações submicroscópicas mais acuradas devido a conceberem a natureza da matéria como particulada. Esses alunos, porém, podem ter dificuldades em associar a matéria em pó ao estado sólido, uma vez que suas macropartículas (os grão de pó) se encontram muito afastadas umas das outras, mas, ao mesmo tempo não apresentam as características macroscópicas típicas dos líquidos. Além disso, ao conceberem a matéria como particulada, os alunos parecem pressupor que os espaços entre macropartículas (ou submicropartículas – N3) são ocupados pelo próprio material ou por ar.

No caso da concepção da dissolução como um processo em que macropartículas de soluto são englobadas pelas de solvente, pode haver um foco maior no processo em si ao invés de nos agentes externos que determinariam a ocorrência do fenômeno (como comentado, quando se considera, por exemplo, a dissolução como resultado da agitação ou do aumento de temperatura). Essa concepção pode ser precursora da ideia de interação entre as partículas durante a dissolução, assim como aquela que concebe a dissolução como um rearranjo de partículas no nível submicroscópico (dissolução como reação química). A concepção da dissolução a partir da penetração do solvente no soluto ou dos choques daquele neste e o posterior espalhamento das partículas do soluto, parece conter indícios de elaborações iniciais sobre movimento das partículas na matéria, especialmente quando os alunos já as imaginam como unidades submicroscópicas (N3). Isto é algo muito importante pois, segundo Johnson (1998), a compreensão do movimento

molecular incessante, aleatório e independente de qualquer movimento/agente externo é um grande obstáculo para a experiência dos alunos. A consideração da existência de espaços vazios entre as partículas da matéria também pode indicar suas primeiras elaborações na concepção de que a quantidade de soluto dissolvida depende da quantidade de espaço disponível no solvente.

Vale comentar também que as bases dessas duas últimas concepções, assim como daquela que concebe a dissolução como junção de matérias e formação de uma nova (N1) também embasaram alguns dos modelos propostos por cientistas para explicar o processo, apresentados no início deste capítulo. Tal consideração reforça a importância de uma análise progressiva das ideias dos alunos (em lugar de polarizá-las entre corretas e incorretas); algo mais coerente com a própria evolução das ideias científicas e com nosso objetivo de investigar o entendimento conceitual de sujeitos ativamente envolvidos na elaboração de modelos explicativos para o fenômeno de dissolução, na revisão e reformulação desses modelos face a situações de desequilíbrio e sistematização.

#### **3.4. Abordagem das concepções sobre a natureza da matéria e dissolução na Psicologia Genética**

Como parte da obra “*O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*”, Piaget e Inhelder (1971) realizaram um estudo sobre como as crianças concebem a dissolução, tomando por base a investigação da conservação de substância, peso e volume. Nesta investigação, os autores reconhecem as dificuldades das crianças inerentes à observação e interpretação do fenômeno de dissolução do açúcar, tais como a ocorrência de uma espécie de ‘mudança de estado’ da substância e seu desaparecimento do campo visual e a impossibilidade da percepção visual da transformação completa sofrida pelo açúcar (contrariamente ao ocorrido no caso de outras experiências realizadas por eles com deformações em bolinhas de argila).

A análise dos resultados da investigação empreendida pelos autores sobre a dissolução foi dividida em quatro etapas associadas aos estágios de desenvolvimento da criança. Numa síntese, os achados e análises sobre os fundamentos das ideias das crianças que caracterizam cada uma dessas etapas, são os seguintes:

- *Etapas I (até 7-8 anos, em média): ausência completa de conservação nas ideias das crianças sobre o processo.* A avaliação do fenômeno ocorre em função das relações

perceptivas impostas pelo fenomenismo<sup>17</sup> e egocentrismo<sup>18</sup> da criança, atuando em conjunto. Numa perspectiva pré-atomística, a criança manifesta a ideia de que a substância (açúcar), ao se dissolver, se transforma em “migalhas” (estas não são indícios de secção da matéria para ela) que desaparecem com a completa aniquilação da substância e do seu gosto, o qual pode sobreviver ainda por um tempo na ausência do açúcar. Trata-se de uma representação perceptiva atrelada ao desaparecimento visual da matéria.

- *Etapa II (8 a 10 anos, em média): conservação de substância e formação das ideias iniciais de atomismo*<sup>19</sup>. A noção de conservação da substância resulta da ideia de que, apesar do desaparecimento dos pequenos pedaços de substância, estes permanecem no sistema sob a forma de “grãos” invisíveis responsáveis pela permanência do gosto que, de momentâneo e não-substancial (etapa I), torna-se durável e manifesta a existência da substância. Os grãos invisíveis não são dotados de peso nem de volume. Apesar disso, a substância se conserva após a dissolução, pois a ideia de “átomos-grãos” implica na *intuição* de que eles poderiam ser reencontrados e reunidos através de uma composição quantificante<sup>20</sup>. Três esquemas explicativos são desenvolvidos pelas crianças: liquefação do açúcar (o mais simples); pulverização com liquefação posterior (que anuncia o atomismo); e pulverização atomística (o mais complexo). O atomismo é desenvolvido nesta fase como produto dos esquemas operatórios das crianças que conciliam as operações<sup>21</sup> de fracionamento da matéria com as de deslocamento de suas partes no espaço e no tempo e eliminam o fenomenismo egocêntrico. Entretanto, ele ainda é um atomismo qualitativo uma vez que o peso e o volume dos “átomos-grãos” não se conservam.
- *Etapa III (10 a 11-12 anos, em média): conservação de substância e peso*. Essa conservação ocorre devido à mudança da ideia de peso-força (que depende da forma e posição do objeto) para peso quantitativo. As crianças passam a atribuir

---

<sup>17</sup> “(...) as coisas são tais como aparecem à percepção imediata” (Piaget & Inhelder, 1971, 119). Relações perceptivas consideradas pelo sujeito tais como são, ou seja, sem qualquer recomposição e agrupamento em sistemas racionais que ultrapassem a aparência.

<sup>18</sup> Representação do real em função da ação e do ponto de vista do próprio sujeito, ou seja, o real é modelado a partir do esquema do próprio eu (Piaget & Inhelder, 1971).

<sup>19</sup> Expressão utilizada por Piaget para se referir à natureza particulada da matéria.

<sup>20</sup> Sistema de operações que atua por *coordenação reversível*. Neste caso, o raciocínio da criança poderia ser algo do tipo: se a substância se dividiu em átomos-grãos, estes, mesmo que invisíveis, poderiam ser reunidos e recompostos na substância.

<sup>21</sup> Ações reversíveis, descentradas do eu, e componíveis com todas as outras possíveis (Piaget & Inhelder, 1971).

peso aos grãos invisíveis e são capazes de realizar uma composição em que a soma do peso de todos os grãos é igual ao peso total do torrão de açúcar, uma vez que cada parte (grão) permanece invariante quanto ao peso no seu deslocamento do inteiro (torrão). Nesta etapa, o atomismo se torna mais operatório e adquire caráter de um verdadeiro esquema de composição qualitativa, pois os elementos cessam de ser imponderáveis e passam a ser dotados de peso e substância. A conservação do volume ainda não é concebida.

- *Etapa IV (a partir de 11-12 anos): conservação de substância, peso e volume presente nas ideias manifestadas pelas crianças.* A formação da ideia de conservação do volume se dá em função de a criança se tornar capaz de generalizar o esquema da soma das partes igual ao inteiro e de integrá-lo a um novo esquema: o da compressão e descompressão. A criança não só representa as diferentes matérias como o açúcar e a terra como um conglomerado de grãos reunidos (sólido) ou separados (pó), mas também imagina as diferenças de dureza, densidade, solidez etc. (características daqueles materiais) como devidas à compressão ou descompressão de seus grãos. Utilizando esse mesmo esquema de compressão/descompressão, ela é capaz de distinguir entre o “volume global” (grãos e espaços existentes entre eles) e o “volume corpuscular total” (soma do volume dos grãos, desconsiderando-se os espaços). Isto lhe possibilita explicar a variação do contorno do açúcar sob a forma de torrões ou de xarope transparente (variação do volume global) e, ao mesmo tempo, considerar o fato de que o volume total dos grãos não se altera na dissolução.

Apesar desta inegável contribuição de Piaget e seus colaboradores para nossa compreensão do desenvolvimento das ideias das crianças sobre o processo de dissolução (que, sob vários aspectos, orientou a análise que propomos neste trabalho), existem pontos de seu trabalho que necessitam ser aqui discutidos se consideramos as particularidades do tema no ensino de Ciências.

O foco de Piaget e Inhelder na condução dos experimentos e análise da evolução das ideias estava, como comentado anteriormente, na elaboração dos invariantes<sup>22</sup> substância, peso e volume pela criança em observância do processo de dissolução. Nas palavras dos autores:

---

<sup>22</sup> Para Piaget, invariantes operatórios são “os elementos igualizáveis supostos no objeto” (Piaget & Inhelder, 1971, p. 101) e, por isso relacionados às noções de conservação.

“(…) *o único problema* que interessa à psicologia da inteligência é saber se, quando da transformação física, o espírito postula espontaneamente uma certa conservação, seja esta, na realidade, absoluta ou não.” (Piaget & Inhelder, 1971, p. 112, grifo nosso)

Devido a esse foco nos invariantes, de acordo com Vergnaud (1981), Piaget negligenciou o conjunto organizado de situações didáticas a partir das quais as crianças desenvolvem suas atividades em favor de situações exemplares desenvolvidas para suas investigações. Além disso, o reducionismo lógico-estrutural fez com que ele se ativesse às características lógicas dos testes de conservação e não se interessasse por uma compreensão dos conceitos científicos atrelada a fatores específicos de cada domínio.

Tais considerações sobre a abordagem da Psicologia Genética de conceitos científicos parecem justificar o fato de que alunos de diferentes faixas etárias apresentam dificuldades em representar de maneira acurada a natureza da matéria e, por consequência, o processo de dissolução – algo que advém do caráter abstrato (no sentido adotado para o termo neste trabalho) desses conceitos, reconhecido pelos próprios Piaget e Inhelder, como evidencia a citação a seguir:

“(…) sendo o açúcar dissolvido na água transparente como a água, esta mudança de estado se apresenta, para a experiência imediata, como uma espécie de desaparecimento, como uma desapareção da matéria: perguntar se o açúcar se conserva apesar das aparências é, pois, exigir do espírito da criança uma elaboração sem dúvida mais difícil que a da conservação do barro [durante sua deformação]; é no mínimo provocar uma construção mental bem diferente.” (Piaget & Inhelder, 1971, p. 109)

Como evidenciado por muitas das concepções apresentadas aqui, esses alunos raciocinam a partir de evidências sensoriais, enquanto aqueles conceitos exigem deles elaborações no nível submicroscópico do conhecimento químico ao qual eles dificilmente têm acesso sem a orientação e auxílios necessários. Isso é corroborado pelos trabalhos de diferentes autores (como Selley, 1979 apud Selley 2000; Andersson, 1990; Barker & Millar, 1999; Cosgrove & Osborne, 1981; Driver, 1985) que também questionam o esquema atomístico proposto por Piaget como o mecanismo mental a partir do qual sujeitos no estágio operatório (especialmente aqueles relacionados à etapa IV descrita anteriormente) compreenderiam a conservação da matéria. Os resultados desses estudos têm mostrado, por exemplo, uma prevalência de ideias de não conservação da matéria em sujeitos acima de 15 anos; explicações em que sujeitos empregam a ideia de conservação da massa, mas sem o emprego de ideias de

partículas; ou ainda que, quando encorajadas, crianças mais jovens podem ir além de uma resposta perceptual inicial. No primeiro caso, até mesmo quando os sujeitos admitem que o soluto possa ser 'quebrado em partes menores' em presença de um solvente, suas explicações podem estar baseadas no modelo 'partículas pequenas são mais leves', o que justifica a não conservação. Além disso, é importante notar que essa ideia pode não estar associada a qualquer explicação causal para a 'quebra das partículas do soluto' com base em modelos submicroscópicos, algo fundamental para a compreensão do conceito no domínio da Química.

Esses resultados reforçam nosso ponto de vista de que as conexões mencionadas por Piaget e Inhelder (1971) entre os dados da experiência e as elaborações dedutivas necessárias para que esses dados sejam estruturados e completados não ocorrem espontaneamente no que concerne à aprendizagem de conceitos científicos. Acreditamos que, para que tal aprendizagem ocorra, são necessárias atividades instrucionais planejadas com o objetivo de auxiliar os alunos no estabelecimento daquelas conexões e que levem em consideração a maneira pela qual eles progressivamente elaboram seus conhecimentos.

## CAPÍTULO 4. MODELOS E MODELAGEM NA CIÊNCIA E NO ENSINO

### 4.1. A inter-relação entre modelos, hipóteses, teorias, e analogias na ciência

Cientistas representam o mundo para si e para os outros através de modelos (Giere, 1988). Nesse processo de representação, os modelos produzidos são expressos e seus sentidos negociados na comunidade científica. Por isso, eles podem ser considerados as principais ferramentas de produção de conhecimento científico e um dos principais produtos da ciência (Gilbert, 1993; Morrison & Morgan, 1999; Nersessian, 1999).

O termo *modelo* é utilizado com múltiplos significados nos diferentes domínios da ciência, no entanto, existe certo consenso entre eles em relação a um modelo ser uma ‘representação’. De acordo com Gilbert, Boulter e Elmer (2000) modelos são representações parciais de entidades, sejam estas objetos, eventos, processos ou ideias, concebidos com alguma finalidade específica. Podemos citar como exemplos de finalidades dos modelos: simplificar sistemas, auxiliar na condução de investigações, justificar resultados, facilitar a comunicação, favorecer a visualização e, principalmente, permitir que explicações e previsões sejam elaboradas no processo de construção da ciência (Gilbert, 1993; Justi & Gilbert, 2006).

O fato de serem concebidos como representações parciais implica que modelos não estabelecem uma relação de identidade com a entidade representada, ou seja, como construções humanas, diferem da realidade representada. Eles são representações “abstráidas de” ou “traduzidas em uma outra forma” a natureza da entidade, de maneira a envolver apenas parte de seus atributos (Morrison & Morgan, 1999).

Uma mesma entidade pode ser representada através de diferentes modelos, elaborados de forma a se concentrarem em atributos diferentes e, que por consequência, variam sua abrangência e poder de previsão. Assim, os modelos não são avaliados pelos cientistas com base em sua capacidade de espelhar com precisão a entidade; “ao contrário, a legitimidade de cada representação diferente é uma função do desempenho do modelo em contextos específicos” (Morrison & Morgan, 1999, p. 28).

Dada a importância do construto modelo na elaboração do conhecimento científico e, conseqüentemente, para o ensino nesse domínio, torna-se fundamental situá-lo quanto às relações que ele estabelece com construtos não menos importantes como as hipóteses, teorias e analogias – algo que o filósofo da ciência Ronald Giere foi capaz de realizar em sua obra ‘Explaining Science’, publicada em 1988.

De acordo com esse autor, uma *hipótese* é uma declaração de relação entre o modelo e aquilo que ele representa<sup>23</sup> sendo, portanto, uma entidade linguística. A relação entre o modelo e o domínio representado é de *similaridade*<sup>24</sup>, o que significa dizer que hipóteses são afirmações de similaridade que, para serem válidas, precisam estar associadas a especificações referentes ao grau de similaridade entre os domínios comparados e aos aspectos relevantes na relação estabelecida, “uma vez que qualquer coisa pode ser similar a qualquer coisa” (Giere, 1988, p. 81).

Para Giere, é impossível estabelecer uma relação direta entre conjuntos de afirmações sobre o domínio representado e o próprio domínio representado. Essa relação é sempre indireta, mediada pelos modelos que são *análogos* ao representado. Assim, enquanto a relação que um modelo estabelece com as afirmações que o caracterizam, ou seja, com sua definição, é de verdade/falsidade, a relação entre o modelo e aquilo que ele representa, é de similaridade (para uma representação esquemática desses relacionamentos, veja figura 4.1 a seguir). Isso contraria a visão dos lógicos empiristas para os quais seria possível estabelecer uma ligação semântica direta entre afirmações científicas e o sistema “real”. Essa última visão elimina o papel dos modelos e, conseqüentemente, das relações de similaridade no raciocínio científico.

---

<sup>23</sup> Embora Giere (1988) associe o termo modelo a uma representação do real, entendemos que o domínio representado pode se referir também a entidades imaginárias que, não necessariamente, constituem um sistema real. Assim, preferimos nos referir àquele domínio de forma mais abrangente como domínio representado, ou domínio alvo, como será discutido a seguir.

<sup>24</sup> Relação entre o modelo e o domínio representado que tem a pretensão de ser isomórfica em certos aspectos (Nersessian, 1999).

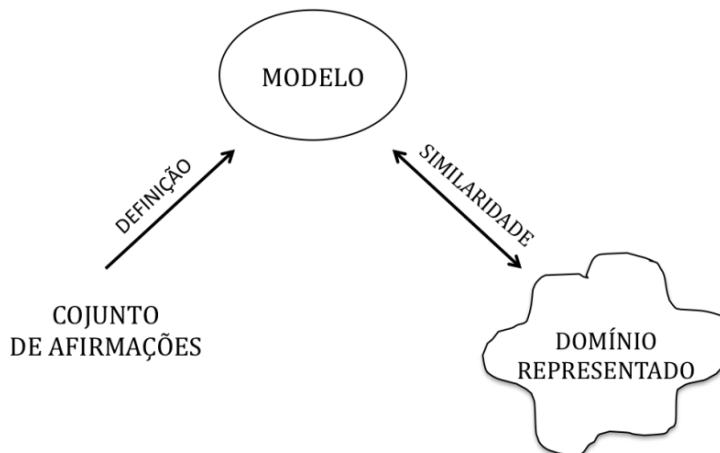


Figura 4.1. Representação do relacionamento entre conjunto de afirmações, modelos e aquilo que ele representa, adaptado de Giere (1988, p. 83).

Outro construto da ciência são as *teorias* que, segundo Giere (1988), são compostas por dois elementos: uma população de modelos e; hipóteses que ligam esses modelos àquilo que eles representam. Nas teorias, as relações estabelecidas pelos modelos com o domínio representado são de similaridade e não de lógica. Essas relações também conectam os modelos entre si de forma que aquilo que distancia um modelo de outro pode ser o que o aproxima de um terceiro.

Independentemente de como as teorias possam ser representadas, ao utilizá-las ou construí-las, cientistas lançam mão de modelos (mentais) a partir dos quais raciocinam, pensam e entendem o mundo (Nersessian, 1999). Isso justifica o fato de Morisson e Morgan (1999) afirmarem que modelos mediam entre teorias e o mundo (domínio representado) usando seus pontos de interseção com ambos os domínios. Ao mesmo tempo, eles desempenham um papel autônomo no trabalho científico, uma vez que são parcialmente independente de teoria e do mundo e, por isso mesmo, podem ser usados como instrumento de exploração de ambos.

Uma vez que modelos não são cópias da realidade, a noção de similaridade torna-se um recurso necessário à compreensão da noção de aproximação no contexto científico, eliminando a necessidade de um relacionamento semântico direto. Além disso, de acordo com Giere (1988), similaridade também é responsável por parte do avanço da ciência, seja pela descoberta de novos aspectos similares entre o modelo elaborado e o que ele representa, seja pela descoberta de que os aspectos anteriormente considerados similares são diferentes do que comumente se pensava.

A importância atribuída por Giere (1988) às relações de similaridade na construção do conhecimento científico é compartilhada por certos filósofos da ciência e pesquisadores da ciência cognitiva e da educação em ciências. Por exemplo, para Hesse (1966) modelos são metáforas e como tal apoiam criatividade e desenvolvimento científico. Duit (1991) e Duit e Glynn (1996) afirmam que o faz um modelo ser um modelo é a relação analógica que ele estabelece com o domínio representado (ou domínio alvo). De acordo com Johnson-Laird (1983), o modelo mental é um análogo estrutural, comportamental ou funcional de uma situação do mundo real ou imaginária, evento, objeto ou processo<sup>25</sup>. Para Nersessian (1999), raciocínio analógico, também denominado por ela modelagem analógica, não necessariamente conduz à elaboração de argumentos indutivos, no sentido da lógica, mas, mais importante do que isso, emprega abstração genérica<sup>26</sup> a serviço da construção, manipulação e avaliação de modelos.

Neste sentido, raciocínio analógico como recurso de pensamento, auxilia e/ou promove a descoberta e a criatividade de cientistas na construção da ciência (Clement, 2008b; Johnson-Laird, 1989; March, 1894; Nersessian, 2008c). Cientistas fazem uso de analogias principalmente na resolução de problemas, no desenvolvimento de seus modelos mentais e na explicação/comunicação de conceitos abstratos da ciência (R. K. Coll, 2005; Nersessian, 1992, 1999).

Nersessian (1992) discute alguns dentre os inúmeros casos em que analogias desempenharam um papel central na construção do conhecimento científico. Alguns exemplos são: a analogia estabelecida por Newton entre projéteis e a lua ('gravitação universal'), a analogia estabelecida por Darwin entre reprodução seletiva e reprodução na natureza ('seleção natural') e a analogia estabelecida por Bohr entre a estrutura do sistema solar e a configuração das partículas subatômicas ('átomo').

Justi e Gilbert (1999) também apontam exemplos em que a elaboração de analogias levou à produção de novos conhecimentos no domínio da química, especificamente no que diz respeito ao conceito de reação química no campo da cinética. Da analogia mecânica estabelecida por Boyle, na qual "afinidade" seria o resultado das formas adequadas de corpúsculos que lhes permitiriam se unir à

---

<sup>25</sup> A concepção de modelo mental que usamos neste trabalho é a de uma representação cognitiva privada e pessoal, elaborada por um indivíduo por conta própria ou dentro de um grupo (Gilbert, et al., 2000), enquanto lida com uma tarefa de raciocínio específico (Nersessian, 1999).

<sup>26</sup> "Processo de raciocínio chave na modelagem analógica, o qual frequentemente requer o reconhecimento de similaridades potenciais e a integração de informações a partir de domínios diferentes." (Nersessian, 1999, p. 16)

analogia estabelecida por Newton, na qual a “afinidade” seria um tipo de força que permitiria a união dos corpos (independente de sua causa), a química evoluiu para um modelo de cinética mais preciso que facilitou as previsões sobre probabilidade e velocidade da reação.

Existe certa concordância entre esses e outros autores quanto ao fato de que um modelo é o produto de um processo de raciocínio analógico. Nesse processo, são estabelecidas relações entre um domínio conhecido, denominado fonte ou análogo ( $R_1$ ) e outro desconhecido ou pouco conhecido, denominado alvo ( $R_2$ ) que dão origem a uma *representação parcial* estruturalmente análoga àqueles domínios ( $R_M$  – veja figura 4.2) (Duit, 1991).

No presente trabalho, assumimos que o análogo é uma entidade mais familiar usada para representar o alvo, com o qual estabelece relações de similaridade; o alvo é o aspecto representado, seja este um objeto, um evento, um processo ou uma ideia; a representação  $R_M$  é denominada *modelo analógico*, o que significa dizer que o resultado do raciocínio analógico é um (ou são vários) modelo(s).

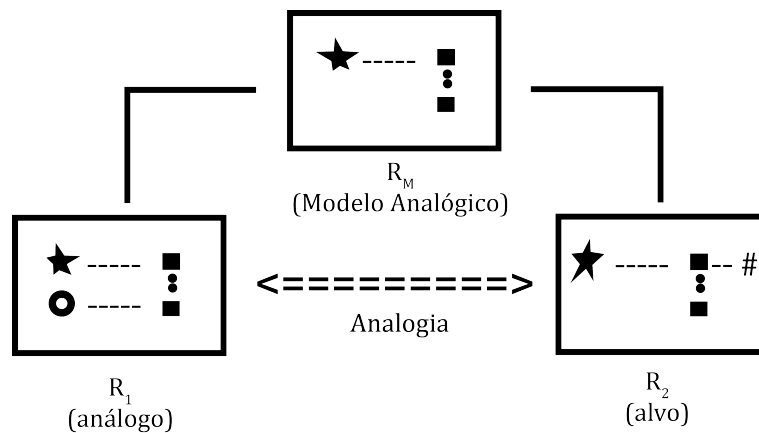


Figura 4.2. Adaptação do esquema de Duit (1991) sobre o significado de analogia.

Assim, em consonância com as ideias de Duit, chamaremos de *analogia* as relações analógicas representadas na figura 4.2 pela seta dupla pontilhada e de *modelo analógico* a representação elaborada pelo indivíduo ou grupo a partir daquelas relações, ou, de maneira geral, a partir das correspondências entre os domínios. Sob este ponto de vista, as analogias são comparações *relacionais*, o que significa dizer que quando elementos dos domínios alvo e análogo são colocados em correspondência, os atributos de objetos (propriedades descritivas como cor, tamanho, forma etc.) desses

elementos são ignorados em prol das relações que eles estabelecem, devido ao papel similar que desempenham nas estruturas dos domínios comparados (Gentner, 1983, 1989). Como consequência, de acordo com Gilbert e Boulter (1998) o uso de um modelo analógico por cientistas os capacita a identificar aspectos chave do alvo, sem se aterem a detalhes ou atributos menos importantes.

Na literatura, encontramos frequentemente associações inadequadas do termo analogia em referência ao domínio análogo por exemplo, quando se assume o sistema solar como sendo a analogia para o átomo de Bohr, ao invés de se pensar naquela como as relações que os sistemas estabelecem entre si. Isto não é condizente com os relatos sobre o raciocínio analógico dos cientistas (Clement, 2008a; Nersessian, 1992, 1999, 2008a). Tal confusão pode levar à compreensão errônea de uma ênfase nas semelhanças superficiais entre os domínios análogo e alvo, ou seja, em suas similaridades relacionadas às propriedades descritivas (como cor, tamanho, forma etc.). Gentner (1983, 1989) chama este tipo de comparação de *mera aparência* e a diferencia de *analogias* (comparações relacionais) e das *similaridades literais* (comparações em que há um mapeamento tanto de propriedades descritivas quanto de relações).

A incongruência de tal associação com a elaboração e refino dos modelos em atividades de modelagem científica, nas quais os cientistas buscam estabelecer *relações analógicas* entre os domínios comparados, está no fato de que a elaboração de comparações de mera aparência pouco contribui à construção do conhecimento científico, dado seu baixo poder inferencial (Duit, 1991). Ao contrário, essa é uma característica da elaboração de comparações por alunos pouco experientes, os quais se atêm ao “parece com” em termos de similaridades superficiais (Mozzer & Justi, 2012), enquanto os cientistas se preocupam com o “funciona/comporta-se como”.

Isso pode refletir o fato de que alunos, ao lidar com modelos, tentam “apontar uma transparência mais imediata entre realidade e modelo”, enquanto cientistas, conscientes da existência de limitações em um modelo, tendem a vê-los como ferramentas que possibilitam a formulação e teste de ideias sobre a realidade (Grosslight, Unger, Jay, & Smith, 1991). Tal característica ressalta a lacuna entre o tipo de modelagem vivenciada pelos cientistas e os processos espontâneos e não orientados de elaboração de modelos de alunos face ao conhecimento científico.

## 4.2. Modelos na cognição e no ensino de Ciências

Ao sermos confrontados com a realidade, construímos modelos para explicá-la, para fazer previsões, para guiar nossas ações e explorações. Nesta construção, o modelo elaborado depende dos fatos considerados e, reciprocamente, os fatos representados dependem do conhecimento que supomos e mobilizamos. Esse processo que rege o raciocínio humano de maneira geral também rege a modelagem científica. Isso justifica o fato de aspectos cognitivos envolvidos no uso e na elaboração de modelos terem se tornado um tema bem estabelecido na pesquisa, a tal ponto que modelos podem ser usados como fonte de informação sobre formação de conceitos e mudança conceitual em cientistas e alunos (Bailer-Jones, 1999; Nersessian, 1999, 2008b).

Das diversas funções a que os modelos podem servir, a de elaborar explicações apresenta destaque na cognição, visto que, de acordo com Salmon (1993 apud Bailer-Jones, 1999), se explicações são vistas como algo que pode levar ao entendimento. Então, a cognição “é uma companheira natural da explicação”. Neste sentido, Bailer-Jones (1999) destaca que, uma vez que analogias podem promover a compreensão do domínio alvo a partir de um domínio familiar, elas se tornam centrais na elaboração de explicações e, portanto, contribuem para a função cognitiva dos modelos.

Além disso, pesquisas na área das ciências cognitivas sugerem que cognição e percepção humanas operam a partir do estabelecimento de similaridades (Giere, 1988). Um exemplo citado pelo autor que reforça tal sugestão é o de que jogadores de xadrez, ao contrário do que se poderia pensar, não pensam no jogo axiomáticamente, analisando a disposição das peças com base em regras. Em vez disso, eles o comparam com um outro padrão acessado de sua memória e, a partir deste, analisam o jogo atual antes de realizarem uma jogada. A estimativa é de que um jogador experiente pode ser capaz de se lembrar de cerca de 50000 padrões diferentes.

Tendo reconhecido o papel das analogias na função cognitiva dos modelos, Bailer-Jones (1999) destaca também as funções criativa e ilustrativa destes discutidas por Harré (1970). De acordo com este autor, a função criativa, aplicada a situações em que o problema é mal definido e quando existem falhas em nosso entendimento, está relacionada à geração de hipóteses que podem levar à descoberta. Por outro lado, a função ilustrativa dos modelos, que se aplica a situações conhecidas, possui valor mais heurístico. Sendo assim,

“Um coisa é pensar o átomo em termos do sistema solar para desenvolver um modelo do átomo, e outra coisa completamente diferente é usar a imagem do sistema solar para raciocinar sobre ou ensinar ideais sobre o átomo. Ambos *criação* e *uso* de um modelo são processos envolvendo cognição, mas não necessariamente da mesma maneira” (Bailer-Jones, 1999, p. 36).

No primeiro caso, a exigência cognitiva é grande. O sujeito (ou grupo) têm de elaborar relações para um domínio análogo por ele selecionado. Essas relações são estabelecidas partindo de sua(s) própria(s) estrutura(s) cognitiva(s) e, o que é muito importante, devem ser posteriormente avaliadas. No segundo caso, é necessário apenas identificar as relações entre domínios apresentados *a priori*, já estabelecidas e avaliadas por outrem.

No caso do ensino de Ciências, o uso criativo de modelos mostra-se promissor, pois vai ao encontro das ideias de Clement (2008a) de que os alunos necessitam aprender modelos complexos via um processo de construção interna, não via uma transmissão expositiva direta. Além disso, o fato de o aluno ter simplesmente seu modelo criticado pelo professor não têm demonstrado ser suficiente para que ele o modifique de maneira consciente. Ainda segundo esse autor, a complexa, tácita, não-observável e contra-intuitiva natureza dos modelos científicos faz com que, durante o processo de instrução por transmissão, concepções inadequadas dos alunos venham a se tornar a regra ao invés de a exceção.

Para que os alunos entendam porque um modelo estabelecido tem certas vantagens sobre suas preconcepções, eles precisam estar envolvidos na auto-avaliação de seus próprios entendimentos (meta-conhecimento). Isso significa que a aprendizagem de modelos científicos requer um tipo de aprendizagem por execução, construção e crítica, ao invés de somente pela escuta (Clement, 2008a).

Uma das maneiras de se cumprir esse objetivo seria engajar os alunos em atividades investigativas semelhantes àquelas vivenciadas pelos cientistas. Tal recomendação provém de documentos oficiais sobre o ensino de ciências nos âmbitos nacional e internacional (por exemplo, MEC, 2002; NRC, 2012) que procuram atender a uma reconhecida necessidade de atualização do currículo de ciências, na qual a vivência das práticas científicas pelos próprios alunos possui um lugar central.

#### 4.2.1. *As analogias no ensino de Ciências*

Na medida em que possibilitam a comparação entre situações novas e um domínio do conhecimento mais familiar, as analogias podem ser valiosas ferramentas

de ensino, especialmente sob o ponto de vista construtivista, segundo o qual aprender é um processo de construção ativa e que só é possível com base no conhecimento previamente adquirido (Duit, 1991). Sob esse mesmo ponto de vista, os conhecimentos prévios do aluno determinam os significados que ele atribuirá, derivados do processo de instrução, e são alterados por este. Portanto, um ensino que não se constrói sobre conhecimento e entendimento prévios pode não conduzir a uma aprendizagem significativa (D. E. Brown & Clement, 1989).

Neste sentido, o uso de analogias no ensino possibilita a utilização explícita de conhecimentos prévios dos alunos como recursos potenciais que eles trazem consigo. Isso permite a mudança do foco exclusivo naqueles conhecimentos como concepções errôneas problemáticas (Clement, 2008c).

No caso específico da aprendizagem de ciências como a química, em que os aspectos novos a serem entendidos pelos alunos são, em sua maioria, abstratos, o uso de analogias se mostra relevante, pois, como destacado por Holyoak et al. (2001), a progressão de um simples caso de analogia, altamente específico, para conceitos mais abstratos ou esquemas seria um de seus papéis principais na cognição. Por esse motivo, no contexto do ensino de química e no de outros ramos da ciência (como a física, a biologia e a geografia) vários autores defendem a utilização e geração de analogias com os objetivos de facilitar: o entendimento dos alunos, a aquisição de novos conhecimentos e a modificação de concepções alternativas (Blanchette & Dunbar, 2002; D. E. Brown & Clement, 1989; Mendonça, Justi, & Oliveira, 2006; Thiele & Treagust, 1991).

Professores e diversos pesquisadores das áreas de educação em ciências e psicologia cognitiva reconhecem o papel das analogias na aquisição de novos conhecimentos e no entendimento conceitual. Apesar disso, a maioria das experiências conduzidas em salas de aula e em outros ambientes envolvendo alunos examina o raciocínio analógico em contextos de resolução de problemas nos quais os domínios alvo e análogo são fornecidos e bem definidos pelo professor e/ou pesquisador. Nesses casos, resta ao aluno apenas estabelecer as correspondências e identificar as relações. Assim, o sucesso ou insucesso da tarefa, e, conseqüentemente, do raciocínio analógico do sujeito, depende da identificação das relações entre os domínios comparados consideradas “corretas” pelo professor ou pesquisador, pressupondo um entendimento do modelo curricular (domínio alvo) por parte do aluno.

Na literatura, existem evidências: de que os alunos usualmente apresentam um conhecimento anterior incompleto ou mal organizado com relação ao domínio alvo (Wong, 1993); de que, muitas vezes, o próprio domínio análogo a eles apresentado pode não lhes ser familiar; ou, ainda, de que eles podem possuir concepções errôneas com relação a esse domínio que podem ser transferidas para o alvo (Duit, 1991). Considerando esses aspectos, concluímos que o tipo de tarefa descrito anteriormente não é condizente com as premissas construtivistas aqui apresentadas e defendidas e que, portanto, podem falhar no que diz respeito a situações de aprendizagem.

Existem iniciativas, como a Glynn (et al. 1989; 1991; 2007; 2008) que, em certos aspectos, são menos arbitrárias. Em seu modelo de ensino “*Teaching with Analogies*” (TWA), ele propõe um acompanhamento mais próximo por parte do professor durante o mapeamento analógico realizado pelo aluno, a fim garantir o sucesso da comparação. Esse modelo contém orientações destinadas ao professor para que ele possa guiar o uso das analogias por parte dos alunos. Tais orientações estão divididas nos seguintes estágios:

1. Introduzir o conceito alvo;
2. Recordar com os alunos o que eles sabem sobre o conceito análogo;
3. Identificar características relevantes do alvo e do análogo;
4. Mapear (colocar em correspondência) as similaridades;
5. Tirar conclusões sobre o alvo;
6. Indicar as limitações da analogia.

Neste modelo, diferentemente da maioria das experiências citadas anteriormente, existe uma maior preocupação do autor em assegurar a compreensão do domínio análogo por parte do aluno (“recordar com os alunos o que eles sabem sobre o conceito análogo”). Outra preocupação é com o fato de o aluno poder transferir determinados aspectos presentes somente na estrutura do análogo para o alvo, isto é, poder mapear aspectos inadequados. Tal preocupação é evidenciada pela orientação para que, primeiro, se identifique as “características relevantes do alvo e do análogo” e, somente depois, as correspondências sejam estabelecidas.

No entanto, Glynn não enfatiza o valor das *relações* entre os domínios comparados e parece colocá-las no mesmo plano que as correspondências entre atributos (ou propriedades descritivas) dos domínios. Isto é problemático, pois segundo Duit,

“O acesso a analogias fornecidas é facilitado por similaridade de superfície e aspectos estruturais profundos. Mas, *apenas os aspectos estruturais profundos têm poder inferencial.*” (Duit, 1991, p. 666-667, grifo nosso)

Além disso, é o professor – e não o aluno – que fica incumbido de “indicar as limitações da analogia”, ou seja, de identificar os atributos e/ou relações que não podem ser mapeados entre os domínios comparados. Essa característica do TWA pode restringir a possibilidade de os alunos compreenderem a natureza das analogias como geradoras de representações parciais e até mesmo levá-los a associá-las a explicações inadequadas quando esclarecimentos adicionais relativos às suas limitações não são fornecidos pelo professor.

Apesar das orientações do TWA serem muito válidas no sentido de ressaltar aspectos relevantes de um processo rotineiro para a maioria dos cientistas e para alguns poucos professores, esse modelo conserva o principal aspecto que julgamos negativo na maioria das iniciativas: o fornecimento do domínio análogo ao aluno. Além da possibilidade de pouca (ou nenhuma) familiaridade com o análogo que o TWA pode não conseguir contornar, o principal problema, a nosso ver, é a limitação da criatividade do aluno e das múltiplas relações que poderiam ser percebidas e discutidas (Mozzer, 2008), favorecidas pela diversidade de domínios análogos que coexistiriam em uma atividade de elaboração de analogias. Nas palavras de Morrison e Morgan: “Nós não aprendemos muito ao olhar para um modelo – aprendemos muito mais com a construção e manipulação do modelo.” (Morrison & Morgan, 1999, p. 11-12)

Apesar da declaração de Morrison e Morgan, essa não é uma realidade constante nas aulas de Ciências. Além disso, atualmente existem poucos estudos sobre alunos utilizando analogias espontaneamente ou gerando suas próprias analogias (Clement, 2008a; Kaufman, Patel, & Magder, 1996; Mozzer & Justi, 2012; Pittman, 1999; Spier-Dance, Mayer-Smith, Dance, & Khan, 2005; Wong, 1993). Entretanto, os poucos estudos conduzidos nestas perspectivas demonstraram que

“... se os alunos são instruídos a criar, aplicar e modificar suas próprias analogias – em oposição à mera aplicação de analogias específicas apresentadas por outrem – contribui-se positivamente à auto-regulação de suas explicações sobre os fenômenos científicos e, em geral, o avanço na compreensão conceitual dos fenômenos científicos é favorecido.” (Oliva, Aragón, Mateo, & Bonat, 2001, p. 457)

Na mesma direção, Pitman (1999) afirma que quando os alunos são solicitados

a estabelecer suas próprias analogias, eles têm que procurar por relações de similaridade de sua própria perspectiva, o que pode levá-los a um entendimento mais profundo dos domínios comparados.

Isso foi confirmado também no estudo de Clement (2008a), que envolveu alunos gerando analogias novas e espontâneas ao “pensarem alto” sobre problemas de física. Naquela amostra, alguns estudantes foram capazes de gerar cadeias de analogias e de construir experimentos mentais, ambos desenvolvidos a seu modo. Esses processos também foram observados na resolução de problemas dos especialistas investigados. Em consonância com esses estudos, resultados de pesquisas como as de Wong (1993) nos fornecem apoio empírico para a crença de que o envolvimento dos alunos no processo de criação de suas próprias analogias pode estimular novas inferências e *insights* em seus participantes.

A partir de uma abordagem semelhante, ao investigarmos o estabelecimento de analogias por alunos e professores (Mozzer & Justi, 2012, 2013), concluímos que alguns dos subprocessos do raciocínio analógico (acesso, mapeamento, inferências, avaliação e generalização, detalhados na próxima seção) foram vivenciados de maneira muito semelhante por ambos. A principal diferença observada foi que, no caso dos alunos, esses subprocessos foram guiados pelos seus conhecimentos escolares e cotidianos, enquanto no caso dos professores, eles foram guiados pelos seus conhecimentos de conteúdo e pedagógico.

Nesses trabalhos de Mozzer e Justi (2012, 2013) e Clement (2008a), os alunos não foram capazes de, espontaneamente, detectar as limitações de suas analogias, ou seja, de avaliá-las criticamente e, em alguns casos, de estabelecer generalizações. Como consequência, os autores destacam o papel crucial do professor como guia no processo. Isso demonstra, como destacado por Oliva et al. (2001) que o processo de elaboração de analogias por parte dos alunos, com vistas à aprendizagem significativa de Ciências não deve consistir em um processo autônomo.

Ainda com relação aos trabalhos de Mozzer e Justi (2012, 2013) e Clement (2008a), os alunos exibiram alguns dos processos importantes da elaboração de analogias usados por cientistas, especialistas e professores (como o mapeamento de relações em oposição ao mapeamento de propriedades descritivas entre os análogos e a utilização de experimentos mentais para crítica da analogia). Assim, somos levados a supor que alguns dos fundamentos para uma aprendizagem baseada em modelagem analógica podem já estar presentes entre os alunos e que, em um contexto no qual

exista orientação adequada do professor, eles podem ser capazes de participar ativamente na construção de seu conhecimento científico.

Outro ponto importante e já destacado por Vosniadou e Ortony (1989) é que o estabelecimento de comparações muda com a aquisição de conhecimento. Segundo eles, como os julgamentos de similaridade são baseados nas representações das entidades elaboradas pelas pessoas, qualquer desenvolvimento no entendimento da estrutura do sistema de similaridade estará relacionado ao desenvolvimento no entendimento de como os conceitos são representados e de como a estrutura conceitual muda com a aquisição de conhecimento. Tal ponto também é defendido por Vergnaud (1990b) na TCC, a qual subsidiará parte deste trabalho. Isso justifica nosso interesse pela elaboração e aplicação de atividades de ensino fundamentadas na modelagem que permitam aos alunos expressar as similaridades por eles estabelecidas enquanto atribuem significado ao processo de dissolução, nos abrindo a possibilidade de investigar o papel desempenhado pelas analogias nesse processo.

Como preconizado por Duit (1991), o papel de analogias no ensino de ciências deve ir além daquele de facilitar a compreensão de conceitos e conteúdos. Elas devem servir como ferramentas explanatórias e heurísticas que favoreçam ao aluno vivenciar o processo de construção de modelos a partir do qual a aprendizagem de habilidade de raciocínio e atitudes científicas é tão importante quanto a aprendizagem do modelo curricular que o professor almeja ensinar. Estas são premissas do ensino fundamentado em modelagem e, em específico, da modelagem analógica discutidas na próxima seção.

### **4.3. Modelagem na ciência e no ensino de Ciências**

#### *4.3.1. Modelagem na ciência*

Ciência pode ser definida como um processo de elaboração de modelos com diferentes capacidades preditivas. Essa definição, proposta por Steven Gilbert (1991), une os processos de construção da ciência e a natureza de seus produtos. No que concerne aos processos, estes dizem respeito à elaboração de modelos pelos cientistas e sua utilização como ferramentas para o pensamento científico. Nesses processos, modelos não só auxiliam o raciocínio, como também são os meios a partir dos quais cientistas raciocinam ao elaborar novas representações conceituais (Nersessian, 2008b). Por outro lado, com relação à natureza dos produtos, modelos, como discutido

anteriormente, são representações de uma entidade alvo que estabelecem com ela relações de similaridade, e que visam ser consistentes e preditivos.

Sob esse enfoque, a elaboração de modelos por cientistas tem sido discutida por pesquisadores como (Clement, 1989, 2008a) e Justi e Gilbert (2002) como envolvendo ciclos recorrentes de *produção e expressão* de um modelo, *testes* empíricos e mentais e *avaliação* deste modelo, os quais podem resultar na modificação ou, em certos casos, até na rejeição do modelo produzido. Estas são etapas não lineares, dinâmicas e interdependentes, como representado na figura 4.3.

A representação da figura 4.3 foi concebida como uma simplificação do Diagrama Modelo de Modelagem, elaborado por Justi e Gilbert (2002). Tal diagrama foi desenvolvido como uma estrutura geral para o processo de modelagem vivido por cientistas, com base em esquemas mais simples propostos por Clement (1989) e na tentativa de complementá-los, introduzindo novos elementos e explicitando as relações adicionais entre todos eles. Ele embasou a elaboração das atividades propostas neste trabalho e é apresentado em maiores detalhes a seguir.

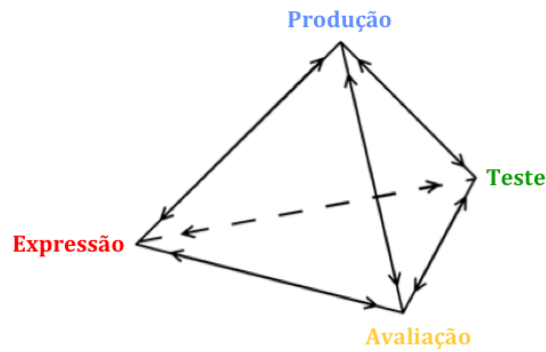


Figura 4.3. Versão simplificada do Diagrama Modelo de Modelagem (Justi, 2011).

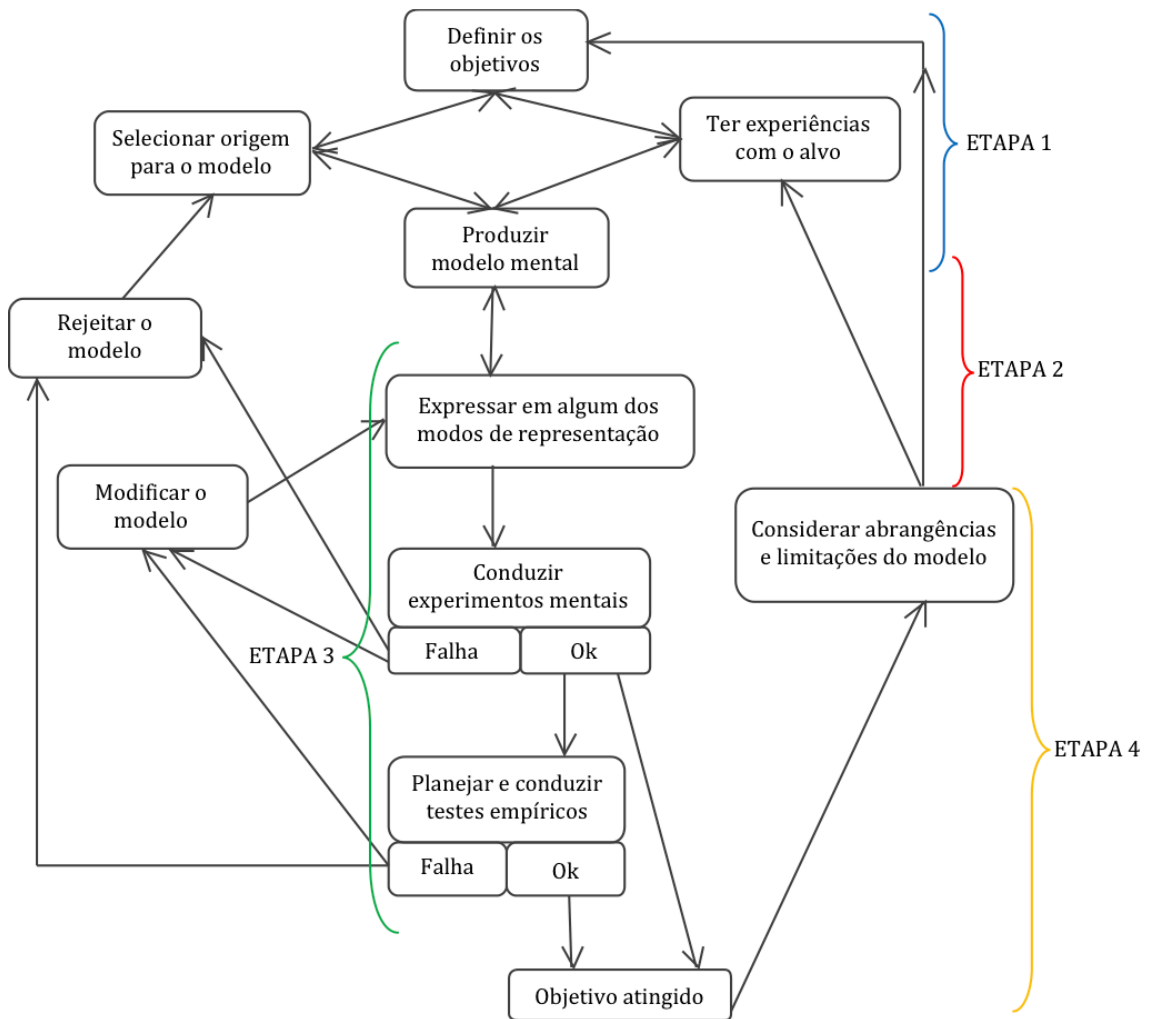


Figura 4.4. Diagrama Modelo de Modelagem (Justi & Gilbert, 2002).

A *produção* de um modelo mental (etapa 1) se dá através de uma integração dinâmica e, por vezes simultânea de: (i) definir os objetivos do modelo ou entender os objetivos propostos para o modelo; (ii) obter informações sobre a entidade a ser modelada a partir da estrutura cognitiva prévia do indivíduo e/ou de fontes externas: referências, atividades empíricas, etc. (ter experiência com o alvo); (iii) selecionar aspectos da realidade que serão usados para descrever a entidade modelada (objetos, eventos, processos ou ideias): definir uma analogia ou modelo matemático para a fundamentar o modelo (selecionar a origem para o modelo); e (iv) integrar as subetapas anteriores, a fim de produzir um modelo mental.

A *expressão* do modelo mental (etapa 2) pode ocorrer usando quaisquer modalidades de representação: 3D (concreto); 2D (desenhos, diagramas etc.); virtual (programas computacionais); verbal (como as analogias); gestual; matemática, ou qualquer combinação destes.

Os *testes* do modelo (etapa 3) podem ser empíricos ou mentais. A opção por testes empíricos depende do aspecto modelado da entidade alvo e dos recursos materiais disponíveis para sua realização. Eles se encontram sempre associados aos testes mentais, ou seja, os experimentos são simulados mentalmente de forma a possibilitar previsões e explicações para comportamentos observados empiricamente.

Finalmente, a *avaliação* do modelo resultante (etapa 4) implica a identificação da abrangência, ou seja o âmbito de validade do modelo elaborado e das suas limitações a partir da contraposição do modelo com seus objetivos iniciais e da tentativa de usá-lo em outros contextos (Justi, 2006; Justi & Gilbert, 2002).

Essa visão da construção da ciência contrasta com a visão simplista expressa por alguns filósofos e historiadores da ciência de que modelos são elaborados exclusivamente a partir de processos de raciocínios indutivo e dedutivo. Trabalhos fundamentados em estudos sistemáticos de cientistas, com base em seus registros (Giere, 1988; Nersessian, 1992, 2008a; Thagard, 1992) e com estes “pensando em voz alta” (Clement, 1989, 2008a; Dunbar, 1994) tem embasado empiricamente o ponto de vista, a partir do qual a construção do conhecimento científico envolve elaboração de modelos e, portanto, requer raciocínio criativo e intuição.

Uma vez que modelos constituem as unidades básicas de raciocínio de cientistas e que estes, por sua vez, são análogos ao real (Giere, 1988), analogias assumem grande importância na construção do conhecimento científico. Elas são

largamente utilizadas na ciência, pois ajudam os cientistas a entender e explicar fenômenos abstratos, produzir novos conhecimentos e comunicar suas ideias.

Além disso, por permitirem o estabelecimento de relações entre modelos, as analogias também podem ser partes essenciais de teorias. Para ilustrar esse papel das analogias, Glynn (1991) nos fornece exemplos como o de Joseph Priestley (1773-1804), que propôs a “lei de força elétrica” a partir de uma analogia com a força gravitacional. Tal lei foi, posteriormente, verificada de maneira experimental por Charles Coulomb. Exemplos como este evidenciam que raciocínio analógico na ciência pode levar a resultados produtivos e criativos.

De acordo com Nersessian (1999), raciocínio analógico é um processo de construção de modelos e a essência de uma analogia é “o emprego de abstração genérica a serviço da construção, manipulação e avaliação de modelo” (Nersessian, 1999, p. 20). Segundo Gentner e Holyoak (1997), o processo de raciocínio analógico tem sido decomposto, de uma maneira muito útil e geral, nos seguintes subprocessos:

- *Acesso*: um ou mais análogos relevantes, armazenados na memória, devem ser acessados (ou elaborados);
- *Mapeamento*: um domínio familiar deve ser mapeado para o domínio alvo, identificando correspondências sistemáticas entre os dois e, então, alinhando as partes correspondentes de cada domínio;
- *Avaliação*: o resultado do mapeamento permite que inferências analógicas sejam feitas sobre o domínio alvo, podendo levar a novo conhecimento e preenchimento de possíveis falhas no entendimento. Essas inferências necessitam ser avaliadas e, possivelmente, adaptadas para se adequar aos requerimentos únicos do alvo; e às vezes,
- *Generalização* (ou *Geração de novo conhecimento*): extensão das inferências a todos os casos a que se possa aplicá-las. Como consequência de inferências produtivas, novas categorias e esquemas podem ser gerados, novas instâncias podem ser adicionadas à memória e novas compreensões de antigas instâncias e esquemas podem ocorrer. Isso significa que, em utilizações futuras, instâncias e esquemas podem ser melhor acessados.

Na literatura sobre raciocínio analógico (Gentner, 1989; Holyoak & Thagard, 1989; Vosniadou, 1989; Wilbers & Duit, 2006) não existe concordância com relação à maneira pela qual o mapeamento analógico se processa e nem quanto aos fatores que

determinam o acesso ou a preferência de um indivíduo por um domínio análogo específico. Apesar disso, a suposição básica comum a essas abordagens é a de que mapeamento analógico envolve a busca por similaridades relacionais (em lugar de propriedades descritivas) entre os domínios comparados.

Como são gerais, os subprocessos mencionados estão presentes no raciocínio analógico de cientistas. May et al. (2006) – em consonância com autores como Gick & Holyoak (1983) e Clement (1988, 2008a) – destacam etapas específicas da elaboração e uso de analogias por cientistas, as quais integram os subprocessos mencionados: geração; análise; e síntese de novo conhecimento. Estes autores caracterizam a produção de conhecimento por cientistas através do uso de analogias como sintetizado a seguir.

Cientistas elaboram analogias na condução de uma investigação ou resolução de um problema. Baseando-se em suas experiências com a entidade (ou domínio) alvo, eles acessam ou criam um análogo e realizam o mapeamento das correspondências (*geração*). Após a elaboração, eles partem para uma fase de *análise* em que buscam estabelecer ou confirmar seu entendimento, validando a analogia. A crítica das correspondências estabelecidas no mapeamento e inferências advindas dele e a determinação das limitações por meio da identificação das similaridades e diferenças entre os domínios também constituem aspectos importantes da análise da analogia gerada. Ainda nesta fase, e em resposta à crítica, o refinamento da analogia ou a sua re-representação se tornam essenciais. Para alcançar seu objetivo principal – a *síntese de novo conhecimento* – cientistas estabelecem, por meio da analogia gerada, novas inferências sobre o domínio alvo e elaboram generalizações com maior grau de abstração. Além disso, como parte das atividades de investigação científica, cientistas frequentemente utilizam suas analogias para comunicar conhecimento aos outros.

Negando a impressão que pode ser gerada por uma descrição em etapas, esse processo de elaboração de uma analogia para explicar um fenômeno complexo envolve inúmeras tentativas e abandonos de ideias, da parte dos cientistas. Neste processo, o cientista pode ter tentado acessar inúmeros análogos e combinações de ideias e somente a partir do momento em que considera ter encontrado um análogo apropriado é que o grau de liberdade no seu mapeamento das informações entre os domínios diminui (Johnson-Laird, 1989).

A descrição desses aspectos do processo de elaboração de analogias pelos cientistas torna evidente que a construção de modelos analógicos está submetida aos

mesmos processos gerais da modelagem científica (produção, expressão, teste e avaliação), sendo a modelagem analógica um caso específico de modelagem científica.

#### 4.3.2. *A elaboração de analogias fundamentada na modelagem no ensino de Ciências*

Atividades de ensino de ciências fundamentadas no processo de modelagem, podem ser alternativas promissoras para um ensino de ciências autêntico, pois estas são elaboradas visando compartilhar grandes similaridades com as atividades dos cientistas<sup>27</sup>. Essa suposição tem sido confirmada por pesquisas na área de ensino de ciências em geral (por exemplo, Acher, Arcà, & Sanmartí, 2007; Barab, Hay, Barnett, & Keating, 2000; Clement, 2000; Jonassen, 2008) e de química em particular (Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2010; Mozzer, et al., 2007; Souza & Justi, 2010). Sendo assim, considerando-se os entrelaçamentos entre os processos de elaboração e refino de analogias (modelagem analógica) pelos cientistas e a modelagem científica mais ampla, atividades de elaboração de analogias fundamentadas na modelagem podem ser vislumbradas como uma alternativa para um ensino de ciências autêntico.

Tendo em vista que a modelagem analógica é um caso específico da modelagem científica, as etapas deste processo, adaptadas para situações de ensino, podem possibilitar a elaboração de modelos analógicos, entre outros tipos. Isso pode, portanto, favorecer a vivência dos subprocessos e etapas da modelagem analógica pelos alunos. Pensando naquelas situações, a seguir, buscamos identificar essas possibilidades, correlacionando as etapas da modelagem do Diagrama Modelo de Modelagem de Justi e Gilbert (2002), com as etapas da modelagem analógica descritas por autores como May et al. (2006) e os subprocessos do raciocínio analógico identificados por Gentner e Holyoak (1997).

Na etapa 1, os objetos para a elaboração do modelo são, geralmente, estabelecidos pelo professor e apresentados aos alunos. Estes são, então, confrontados com uma entidade (ou domínio) alvo. Posterior ou simultaneamente, os alunos são estimulados a ter ou recordar experiências com alvo, as quais podem advir de observações diretas ou indiretas da entidade ou, ainda, de informações disponíveis na literatura ou em sua estrutura cognitiva. Paralelamente, os alunos devem selecionar um domínio análogo (ou fonte) com o qual seja possível estabelecer uma analogia para elaboração de um modelo mental inicial. Essa etapa da modelagem, pode possibilitar

---

<sup>27</sup> Este é o sentido atribuído por Roth (1995) à expressão “práticas autênticas” comentado no Capítulo 2 deste trabalho.

ao aluno a vivência do subprocesso de *acesso* do domínio análogo dentro da etapa de *geração* da modelagem analógica.

Após a produção do modelo mental, os alunos devem ser solicitados a expressá-lo (etapa 2) em quaisquer dos modos de representação: 3D; 2D; virtual; verbal; gestual; matemática, ou qualquer combinação destes. A solicitação explícita pelo professor para que os alunos expressem seus modelos – ou quando os alunos o fazem espontaneamente – pode favorecer a vivência do subprocesso de *mapeamento*, além da possibilidade de estabelecimento de inferências com relação ao alvo. Isso também é parte da etapa de *geração* da modelagem analógica.

Após a expressão do modelo, este deve ser testado (etapa 3) através de experimentos mentais e, quando possível, empíricos. Nesta etapa, após avaliar possíveis incoerências nos modelos dos alunos, o professor é responsável por fazer questões geradoras<sup>28</sup> e por apresentar eventos discrepantes<sup>29</sup> de forma estimulá-los a (re)elaborar suas explicações. Isso pode levá-los à reformulação ou até ao abandono do modelo e recomeço do processo. Esta etapa da modelagem pode permitir que os alunos vivenciem o subprocesso de *avaliação* a partir da crítica das correspondências no mapeamento e das inferências estabelecidas, assim como da determinação das limitações da analogia na etapa de *análise* da modelagem analógica.

Quando o modelo expresso passa a ser bem sucedido nos testes, o professor propõe situações que permitam aos alunos contrapor seus modelos com os objetivos iniciais para os quais estes foram confeccionados e/ou a usá-los em outras situações. O intuito disso é a identificação das limitações e abrangência do modelo pelos alunos. Esta etapa da modelagem pode permitir que eles vivenciem o subprocesso de *generalização* de inferências, o qual compõe a etapa de *síntese de novo conhecimento* da modelagem analógica.

Considerando que as atividades de ensino fundamentadas na modelagem, por sua natureza, são atividades concebidas para que os alunos trabalhem em grupo, os modelos produzidos nesses grupos devem ser socializados com a turma em diferentes momentos. As ideias expressas por alunos de um grupo podem levar outros alunos a refletir sobre as ideias que fundamentam seus modelos, contribuindo para a

---

<sup>28</sup> Segundo Vosniadou (2002), uma questão geradora é aquela não pode ser respondida com base em informação armazenada, mas requer a solução genuína para um novo problema.

<sup>29</sup> Experimentos empíricos, resumos de dados ou demonstrações (e acrescentaríamos aqui a própria solicitação de esclarecimento das ideias expressas) que, de acordo com Clement (2008c), fornecem dados que podem levar os alunos a perceber incoerências em seus modelos atuais.

reformulação (ou abandono) dos mesmos. Essa característica das atividades de modelagem está relacionada ao caráter social da prática científica, contexto no qual modelos são construídos e discutidos entre os pares na comunidade científica. Portanto, a comunicação do conhecimento elaborado via analogias pode ser favorecida nessas atividades.

O quadro 4.1 a seguir sintetiza essas correlações.

<b>Modelagem científica (Geral)</b>	<b>Modelagem analógica (Específica)</b>
Etapa 1: Produção	Etapa de Geração (subprocesso de acesso)
Etapa 2: Expressão	Etapa de Geração (subprocesso de mapeamento)
Etapa 3: Teste	Etapa de Análise (subprocesso de avaliação)
Etapa 4: Avaliação	Etapa de Síntese de Novo Conhecimento (subprocesso de generalização)

Quadro 4.1. Correlações entre as etapas que governam a modelagem científica (geral) e a modelagem analógica (específica).

O estabelecimento dessas correlações não significa, no entanto, dizer que em uma certa etapa da modelagem os alunos estejam sujeitos a vivenciar, exclusivamente, o subprocesso do raciocínio analógico associado, e, sim, que sua vivência pode ser grandemente favorecida por aquela etapa da modelagem.

#### 4.3.3. A modelagem na construção do conhecimento de Ciências

A modelagem é considerada uma atividade fundamental à cognição humana (Johnson-Laird, 1983; Jonassen, 2008; Nersessian, 2008b; Vosniadou, 2002) porque é parte de nossas capacidades básicas. De acordo com Nersessian (2008b), nosso aparato cognitivo funcionando normalmente se envolve em processos de modelagem mental, elaboração de analogias, abstrações, visualizações e simulações imaginativas ordinariamente. Essa também é uma das razões apontadas por Jonassen (2008) para justificar que modelagem apoia aprendizagem significativa de Ciências. Outras são:

- Modelagem é uma atividade essencialmente construtivista, na qual são elaboradas representações pessoais para os fenômenos experimentados;
- Modelagem apoia o teste de hipóteses, inferências e outras habilidades cognitivas;

- Modelagem requer dos alunos raciocínio causal, o qual também fundamenta as explicações científicas;
- Modelagem está entre os processos cognitivos mais engajadores, o qual pode levar os alunos à reestruturação de seus conhecimentos;
- Modelagem resulta na construção de artefatos cognitivos (modelos expressos);
- Modelagem pode permitir que os alunos se sintam atores no processo de construção do conhecimento e “proprietários” desse conhecimento. Isso facilita a atribuição de significados por eles;
- Modelagem pode contribuir para aprendizagem sobre epistemologia da ciência. Por exemplo, a comparação e avaliação de múltiplos modelos pode possibilitar a compreensão pelo aluno de que a modelagem pode ser usada para testar modelos rivais e de que podem existir modelos múltiplos para representar uma mesma entidade, os quais se diferem nos aspectos considerados.

No que se refere especificamente às atividades de modelagem fundamentadas no Diagrama Modelo de Modelagem, ao criar, expressar e avaliar seus modelos, os alunos podem também se tornar capazes de conhecer os principais modelos de cientistas; desenvolver uma visão adequada sobre a natureza analógica desses modelos; e apreciar o papel dos modelos na credibilidade e disseminação dos produtos da investigação científica, reconhecendo sua validade, seu poder de previsão e suas limitações (Justi & Gilbert, 2002). Além disso, como as entidades representadas são, em geral, muito mais complexas do que suas representações e como não existe um “encaixe” perfeito entre estes, modelagem envolve certas simplificações e aproximações que independem dos dados ou de aspectos teóricos (Morrison & Morgan, 1999). Isso requer que certas escolhas sejam efetuadas – como por exemplo o modo de expressão de um modelo – e, nestas escolhas, aprendizagem pode ocorrer (Jonassen, 2008).

Como modelos mentais<sup>30</sup> elaborados pelos alunos mediam entre suas teorias pessoais e a entidade modelada, a etapa de expressão desses modelos nas atividades mencionadas possibilita a externalização de parte das ideias que fundamentam as

---

<sup>30</sup> Como mencionado, os modelos mentais neste trabalho são considerados representações cognitivas privadas e pessoais que assumem, nas tarefas de modelagem, o sentido atribuído por Nersessian (1999) de “*estruturas temporárias* construídas na memória funcional para uma tarefa de raciocínio específico” (p.11, grifo nosso).

teorias dos alunos (o que inclui aspectos perceptivos<sup>31</sup>) e, portanto, a avaliação de seu entendimento conceitual pelo professor. A expressão do modelo é facilitada pelas múltiplas ferramentas a que se pode recorrer (por exemplo, diferentes materiais, recursos computacionais, gestuais etc.).

Essa etapa de expressão pode ter um papel relevante na reestruturação conceitual. Isso porque alterações podem ocorrer no modelo mental que, por sua vez, podem levar a novas alterações no modelo expresso, uma vez que acredita-se existir um relacionamento recíproco e dinâmico entre as representações internas (modelos mentais) e externas (modelos expressos) (Jonassen, 2008; Nersessian, 2008b). Tais aspectos evidenciam a importância da etapa de expressão do modelo mental, aspecto não enfatizado em propostas distintas do diagrama Modelo de Modelagem.

A etapa de testes dos modelos também pode ser importante para que os alunos reestruturem seus modelos mentais. A identificação de inconformidades conceituais ou inconsistências em suas próprias estruturas conceituais que ocorre principalmente, mas não exclusivamente, durante essa etapa, aumenta as chances de que os alunos as revisem e as reestruturem, de acordo com Jonassen (2008).

Na etapa de avaliação, a determinação da limitação e abrangência dos modelos pode contribuir para que os alunos sejam capazes de distinguir entre este e a entidade que ele representa, evitando assim a hipótese de identidade.

De acordo com Nersessian (1999), existem evidências de que o treinamento de novos cientistas se dá através da aprendizagem e manipulação dos modelos aceitos por uma comunidade científica. Para que isso seja possível em atividades de ensino de Ciências fundamentadas em modelagem, dada a complexidade das entidades ontológicas da ciência comentadas no Capítulo 2, a orientação pelo professor (ou um tutor) é primordial. Isto também inclui a orientação epistemológica (Harrison & Treagust, 2000), isto é, discussões sobre a natureza do conhecimento científico e sobre como ele avança. Em outras palavras, para que alunos sejam capazes de desenvolver uma visão epistemológica e modelos mais sofisticados através de atividades de modelagem da natureza proposta neste trabalho, duas condições se estabelecem: participação e orientação.

---

<sup>31</sup> De acordo com Nersessian (2008b), em consonância com as ideias de Barsalou (2008), todas as representações mentais são dotadas de conteúdo perceptivo. Estes também permeiam os modelos expressos, uma vez que as representações internas e externas formam um “sistema acoplado”, segundo a primeira autora.

Como comentado no Capítulo 2, outro aspecto importante e mais geral dessas atividades é que elas conjugam processos individuais e sociais na construção do conhecimento de Ciências. Ao serem confrontados com a entidade alvo, os alunos elaboram modelos mentais a partir de seu conhecimento atual que lhes permitem propor explicações. Face a dissonâncias e, na medida em que se engajam em discussões e negociações com seus pares e com o professor – as quais permeiam todo o processo – o conhecimento dos alunos passa por estruturações e reorganizações progressivas. Isso também possibilita que o sentimento dos alunos de pertencimento a uma comunidade de investigação aumente. Características como essas, fazem das atividades de modelagem práticas autênticas de ensino e aprendizagem de ciências.

## **CAPÍTULO 5. A TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS E SUAS RELAÇÕES COM A MODELAGEM**

### **5.1. Fundamentos da TCC**

A Teoria de Campos Conceituais (TCC) é uma teoria que trata da cognição elaborada pelo psicólogo Gérard Vergnaud, que a desenvolveu a partir de consideráveis relações com as teorias de Piaget e de Vygotsky, mas independe delas sob vários aspectos.

No campo da psicogênese, Piaget (1975) enfatizou o desenvolvimento geral das operações de estruturas lógicas, isto é, sua teoria de estágios se fundamentou em critérios lógicos ou de ordem lógica. Vygotsky (2009), a partir de uma abordagem histórico-cultural, destacou o papel do adulto na transmissão da cultura e sua atuação na zona de desenvolvimento proximal (ZDP). Segundo Vergnaud (1981, 2004, 2010), essas são ideias muito importantes, mas que, por si só, não atendem completamente àqueles que almejam trabalhar no contexto escolar e que levam em consideração as atividades desenvolvidas pelas crianças e os problemas de compreensão e dificuldades, eventualmente enormes, que são encontrados em situações de ensino.

Embora Piaget e Vygotsky abordem o processo de conceitualização em suas teorias, Vergnaud acredita que eles o fazem sem o aprofundamento de que o mesmo carece. Por exemplo, para Vergnaud (1981), uma das direções teóricas que foram insuficientemente desenvolvidas por Piaget diz respeito àquela dos conteúdos dos conhecimentos específicos. Em relação ao trabalho de Vygotsky, Vergnaud (2004) defende que uma das causas de sua concepção restrita da conceitualização está no fato de considerar que o conceito é a significação da palavra e de desconsiderar o importante papel da ação nessa significação.

Procurando dar a devida atenção aos aspectos acima mencionados, entre outros, e tendo como foco o contexto de ensino e aprendizagem escolar, a TCC é uma teoria que pretende se constituir em um referencial mais profícuo, com princípios de base para o estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de competências<sup>32</sup> complexas, especialmente aquelas das ciências e das técnicas.

---

<sup>32</sup> O termo competência, para Vergnaud, assume diferentes significados que exigem a análise da atividade do sujeito e não apenas seu resultado. Dois desses significados são: A é mais competente do que B se ele é menos desprovido de recursos do que B face a uma situação nova; A é mais competente do que B se ele dispõe de

A TCC vai além de uma teoria didática, na medida em que busca fornecer um quadro que permite compreender as filiações e as rupturas de conhecimentos (o saber fazer e o saber dizer) que ocorrem tanto na aprendizagem das crianças e adolescentes quanto dos adultos. A diferença na aprendizagem dos adultos em relação aos demais reside, principalmente, no fato de que neles atuam condicionantes que são mais da ordem de hábitos e do viés de pensamento já adquirido do que da ordem do desenvolvimento do aparelho psíquico. Em todos eles, porém, a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo atuam conjuntamente (Vergnaud, 1990b).

Nesta teoria, a análise de conteúdo de conhecimento<sup>33</sup> é considerada um elemento essencial para compreender as concepções e as competências dos indivíduos e para descrever como evoluem. Isso porque o processo de conceitualização não é concebido como o mesmo nos diferentes domínios do conhecimento. Os conteúdos próprios de cada um deles e as peculiaridades da análise conceitual daí derivadas são levados em consideração – algo que, como comentado, Piaget não se propôs a fazer.

Para Vergnaud (1987), seria também ilusório considerar o desenvolvimento de um único conceito ou de uma única competência. Isso o levou a desenvolver a noção de campo conceitual. Um *campo conceitual* é definido como um conjunto organizado de *situações* e *conceitos* em estreita conexão e no qual o sujeito desenvolve suas atividades; isto é, os conceitos se encontram atrelados às situações e não podem ser aprendidos (nem ensinados) isolados destas, nem mesmo sob a forma de sistemas. Seu desenvolvimento ocorre a longo prazo e seu tratamento requer procedimentos e representações diferentes, porém conectados uns aos outros (Vergnaud, 1987, 1990a, 2006).

Por outro lado, o termo situação não assume o sentido restrito de situação didática, mas o de *tarefa*, ou seja, aquilo que é solicitado ou proposto ao sujeito. Toda situação complexa é entendida como uma combinação de tarefas, a respeito das quais se torna fundamental o conhecimento da natureza e das dificuldades próprias (Vergnaud, 1990b).

Para lidar com as diferentes situações, problemas e conceitos desses campos conceituais, os sujeitos desenvolvem *esquemas*, definidos por Vergnaud como *formas invariantes de organização da atividade para uma classe de situações* (Vergnaud, 1990a,

---

recursos alternativos que o permitem adaptar-se mais facilmente aos diferentes cenários que possam surgir (Vergnaud, 1996, 2010).

<sup>33</sup> Apesar de Vergnaud se voltar, principalmente, para a análise de conteúdos do domínio da Matemática (Vergnaud, 2009), sua teoria não se restringe a esse domínio do conhecimento.

1990b, 2006). Um exemplo fornecido pelo autor (Vergnaud, 2006) é o do esquema de enumeração, descrito a seguir. Crianças de 4 a 5 anos, quando solicitadas a determinar o número de elementos pertencentes a um conjunto que contém quatro elementos, em geral, organizam as atividades reconhecidas por elas como pertencentes a essa classe da seguinte maneira: apontam para cada um dos elementos e, simultaneamente, movimentam a cabeça enquanto olham para eles. Ao final, enunciam o número correspondente. Nessa enunciação, a entonação da voz é alterada na pronúncia do último elemento (Um, dois, três... QUATRO!), ou ele é repetido (Um, dois, três, quatro... quatro.). Essa é a maneira *invariante* com que crianças, nessa faixa etária, organizam as atividades pertencentes à classe de enumeração.

O conceito de esquema é chave na TCC pois, segundo Vergnaud (1990b, 2010), partindo do processo de adaptação tal como foi concebido por Piaget e do qual o conhecimento deriva, aquilo que se adapta, de acordo com a situação, são as formas com que o sujeito organiza a sua atividade. Em outras palavras, *são os esquemas que se adaptam às situações*.

O caráter adaptativo de um esquema pode ser ilustrado através da solicitação a uma criança na faixa etária do exemplo anterior (4 a 5 anos) para que determine o número total de pessoas que se encontram em dois cômodos de uma casa. Uma das maneiras pelas quais ela pode organizar sua ação é contar os elementos presentes em um dos cômodos e dar sequência à contagem no outro cômodo a partir do elemento subsequente ao último enunciado no primeiro cômodo. Essa contagem ocorre até que o cardinal correspondente ao último elemento do segundo cômodo seja enunciado em resposta à solicitação. Isso pode ser indicativo de uma adaptação inicial daquele esquema de enumeração para a operação com números.

Com relação às situações, existem duas classes distintas: aquelas para as quais o sujeito dispõe de competências em seu repertório para um tratamento relativamente imediato da situação, considerando-se um determinado momento de seu desenvolvimento cognitivo e as circunstâncias em que se apresentam; e aquelas para as quais ele não dispõe das competências necessárias e, por isso, reflete, hesita, abandona certas tentativas, num processo que pode conduzi-lo tanto ao sucesso quanto ao fracasso (Vergnaud, 1990b). Além disso, as classes de situações a que os esquemas se referem podem ser estreitas ou largas. É comum, ao longo do desenvolvimento cognitivo do sujeito, um esquema assumir, inicialmente, um alcance local, para, posteriormente, expandir-se, na medida em que é exposto a diferentes

situações. Neste processo de desenvolvimento, esquemas são decompostos, compostos e organizados hierarquicamente, de forma que alguns esquemas elementares podem ser integrados em sistemas de nível mais alto que permitam a realização de atividades mais complexas. Assim, desenvolvimento cognitivo consiste na formação, extensão e diferenciação de esquemas (Vergnaud, 1996, 2006).

Através da análise da relação esquema/situação, uma importante constatação é a de que os esquemas não funcionam igualmente nas duas classes de situações mencionadas anteriormente. No primeiro tipo, as condutas do sujeito são mais automatizadas e, geralmente, entra em ação um esquema único de organização. Por outro lado, no segundo tipo, é comum o sujeito lançar mão de vários esquemas anteriormente formados que podem entrar em competição (oportunismo) e que, na tentativa de se chegar à solução do problema, são acomodados, descombinados e recombinados num processo que pode ser acompanhado de descobertas ou invenção de novos esquemas (Vergnaud, 1990b, 1996).

Outra característica que os esquemas apresentam nesse segundo tipo de situação é o de serem, além de oportunistas, sistemáticos (característica que também é apresentada pelos esquemas mobilizados nas situações familiares). Isso significa que, depois de ter interpretado a situação, o sujeito tende a manter essa interpretação para todos os dados da mesma natureza e usa as mesmas regras de ação (Vergnaud, 2006).

Apesar da distinção quanto ao funcionamento dos esquemas nas duas classes de situações, estes sempre permitem a adaptação da atividade do sujeito aos valores assumidos pelas variáveis da situação em que este se encontra, pois nenhuma situação é exatamente igual a outra. Portanto, o aspecto invariante dos esquemas se refere à organização e não à própria atividade do sujeito. Além disso, na medida em que essa organização se relaciona a uma classe de situações, o esquema é um universal a cada classe de situações (Vergnaud, 1996, 2006).

Um esquema permite sua formalização por meio de regras de ação e conceitos (invariantes operatórios). Esses e outros de seus componentes são dependentes do conjunto e essenciais para a compreensão de um esquema como uma *totalidade funcional e dinâmica*, uma vez que se desenvolve com o tempo (Vergnaud, 1996). Eles são apresentados a seguir. Certa ênfase é dada à descrição dos invariantes operatórios, devido ao papel que desempenham na própria TCC e no desenvolvimento de nossa pesquisa.

### 5.1.1. *Os componentes dos esquemas*

#### Objetivos e antecipações

O objetivo, a intenção, o desejo, a motivação e a expectativa integram o esquema, bem como as antecipações (ou previsões) do efeito a ser obtido. Eles resultam de inferências e precedem e acompanham a ação do sujeito em sua organização sequencial e simultânea da atividade, sendo objeto de um controle quase permanente por parte desse sujeito. São os objetivos que dão aos esquemas sua funcionalidade, mesmo que esta possa não ser tão evidente a partir de uma primeira análise (Vergnaud, 1996, 2006).

#### Regras de ação, de coleta de informação e de controle

As regras são geradoras da atividade como um todo (e, portanto, regras de conduta), tanto no que diz respeito à coleta de informações na situação, quanto ao controle dos efeitos da ação e mesmo às ações materiais do sujeito. Como os objetivos e antecipações, elas também resultam de inferências e são responsáveis por comportamentos observáveis e não observáveis, como a retirada de informações da memória (Vergnaud, 1996, 2006).

#### Invariantes operatórios: conceitos-em-ação e teorema-em-ação

Os invariantes operatórios são “objetos estáveis de pensamento sob a ação do sujeito” (Vergnaud, 1981, p. 8). É exatamente por permitirem ao sujeito atuar nas situações que esses objetos estáveis (“invariantes”) carregam o adjetivo “operatórios”. Através deles, identificamos e reconhecemos os objetos do mundo (ou seja, objetos do conhecimento), suas propriedades, relações e transformações. Eles constituem, portanto, a parte mais epistêmica dos esquemas, o que ressalta o importante papel dos invariantes nos processos de conceitualização e inferência (Vergnaud, 1990b, 1996, 2006).

Esse conhecimento, presente em nossas ações é implícito. As informações pertinentes e úteis que coletamos, assim como as inferências que fazemos de suas consequências para a ação, o controle e a coleta de informações subsequentes, são realizadas com a ajuda de invariantes operatórios (categorias, relacionamentos e entidades), mesmo quando não somos capazes de expressá-los.

No intuito de esclarecer a relação entre os invariantes e as demais formas de conhecimento, Vergnaud (comunicação pessoal, 10 de dezembro, 2009) propõe o esquema apresentado na figura 5.1.

NILMARA BRAGA MOZZER

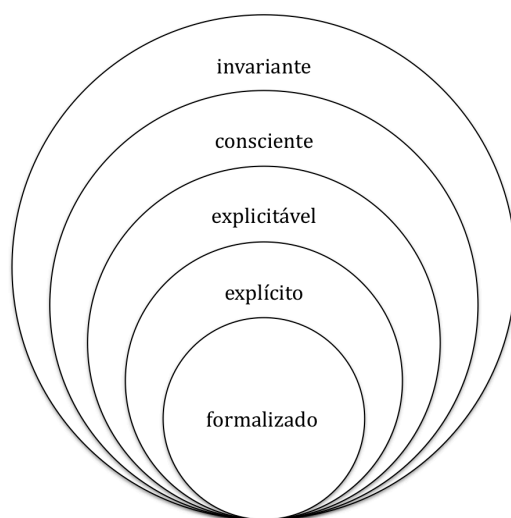


Figura 5.1. Relação entre os invariantes operatórios e as demais formas de conhecimento (Vergnaud, comunicação pessoal, 10 de dezembro, 2009).

Pensando nos invariantes de uma forma geral (não somente nos operatórios), ou seja, como objetos estáveis de pensamento, estes podem ser implícitos ou explícitos, mas também conscientes ou inconscientes. Por outro lado, um conhecimento formalizado, apesar de ser sempre explícito e o mais bem definido possível (Vergnaud, 2006; 1990a), pode, às vezes, não ser operatório. Por exemplo, um aluno pode saber enunciar o princípio de Le Chatelier<sup>34</sup> (e neste sentido, ele é explícito), sem, no entanto, conseguir operar com ele quando enfrenta uma situação envolvendo deslocamento de equilíbrio, como a de explicar porque a cor da asa do “galinho do tempo”<sup>35</sup> muda em dias úmidos ou secos.

Como parte dos invariantes, existe o conhecimento consciente. A consciência nos proporciona inúmeros aportes e dela fazem parte a percepção e a imaginação. Mas não podemos confundir consciência com explicitação. Como afirmado anteriormente, muitas vezes, não podemos expressar em palavras (forma predicativa do conhecimento e, portanto, explícita) aquilo que podemos colocar em prática, aquilo que sabemos fazer (forma operatória do conhecimento). É na parcela implícita que se encontram os invariantes operatórios. Existem também aqueles conhecimentos que se

<sup>34</sup> Este princípio pode ser enunciado de maneira simplificada como: “Quando uma perturbação exterior é aplicada a um sistema em equilíbrio, ele tende a se ajustar para reduzir ao mínimo o efeito da perturbação” (Atkins & Jones, 2012, p. 405).

<sup>35</sup> Miniatura de um galo em material plástico, cuja asa é revestida por um sal de cobalto (II), de coloração azul. Em dias úmidos, a água interage com aquela substância, descolando o equilíbrio e produzindo uma quantidade significativa de sal dihidratado de cobalto, de coloração rosa. O equilíbrio é deslocado em sentido contrário (o da produção do sal de cobalto azul) em dias em que a umidade do ar está baixa.

encontram na zona de confrontação entre os conscientes e os explícitos, ou seja, os explicitáveis. Tais conhecimentos podem vir a se tornar explícitos a partir de técnicas que permitam às pessoas dizer mais do que elas diriam espontaneamente.

Para se ter uma dimensão de quão importante é a parcela implícita do nosso conhecimento, Vergnaud (1990b) faz a seguinte comparação:

“conceitos e teoremas explícitos formam somente a ponta do iceberg da conceitualização. Sem a parte escondida, formada pelos invariantes operatórios, esta parte visível não seria nada.” (Vergnaud, 1990b, p. 145)

Os conhecimentos operatórios consistem em pensar e agir de acordo com certas condições e é devido a eles que os esquemas estão longe de serem estereótipos, uma vez que o sujeito organiza sua atividade de acordo com as características específicas de cada situação (Vergnaud, 1996).

Apesar de, em sua maior parte, os invariantes operatórios não serem conhecimentos formalizados, eles atuam como se fossem, pois, como mencionado, através deles extraímos informações e inferimos consequências para a realização de nossas ações da maneira mais pertinente possível.

Através da análise das ações do sujeito em situação, os invariantes operatórios se revelam sob a forma de conceitos e teoremas, ou seja, conhecimentos contidos nos esquemas mobilizados. Eles são denominados *conceitos-em-ação* e *teoremas-em-ação* para diferenciá-los dos conceitos e teoremas formalizados e presentes nas ciências (Vergnaud, 1990a, 1990b, 2006). Tal diferenciação é importante para evitar as constantes confusões entre estes e aqueles e, principalmente, porque ela reforça o papel epistemológico que tais conhecimentos assumem na TCC.

Os conceitos-em-ação são invariantes do tipo objeto (materiais ou não) e predicado (propriedades e relações). Podemos pensá-los como funções proposicionais, ou seja, como sentenças abertas a partir das quais podem ser geradas proposições pela consideração das variáveis presentes nas situações. Essas proposições são os teoremas-em-ação, susceptíveis de serem verdadeiras ou falsas (Vergnaud, 1990b). Para ilustrar esse constructo teórico, pensemos no conceito-em-ação “cor”. Podemos considerar o conjunto de cores  $P(x)$  como descrito pelo quociente do conjunto de objetos pela relação de equivalência “da mesma cor”. Neste exemplo, é necessário considerar que o conceito de cor deriva da construção de um descritor, ao qual podemos atribuir valores específicos, como azul. Uma proposição do tipo ‘o objeto  $y$  é

azul', pode daí ser derivada, constituindo-se em um teorema-em ação que pode ser verdadeiro ou falso, de acordo com a situação (Vergnaud, 1990b)<sup>36</sup>.

Ao contrário dos teoremas-em-ação, conceitos-em-ação não são susceptíveis de serem verdadeiros ou falsos, mas pertinentes ou não. Devido a isso, os conceitos-em-ação não se prestam sozinhos às inferências de pensamento por parte do sujeito, pois estas variam entre aquilo que consideramos verdadeiro e o que é razoável de se considerar como verdadeiro. Portanto, inferências são grandemente dependentes dos teoremas-em-ação. Estes, sob a forma de proposições verdadeiras ou falsas, são parte do sistema de conhecimentos evocados ou evocáveis pelo sujeito em situação, com os quais ele se compromete ao longo de sua ação e de seu raciocínio, ainda que implicitamente (Vergnaud, 2006).

A relação entre conceitos-em-ação e teoremas-em-ação pode ser assim expressa nos termos de Vergnaud (2006):

“A relação entre teoremas e conceitos é naturalmente dialética no sentido de que não há teorema sem conceito e não há conceito sem teorema. Metaforicamente, podemos dizer que os conceitos-em-ação são os tijolos com os quais os teoremas-em-ação são fabricados, e que a única razão da existência dos conceitos-em-ação é justamente permitir a formação de teoremas-em-ação (proposições consideradas verdadeiras), a partir dos quais se torna possível a organização da atividade e as inferências. Reciprocamente, os teoremas são constitutivos dos conceitos porque, sem proposições consideradas verdadeiras, os conceitos seriam vazios de conteúdo. No entanto, é importante reconhecer que um conceito-em-ação é sempre composto de vários teoremas-em-ação, cuja formação pode distribuir-se sobre um longo período de tempo no curso da experiência e do desenvolvimento.” (Vergnaud, 2006, p. 12)

### Inferências

As inferências constituem um componente indispensável para a implementação do esquema em cada situação particular, uma vez que a grande maioria das atividades executadas por um sujeito não é automática. Ao contrário, elas se efetuam reguladas por adaptações locais, controles, ajustes progressivos e, muitas vezes, com várias coletas de informações; tudo isso regulado pelas variáveis de situação e pelos invariantes operatórios de que dispõe o sujeito (Vergnaud, 1990b, 2006).

---

<sup>36</sup> Esse exemplo ilustra invariantes qualitativos, foco de nosso interesse neste trabalho. De acordo com Vergnaud (1977), invariantes deste tipo propiciam a associação de objetos a categorias do conhecimento referentes às suas propriedades e/ou relações e não a valores numéricos ou medidas (invariantes quantitativos).

Embora para aqueles que executem a ação, as inferências e regras sejam, na maioria das vezes, implícitas, sob um ponto de vista teórico, os esquemas poderiam ser representados por regras condicionais de ação do tipo:

“Se tal variável de situação tem um dado valor, e se uma outra variável de situação tem outro valor, então a ação X, a coleta de informação Y ou o controle Z devem ser efetuados.” (Vergnaud, 2006, p. 12)

As inferências, a partir das quais se determinam (ou se “calculam”) as regras de ação, a coleta de informação e o controle na situação, são os correspondentes pragmáticos dos teoremas-em-ação no sistema de conhecimento. Ambos refletem o fato de que, de acordo com as variáveis de situação, os indivíduos adaptam seus esquemas (Vergnaud, 2006).

#### 5.1.2. *A representação e o processo de conceitualização*

Como afirmado no capítulo 4, ao sermos confrontados com a realidade construímos representações mentais (modelos) desse real. Da ação sobre o real, formamos em nosso pensamento representações de objetos que identificamos no mundo, de suas propriedades e de suas relações (estabelecidas entre si e/ou com a ação), quer sejam diretamente acessíveis ou não à nossa percepção. A este processo chamamos conceitualização. A conceitualização, portanto, não ocorre com a formação de um único conceito, mas de um conjunto deles, nem sempre organizados no início. Esses conceitos podem sofrer transformações ao longo da experiência do sujeito (no enfrentamento de situações múltiplas), à medida em que são explicitados, discutidos e organizados em um sistema coerente de conceitos, princípios e enunciados (Vergnaud, 1996).

As representações elaboradas do real são funcionais porque refletem suas propriedades, permitindo operar sobre os significados e significantes correspondentes a tais propriedades, bem como determinar as regras que geram a atividade do sujeito. Neste sentido, essas representações são homomórficas<sup>37</sup> ao real. Mas isso não significa que as representações do real sejam exaustivas, ou seja, que reflitam todos os objetos e todas as suas propriedades e relações, mas sim aquelas relevantes para a ação (Vergnaud, 1987, 1993, 1994).

---

<sup>37</sup> “Em um homomorfismo, os elementos do conjunto de chegada correspondem a classes de elementos do conjunto de partida” (Vergnaud, 1993).

Portanto, de acordo com a TCC, agimos sobre o real a partir das representações que dele elaboramos e, reciprocamente, essa ação nos conduz à elaboração de representações conceituais ou pré-conceituais. Sob esse ponto de vista, o real não deve ser considerado somente um conjunto de objetos do conhecimento, mas inclui também as situações nas quais eles se encontram inseridos. É nessas situações que, como discutido, os sujeitos mobilizam seus esquemas para a representação do real.

Os invariantes operatórios, como conhecimentos-em-ação constituintes dos esquemas, se parecem com os significados (e não são idênticos a eles), os quais também constituem a representação do real, mas sob o ponto de vista de um conhecimento explícito (conceitos e proposições). Além deles, a representação envolve uma variedade de significantes (formas de linguagem e não linguagem: simbolismo), os quais não se referem diretamente ao real, mas aos significados. Essas inter-relações foram esquematicamente representadas na figura 5.2.

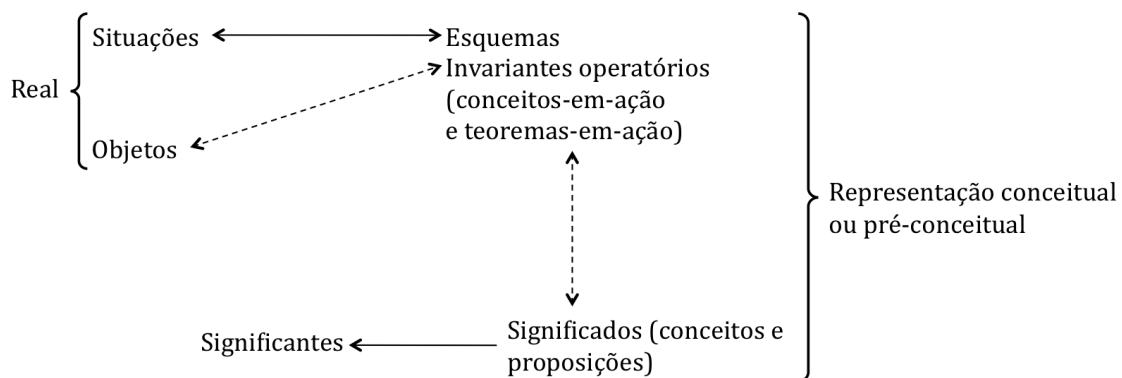


Figura 5.2. Esquema da análise da representação a partir da TCC adaptado do trabalho de Vergnaud (1993, 1994).

Os significantes funcionam como apoios materiais à comunicação e ao pensamento. Por exemplo, é comum que os sujeitos, quando solicitados a executar uma tarefa nova, falem em voz alta. Isso é um indicativo de que essa atividade de linguagem aparece quando existe a necessidade de se planejar e controlar as ações, o que geralmente ocorre quando não existe um completo domínio das mesmas (Vergnaud, 1990b). É como se a atividade de linguagem favorecesse ao sujeito descobrir relações pertinentes, a organização temporal da ação e seu controle.

De acordo com Vergnaud, as representações simbólicas também constituem uma parte muito importante dos significantes. Quando disponibilizadas ao sujeito em

situação, elas podem ajudar na resolução de problemas e, de maneira mais ampla, na conceitualização. O fato de serem dotadas de um laconismo (não presente na linguagem natural e indispensável à seleção e tratamento de informações) permite que essas representações, usadas pelo sujeito como ferramentas de pensamento, sejam transformadas em objetos de pensamento por ele. Nesse processo de transformação, a operação linguística de nominalização é essencial (Vergnaud, 1990b).

Além do reconhecimento da importância dos significantes na conceitualização e, portanto, da mediação pelo sinal, Vergnaud (2004) reconhece também o importante papel da mediação pelo outro sujeito, mais experiente, neste processo. Apesar disso, a abordagem dessa última mediação na TCC só se faz quando seu autor se refere ao sujeito em ação face a situações didáticas, tendo como único mediador o professor.

Em situações didáticas, Vergnaud (2004) considera alguns papéis como principais de serem assumidos pelo professor quando da mediação para a conceitualização, entre eles:

- a seleção da situação a ser proposta ao aluno;
- o esclarecimento dos objetivos gerais e específicos da situação ou de etapas da atividade;
- a tomada para si da carga de uma parte das atividades que o aluno teria dificuldade de realizar sozinho;
- a ajuda na seleção de informações pertinentes e, quando necessário, na explicitação dos conhecimentos prévios dos estudantes;
- a ajuda no estabelecimento das inferências.

Embora neste trabalho analisemos situações que podem ser consideradas, sob vários aspectos, situações didáticas, e reconheçamos a validade de todos esses papéis atribuídos por Vergnaud ao professor na mediação, vale ressaltar que acreditamos que a mediação pelos pares nesse tipo de situação também é de suma importância na conceitualização. Ambas as mediações estão na base das atividades de ensino de ciências fundamentado em modelagem como as que propomos aqui. Além disso, consideramos que a importância da mediação pelo outro não se restringe às situações didáticas. Ela pode desempenhar um papel significativo na conceitualização que ocorre em todos os outros tipos de situações enfrentadas pelo sujeito ao longo de seu desenvolvimento cognitivo, ainda que em todas elas as construções dependam também da ação deste sobre os objetos do conhecimento.

## 5.2. A conjugação dos referenciais TCC e Ensino Fundamentado em Modelagem na abordagem do entendimento conceitual do processo de dissolução

Um dos pressupostos de base da TCC é o de que *conhecimento envolve a modelagem do real*<sup>38</sup>. Mas, como mencionado no capítulo 4, os modelos que elaboramos do real dependem dos fatos considerados e, reciprocamente, os fatos representados dependem do conhecimento que supomos e mobilizamos. Isso é o que caracteriza nossos modelos como representações parciais (Giere, 1988) e nosso conhecimento sobre o real como um construto flexível, passível de perturbações e equilíbrios sucessivos (Piaget, 1975). Outra consideração de base na TCC é a de que a aprendizagem de um conceito não se reduz à sua definição, mas que este assume seu sentido através das variadas situações e problemas que os sujeitos possam enfrentar.

Tais considerações também embasam as atividades de modelagem, uma vez que um ensino de ciências fundamentado na modelagem ocorre através do enfrentamento de situações múltiplas pelos alunos, nas quais eles são solicitados a elaborar, expressar e criticar os modelos que elaboram para explicar o domínio modelado. Nessas situações, o aluno pode vir a reformular os conhecimentos que fundamentaram seus modelos explicativos porque, como afirmado por Vergnaud (1996, p. 288), “a conceitualização também envolve problemas de explicação e de simbolização”.

No presente trabalho, utilizamos o termo “entendimento conceitual” para nos referir aos estados de elaboração do conceito de “dissolução” e de outros a ele associados. Esses estados são caracterizados pelos esquemas de representação mobilizados pelos alunos ao longo das situações de caráter didático propostas nas entrevistas.

Entendemos os *esquemas de representação* de um sujeito como sendo as suas diferentes ações de elaboração e refino de modelos (representações) integradas entre si de modos diversos para interpretar e explicar a entidade modelada (neste trabalho, o processo de dissolução). Eles são parte do processo de conceitualização que demanda um conjunto muito mais amplo de situações de referência às diferentes propriedades do conceito de dissolução do que o analisado em nossas entrevistas.

Como discutido na seção anterior, os invariantes operatórios constituem os conhecimentos implícitos nas ações dos sujeitos, através das quais eles pensam o

---

<sup>38</sup> Essa ideia também está na base do trabalho de Piaget (2010) – “A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação” – e de cientistas da cognição como Nersessian.

mundo, inferem as regras de ação, objetivos e antecipações e coletam informações. Em outras palavras, neles se encontra a base principal da conceitualização do real (Vergnaud, 1990b) e, por isso, sua explicitação, identificação e análise em diferentes situações é de suma importância para a compreensão do processo de transformação dos esquemas dos quais eles fazem parte.

Segundo Vergnaud (1990b), só podemos ter acesso aos invariantes que são integrados aos esquemas dos alunos através de categorias de conhecimento explícito aos “olhos” do observador (pesquisador/professor), ou seja, no caso da modelagem, através de seus modelos expressos. As etapas de “expressão”, “teste” e “avaliação” das atividades de ensino fundamentadas na modelagem podem, então, oportunizar o reconhecimento dos invariantes operatórios nos quais os alunos fundamentam a elaboração de seus modelos explicativos, porque tais etapas possibilitam a expressão desses conhecimentos para além da verbalização (Well-Barais & Vergnaud, 1990). Os alunos são constantemente solicitados a esclarecer o significado de suas representações, momentos em que eles comumente expressam suas concepções, direta (através da verbalização) ou indiretamente (por meio de gestos, comparações etc.), assim como as inferências que geram as regras de ação, de coleta de informação e de controle. Essa explicitação seria difícil de ocorrer em situações ainda comuns no ensino em que o professor dá voz ao aluno somente quando requer dele respostas às suas perguntas. Este, por sua vez, em geral fornece respostas curtas que expressam apenas superficialmente sua maneira de pensar.

Por possibilitar o confronto daquilo que lhes é familiar (análogo elaborado ou identificado pelo aluno) com aquilo que não lhes é familiar (fenômeno alvo a ser explicado), a elaboração e expressão de analogias pelo próprio aluno também pode auxiliar o reconhecimento dos conceitos-em-ação e dos teoremas-em-ação presentes nos esquemas de representação mobilizados pelos alunos no processo de modelagem. Além disso, segundo Vergnaud (1981) a metáfora parece ser muito importante “para se compreender como uma criança (ou um adulto) é levada a apreender uma situação nova ou um novo conceito com os instrumentos cognitivos insuficientes de que dispõe” (p. 10).

Em atividades de modelagem, os alunos são confrontados com tarefas (situações) das duas classes mencionadas por Vergnaud (1990b), ou seja, aquelas para as quais dispõem das competências necessárias para seu tratamento e aquelas para as quais não dispõem de tal repertório. Neste segundo caso, eles têm que lançar mão de

esquemas oportunistas e sistemáticos num processo mais imaginativo e criativo do que o primeiro. Em algumas situações de caráter didático, como as que investigamos, vários dos teoremas-em-ação mobilizados pelos alunos seriam considerados “falsos” sob o ponto de vista lógico ou do conhecimento curricular. No entanto, nessas situações muitos deles atuam como pontes entre aquilo que os alunos conhecem e os novos conhecimentos que ele constrói, ou nos termos de Well-Barais e Vergnaud (1990), como “precursores” destes.

Nosso objetivo com as atividades de modelagem não se restringe ao reconhecimento de invariantes operatórios já construídos pelos alunos (situações familiares). Almejamos também o favorecimento da identificação, por eles, de novas variáveis das situações vivenciadas que permitam a reformulação de seus modelos pela mobilização de conceitos e teoremas adequados àquelas situações (situações não familiares ou pouco familiares). Isso pode ser favorecido pelo caráter social da construção da ciência presente também nas atividades de modelagem e manifestado nas discussões sucessivas de negociação de significados entre os alunos e destes com o professor; e pelo enfrentamento de obstáculos epistemológicos semelhantes àqueles que são enfrentados pelos cientistas (Vergnaud, 1990a).

A orientação dos alunos neste processo é fundamental tanto no decorrer da identificação por eles dos esquemas de representação apropriados às situações quanto na construção ou adaptação de seus esquemas. No entanto, para que isso ocorra é necessário que o professor possua um sólido conhecimento sobre modelagem e sobre analogias (Mozzer, 2008). Esse conhecimento é necessário para que o professor possa conduzir seus alunos através das diversas etapas da modelagem, buscando minar suas defasagens, mas, ao mesmo tempo, propiciando oportunidades de certo desequilíbrio, por exemplo, através da alteração de variáveis da situação (eventos discrepantes, segundo Clement, 2008c) ou da formulação de questões geradoras (questões que não podem ser respondidas com base em informação pronta e armazenada, mas requerem uma solução genuína para o problema, segundo Vosniadou, 2002).

Para o sucesso das atividades de modelagem, os professores devem procurar atuar dentro da ZDP<sup>39</sup> dos alunos. Tal tarefa implica em identificar em que medida eles devem ser provocados (ou desestabilizados) e em qual tipo de tarefa eles necessitam

---

<sup>39</sup> Conceito elaborado e desenvolvido por Vygotsky, que representa o conhecimento potencial do sujeito, ou seja, aquilo que ele não é capaz de realizar sozinho, mas o é em colaboração com outra pessoa (Vygotsky, 2009).

de auxílio. Isso requer do professor a habilidade de auxiliar os alunos na evolução de seus modelos face às múltiplas dificuldades apresentadas por eles, uma vez que a ZDP é particular a cada um (Clement, 2008c; Vergnaud, 1998).

As atividades de modelagem são elaboradas para serem realizadas em situações de sala de aula com alunos trabalhando em grupo. Entretanto, devido à especificidade da ZDP de cada sujeito, torna-se necessário compreendermos melhor certos aspectos e detalhes da elaboração do conhecimento pelo sujeito sob orientação individual, os quais poderiam ficar inacessíveis se ele estivesse inserido em atividades de grupo<sup>40</sup>. Ao mesmo tempo, a compreensão de tais aspectos específicos pode subsidiar uma análise comparativa dos aspectos invariantes na elaboração dos conhecimentos pelos sujeitos nas atividades de modelagem.

Assim, com base nas possibilidades abertas por essas atividades para que os alunos vivenciem múltiplas situações, mobilizem os esquemas de representação que já possuem e adaptem e/ou criem novos esquemas nessas situações, acreditamos no potencial da conjugação dos dois referenciais para uma investigação mais profícua de aspectos específicos e invariantes do entendimento conceitual dos alunos.

---

<sup>40</sup> Estudos como os analisados no trabalho de Clement (2000) lembram que a cognição individual, embora não seja o único fator na aprendizagem, é uma característica determinante desta.

## CAPÍTULO 6. A PESQUISA

### 6.1. Objetivos e Questões de pesquisa

O objetivo geral deste trabalho é investigar a dinâmica conceitual no decorrer das atividades de modelagem do processo de dissolução vivenciadas por sujeitos em situação de entrevista e sob orientação da pesquisadora/entrevistadora. Isso significa entender e modelar o próprio raciocínio dos sujeitos. Nesse sentido, nossos objetivos específicos são: a identificação/inferência dos recursos de conhecimento (conceitos-em-ação, teoremas-em-ação, regras de ação, inferências e objetivos) mobilizados pelos sujeitos na elaboração de modelos explicativos para o processo de dissolução; a identificação, a partir desses recursos do conhecimento, dos esquemas de representação mobilizados; a análise da dinâmica desses esquemas; e a investigação do papel das analogias na dinâmica das elaborações.

Orientadas pelas ideias de que:

- o produto do raciocínio analógico é um modelo;
- as etapas gerais que governam a modelagem científica também governam a elaboração e refino de analogias e, por consequência, de modelos analógicos pelos cientistas;
- um ensino autêntico de Ciências deve levar em consideração as práticas dos cientistas;
- a geração de modelos pelos próprios alunos em contraposição à sua simples apresentação/utilização pode levar à atribuição de significados aos conceitos científicos por eles; e
- o processo de elaboração e refino de modelos pode nos permitir identificar os conhecimentos-em-ação e os esquemas de representação que o constituem e que são mobilizados pelos sujeitos nesse tipo de atividade, nos fornecendo instrumentos para uma análise mais rigorosa do entendimento conceitual na modelagem.

nos propusemos a investigar a seguinte questão de pesquisa:

*Como se dá, sob a perspectiva da TCC, o entendimento conceitual do processo de dissolução de sujeitos do último ano do ensino fundamental vivenciando atividades de modelagem?*

Dada a complexidade desta questão de pesquisa, para discuti-la será necessário decompô-la nas seguintes sub-questões:

- *Quais esquemas de representação os sujeitos mobilizam para explicar o processo de dissolução ao vivenciarem o processo de elaboração, expressão, crítica e reformulação de modelos fundamentado no diagrama Modelo de Modelagem?*
- *Como esses esquemas se modificam durante a modelagem?*
- *Qual o papel das comparações na dinâmica das elaborações dos sujeitos durante a modificação desses esquemas?*

## **6.2. Aspectos metodológicos**

### *6.2.1. Seleção da amostra e contexto de ensino*

A amostra foi constituída por seis participantes, alunos da última série (nona) do ensino fundamental (14 a 15 anos), pertencentes a uma mesma turma de uma escola particular em Belo Horizonte. Tal escola é de médio porte, atua nos níveis infantil, fundamental e médio e pertence a uma rede de ensino cujas escolas fazem uso de um mesmo material didático, constituído principalmente de apostilas elaboradas por professores da rede.

Na última série do ensino fundamental, os alunos dessa escola estudam a disciplina Química ao longo de todo o ano letivo. As aulas desta disciplina, em sua maioria, são teóricas e expositivas, com poucas oportunidades para que os alunos exponham suas ideias. Aulas experimentais são raras e, quando ocorrem são de caráter demonstrativo, realizadas na própria sala de aula e sem qualquer participação prática dos alunos. A escola, no entanto, conta com um laboratório equipado, mas este é utilizado para aulas expositivas ou para realização de trabalhos em grupo conduzidos por professores de outras disciplinas.

A escolha do nível de ensino dos participantes se justifica pelo fato de que, como comentado no Capítulo 3, é na última série do ensino fundamental que os alunos têm, pela primeira vez, um enfoque maior da disciplina Ciências voltado para a aprendizagem de Química. É também neste nível de ensino que eles iniciam seus estudos sobre as soluções, o que inclui o processo de dissolução<sup>41</sup>. Um outro critério

---

<sup>41</sup> É provável que em idades anteriores à faixa etária investigada, os sujeitos tenham tido diferentes experiências cotidianas e escolares com o processo de dissolução, mas também é de se supor que nessas experiências anteriores eles não (ou raramente) foram solicitados a explicá-lo considerando o nível submicroscópico de representação.

para a seleção da amostra foi a particularidade com que o conteúdo é ministrado naquela escola, ou seja, a excessiva preocupação com os aspectos meramente classificatórios ou aspectos quantitativos<sup>42</sup> relacionados ao processo, em detrimento de um enfoque qualitativo na compreensão do fenômeno no nível submicroscópico.

Na época em que a entrevista foi realizada (meados de novembro), os alunos já haviam estudado quase todo o conteúdo de Química previsto para aquele ano letivo. Isso incluía: algumas propriedades da matéria (inclusive solubilidade, mas com a ênfase descrita anteriormente); mudanças de estado físico; substâncias e misturas (aspectos classificatórios); separação de misturas; modelo cinético-molecular; modelos atômicos; transformações químicas e físicas (aspectos classificatórios); e ligações químicas. Naquele período, eles finalizavam seus estudos sobre as reações químicas.

O convite para a participação da pesquisa foi aberto a toda a turma da nona série que contava com quinze alunos no total. Destes, seis se dispuseram a participar voluntariamente e quatro deles tiveram suas entrevistas analisadas em todas as etapas da pesquisa. Foi realizada uma *amostragem intencional*, nos termos de Cohen, Manion e Morrison (2011), caracterizada pela seleção dos casos a serem incluídos na amostra final. O critério para realização da seleção foi a clareza e detalhamento na expressão das ideias pelos alunos. Isso se mostra coerente com a natureza de nossa investigação (isto é, com o fato de investigarmos um conhecimento-em-ação em grande parte implícito) e com o caráter dos estudos de caso coletivos<sup>43</sup> elaborados neste trabalho (e discutidos no item “Análise” dessa seção). Tal amostragem também é coerente com nosso instrumento de coleta de dados: entrevistas semiestruturadas, pois, de acordo com Cohen, et al. (2011), é importante que o entrevistador assegure que os entrevistados selecionados sejam capazes de fornecer as informações necessárias e suficientes à investigação.

---

<sup>42</sup> Nessa escola, o enfoque do ensino do tema na nona série é a classificação das misturas em homogêneas e heterogêneas; a apresentação da representação, no nível submicroscópico, do processo de dissolução do sal em água a título de exemplificação e sem uma discussão profunda do processo; e a apresentação de gráficos de solubilidade de diferentes solutos para efetuação de cálculos de proporcionalidade.

<sup>43</sup> Estudo de uma série de casos para investigar um fenômeno (Stake, 2000).

### 6.2.2. Coleta de dados

#### 6.2.2.1. Contexto da coleta

No intuito de subsidiar a investigação de nossas questões e sub-questões de pesquisa, foram elaboradas as atividades de “Introdução às Analogias” (Anexo 1) e as “Atividades de Modelagem” (Anexo 2).

A primeira atividade, “Introdução às Analogias”, foi elaborada com base nas etapas do modelo de ensino TWA de Glynn (1991), com o objetivo de facilitar a compreensão do sujeito sobre as analogias como comparações relacionais dotadas de limitações. Essa atividade é de suma importância devido ao fato de que, nas aulas de Ciências, os alunos raramente são solicitados a estabelecer analogias ou analisar aquelas estabelecidas pelo professor ou material didático. Sendo assim, ela é essencial para tentar garantir que eles entendam o que será chamado de analogia nas atividades futuras.

As atividades de modelagem subsequentes se encontram sucintamente descritas no quadro 6.1. Essas atividades foram elaboradas para que os sujeitos vivenciassem o processo de modelagem do fenômeno de dissolução conforme as etapas do diagrama Modelo de Modelagem, descritas na seção “A elaboração de analogias fundamentada na modelagem no ensino de Ciências” do Capítulo 4. A correspondência entre as etapas da modelagem e as atividades que propomos visam apenas destacar o aspecto predominante na vivência de cada uma destas. Mas, considerando-se a não linearidade, a dinamicidade e a interdependência das etapas da modelagem, é de se esperar, por exemplo, que nas atividades de produção de um modelo, este possa ser expresso de alguma forma, ou que testes mentais ou empíricos sejam realizados durante a sua expressão.

Para concepção das atividades, foram escolhidos dois sistemas cujos componentes sólidos se diferem quanto ao comportamento em água: o giz, que não se dissolve em água, e o suco em pó, que se dissolve. Supusemos que essa diferença de comportamento poderia auxiliar os alunos na elaboração de suas explicações, bem como subsidiar os questionamentos da pesquisadora durante a fase de revisão dos modelos. Outros fatores que influenciaram nossas escolhas foram a familiaridade dos sujeitos com os componentes (o que poderia favorecer o engajamento e a motivação nas realização das atividades); e as nítidas alterações macroscópicas que ocorrem em

ambos os sistemas (que poderiam despertar a curiosidade dos sujeitos e também servir para mantê-los engajados na formulação de explicações).

Atividade	Descrição das atividades	Etapa da Modelagem
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação dos componentes de dois sistemas - 'giz e água' (sistema 1) e 'suco em pó e água' (sistema 2) – que diferem quanto à solubilidade dos solutos em água.</li> <li>• Previsão para o que ocorrerá em cada sistema após a junção dos componentes.</li> <li>• Observação do experimento e descrição das observações.</li> <li>• Discussão das possíveis diferenças entre o previsto e o observado.</li> </ul>	Produção
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação dos fenômenos observados, no nível submicroscópico e sua explicação.</li> <li>• Elaboração de analogias para explicar os fenômenos representados.</li> <li>• Estabelecimento das semelhanças e diferenças entre os domínios comparados.</li> </ul>	Expressão
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisão dos modelos elaborados a partir de certos questionamentos da pesquisadora.</li> <li>• Observação de um novo aspecto do sistema 'suco e água' modelado: junção dos componentes sem agitação.</li> <li>• Utilização dos modelos e das analogias estabelecidas para tentar explicar os novos aspectos.</li> <li>• Reformulação ou substituição dos modelos e das analogias prévios, caso necessário.</li> </ul>	Testes
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensão das possíveis inferências a outras situações relacionadas ao fenômeno modelado.</li> </ul>	Avaliação

Quadro 6.1. Descrição geral das atividades sobre o processo de dissolução e a correspondência entre estas e as etapas da modelagem.

As figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 representam os materiais utilizados e as diferentes etapas dos processos observados pelos sujeitos. A observação do sistema 'suco e água' sem agitação (Atividade 3) era iniciada no primeiro encontro e retomada no dia seguinte, quando o sistema já se apresentava completamente homogêneo como na última foto da sequência da figura 6.4.



Figura 6.1. Componentes sólidos dos sistemas observados: (a) giz; (b) suco em pó.



Figura 6.2. Comportamento do sistema 'giz e água'.

NILMARA BRAGA MOZZER



Figura 6.3. Comportamento do sistema 'suco e água' com agitação.



Figura 6.4. Comportamento do sistema 'suco e água' sem agitação.

Para determinar a adequação das tarefas constantes nas atividades e do seu vocabulário ao público alvo, foi realizado um estudo piloto. Os sistemas que tiveram seus comportamentos modelados pelos alunos no piloto foram: giz e água; e permanganato de potássio e água. Desse estudo participaram alunos da mesma faixa etária que os pesquisados em nossa amostra em uma escola particular de Belo Horizonte, diferente daquela onde foram coletados os dados analisados neste trabalho. A pesquisadora/entrevistadora era também a professora da turma em que foi realizado o piloto.

No piloto, os alunos trabalharam em grupos, sendo toda a turma envolvida no processo. Além disso, foram realizadas entrevistas individuais ao final da aplicação das

atividades para checar o entendimento de determinadas questões que se mostraram merecedoras de uma atenção especial ao longo do piloto e de outras que, porventura, os alunos viessem a indicar como não muito claras.

A análise dos resultados do estudo piloto contribuiu amplamente para a nossa familiarização com certas ideias expressas e (re)elaboradas pelos alunos durante a construção e reformulação de seus modelos<sup>44</sup>. A análise dos resultados também contribuiu para a identificação de certas dificuldades dos alunos, derivadas de nossas opções metodológicas iniciais. Por exemplo, uma vez que o sistema 2 era constituído de permanganato de potássio e água, os alunos despendiam grandes esforços na tentativa de modelar os vários átomos constituintes do permanganato de potássio. Tal fato tornava a tarefa muito complexa em relação ao seu conhecimento prévio, o que nos levou a substituir aquele componente pelo suco em pó. Para essa decisão também contribuíram os fatos de o suco ser algo familiar aos alunos e não ser designado pela nomenclatura científica de seus componentes. Além disso, quando adicionado à água, ele também promoveria a mesma mudança macroscópica de coloração do sistema.

Outra dificuldade identificada foi quanto ao recurso utilizado para diferenciação entre os níveis representacionais. Nas atividades do piloto, a professora fazia menção ao recurso imaginativo de um “super zoom” na matéria, que pouco auxiliou na elaboração de representações da mesma no nível submicroscópico. Um novo recurso imaginativo foi, então, proposto na reformulação das atividades: “visão de raios X, como a do Super-homem”. Isto foi conjugado com revisões sobre o modelo cinético-molecular já estudado pelos alunos, ao longo da entrevista.

Era esperado que, nessas revisões, os sujeitos expressassem seus conhecimentos prévios (sobre as partículas, o espaçamento entre elas, seu movimento e organização) nas explicações de suas representações da matéria nos estados sólido, líquido e gasoso. Isso possibilitaria a intervenção da pesquisadora direcionada para a reformulação de ideias incoerentes com aquelas que embasam o modelo curricular (por exemplo, a de que a matéria, no nível submicroscópico, seria constituída por partículas com características macroscópicas). Nesse sentido, o recurso imaginativo de uma visão de raios X que ultrapassa o perceptível poderia levar os sujeitos a compreender e imaginar no nível de representação a partir do qual se esperava que eles fundamentassem suas explicações.

---

<sup>44</sup> As ideias centrais dessa análise no que diz respeito às concepções dos alunos desenvolvidas durante a modelagem deram origem a um trabalho divulgado (Mozzer & Justi, 2009a).

A partir da análise dos resultados e das considerações dos alunos durante as entrevistas do piloto, foi realizada uma reformulação das atividades de modelagem em que foram considerados aspectos como os mencionados anteriormente. Esta visão reformulada das atividades foi validada através de discussões entre juízes: os constituintes de nosso grupo de pesquisa.

Embora as atividades de modelagem sejam idealizadas para serem desenvolvidas por grupos de alunos sob orientação de um professor ou tutor, no presente trabalho, optamos por sua investigação através da realização de entrevistas individuais. Com isto, não desconsideramos a multiplicidade de fatores que poderiam influenciar suas elaborações, caso a investigação tivesse sido realizada em grupos trabalhando no contexto social de uma sala de aula de Ciências. No entanto, nossa opção metodológica se justifica pelo nível de detalhamento que necessitamos que os sujeitos forneçam sobre suas ideias, necessário à investigação dos esquemas de representação por eles mobilizados. Ao mesmo tempo, consideramos, como Cohen et al. (2011), que as entrevistas realizadas também constituem um momento social de intercâmbio de conhecimentos e informações entre entrevistador e entrevistado. Por isso, enfatizamos que estamos interessados nos aspectos individuais e não solitários da elaboração do conhecimento pelos sujeitos.

#### *6.2.2.2. Caracterização e condução das entrevistas*

As entrevistas realizadas foram do tipo semiestruturadas, nas quais a pesquisadora/entrevistadora orientava seus questionamentos de acordo com as tarefas a serem realizadas pelos sujeitos em cada uma das atividades constantes nos Anexos 1 e 2 e com as perguntas de base nelas contidas. No entanto, ela podia modificar a sequência dessas questões, alterar sua formulação ou ainda adicionar questões para esclarecimentos sobre mal-entendidos ou sondagens visando um maior aprofundamento, de acordo com a dinâmica das entrevistas individuais e recursos de conhecimento dos indivíduos (Cohen, et al., 2011). De acordo com Silverman (1993 apud Cohen, et al., 2011), embora seja necessário que cada entrevistado compreenda as questões da mesma maneira, uma sequência de questões que pode ser apropriada para se investigar as elaborações de um sujeito, pode não o ser para um outro. Sendo assim, entendemos que o mais importante no gênero de pesquisa que realizamos era que a essência dos questionamentos fosse preservada nas questões de base.

Nossas entrevistas podem ser divididas em dois blocos, com características distintas: os questionamentos sobre a atividade 1 da modelagem, com características de *entrevista clínica* (bloco 1); e os questionamentos sobre a atividade de “Introdução às analogias” e as atividades 2 a 4 da modelagem, com características de *interação de tutela* (bloco 2).

Os questionamentos do *bloco 1* foram elaborados com o intuito de investigar os conhecimentos prévios dos sujeitos sobre os fenômenos observados e as chamadas “*crenças desencadeadas*” (Piaget, 2005). Estas são ideias consideradas pelo autor como originais do pensamento do indivíduo, uma vez que nem o raciocínio elaborado pelo sujeito para responder à pergunta do pesquisador nem o conjunto de conhecimentos prévios que este utiliza durante o raciocínio são diretamente influenciados pelo pesquisador.

Nesse sentido, nos questionamentos desse bloco, evitou-se qualquer sugestão, ou seja, a insinuação de uma resposta particular ou questionamentos que pudessem direcionar as respostas dos sujeitos para a abordagem de aspectos diferentes daqueles com os quais eles, espontaneamente, iniciaram suas explicações. As intervenções sistemáticas da pesquisadora diante da conduta do sujeito (ações, explicações ou a combinações de ambas) nesta parte da pesquisa ocorriam sempre com o objetivo de esclarecer o sentido do que ele estava fazendo, numa tentativa de reconstruir seu raciocínio (Delval, 2002).

Por outro lado, os questionamentos do *bloco 2* foram elaborados no intuito de apoiar os sujeitos na elaboração de modelos, cujas ideias fundamentais eram o mais condizente possível com aquelas que fundamentam os modelos curriculares para o nível de ensino dos sujeitos (mencionadas na seção “A relevância do tema no ensino e os aspectos curriculares para o ensino fundamental” do Capítulo 3). Para isso, nos embasamos na interação de tutela (Bruner, 1983) em que as intervenções do tutor (no nosso caso, a pesquisadora) incluem um processo de “*étayage*”<sup>45</sup> a partir do qual o sujeito pode conseguir realizar, com a ajuda do tutor, algo que dificilmente seria capaz sem contar com essa assistência.

Nas atividades desse bloco, a pesquisadora tentava sempre adaptar seu comportamento às necessidades de cada sujeito, face aos recursos cognitivos que eles

---

<sup>45</sup> Mantivemos a expressão em francês por consideramos que os termos “apoio”, “sustentação”, “guiamento”, comumente utilizados em português como sinônimos de *étayage*, não são suficientes para expressar a complexidade desse processo. No inglês, a expressão usada para designar tal processo, e comum na literatura de Educação e Psicologia Cognitiva, é “*scaffolding*”.

expressavam ou que eram inferidos por ela a cada momento da entrevista. Apesar disso, a pesquisadora procurava manter, ao máximo, a semelhança entre os procedimentos adotados para os diferentes sujeitos.

Os questionamentos da pesquisadora também ocorriam no sentido de ativar conhecimentos disponíveis ao sujeito. Por exemplo, uma vez que a representação no nível submicroscópico se mostrava problemática para os sujeitos, ela recapitulava com eles seus conhecimentos sobre o modelo-cinético molecular.

Outro papel assumido pela pesquisadora foi o de direcionar a crítica dos sujeitos a elementos dos seus modelos explicativos, solicitando maiores elaborações ou esclarecimentos de suas ideias ou contrastando-as com outras ideias expressas por eles ou com eventos discrepantes. Também foram propostas questões geradoras (Vosniadou, 2002), para as quais os sujeitos teriam que elaborar explicações genuínas<sup>46</sup>. Isso ocorreu no sentido de guiá-los para que percebessem falhas ou inconsistências naquelas ideias que os levassem a promover reformulações nos elementos de seus modelos (ou, em certos casos, até o abandono do modelo e a elaboração de um novo).

O objetivo da fase final da entrevista (Atividade 4) era o de verificar as extensões de suas inferências sobre o domínio alvo a sistemas que se comportavam de maneira similar aos estudados. Nesta fase, os sujeitos tinham em mente a natureza da tarefa que iriam realizar: explicar as diferenças de comportamento de solutos no solvente no nível submicroscópico. Assim, a intervenção da pesquisadora ocorria principalmente no sentido de fornecer *feedback* aos sujeitos de que suas ideias de base, elaboradas para explicar os sistemas 'giz e água' e 'suco e água', serviriam também para explicar o comportamento dos novos sistemas propostos.

A condução das entrevistas ocorreu nos meses de novembro e dezembro de 2010, período correspondente ao último bimestre, de acordo com a divisão do ano letivo na escola. Elas foram realizadas sempre em dois dias consecutivos, em sessões que variavam de uma hora e meia a duas horas. As entrevistas aconteciam fora do horário regular das aulas e em períodos acordados entre a escola, os pais dos participantes, os participantes e a pesquisadora. O acordo para a participação de

---

<sup>46</sup> Um exemplo dessas questões no contexto de nosso trabalho foi o questionamento sobre o por quê de o suco, após sua dissolução, não retornar ao fundo do recipiente. Esse questionamento só era realizado após a constatação desse evento pelos sujeitos.

alunos desta escola em nossa pesquisa foi facilitado pelo fato de uma das pesquisadoras (a entrevistadora), já ter sido professora de química naquela instituição.

Para assegurar aos envolvidos em nosso trabalho aspectos da ética na pesquisa, tais como a utilização do material coletado unicamente para subsidiar o estudo; a preservação das identidades dos participantes; o direito da desistência da participação; e a garantia de que os experimentos não ofereceriam riscos, foram elaborados Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG. Estes foram destinados à direção da escola, aos pais ou outro responsável pelo participante e aos participantes (Anexos 3, 4 e 5, respectivamente).

Foi realizada uma reunião inicial com todos os sujeitos que se habilitaram a participar, na qual foram discutidos aspectos gerais da pesquisa (como o seu caráter investigativo e não avaliativo) e a necessidade de confidencialidade quanto aos aspectos discutidos durante a sua realização (para assegurar a originalidade das respostas dos colegas). Os TCLE foram lidos na presença dos participantes e suas dúvidas, esclarecidas. Nessa reunião, as entrevistas também foram agendadas com cada um dos participantes.

As entrevistas de aplicação das atividades foram filmadas e gravadas em áudio. A necessidade do registro em vídeo se justifica pelo fato de que muitos dos modelos e interações entre o sujeito e a pesquisadora são expressos por gestos ou outras expressões de linguagem não-verbal, como as expressões faciais, os quais não seriam captados pelo registro em áudio. Este último foi conciliado com o registro em vídeo para garantir a audibilidade, uma vez que a filmadora era posicionada a certa distância dos participantes na tentativa de minimizar os constrangimentos ocasionados pela filmagem. A filmadora só era deslocada quando havia necessidade de registro de algum detalhe das representações dos sujeitos.

Todo material produzido pelos sujeitos (modelos concretos, desenhos e folhas de atividades) fez parte da nossa coleta de dados. Os modelos concretos foram fotografados (ao final da entrevista ou posteriormente, a partir do próprio vídeo) em suas diferentes fases de confecção. Além disso, para um maior detalhamento e registro das impressões da entrevistadora, anotações de campo foram feitas imediatamente após cada entrevista.

Antes de iniciar as atividades, a pesquisadora procurava lembrar ao sujeito de que ele não se encontrava em uma atividade avaliativa e de que ela estava interessada

em conhecer sua maneira de pensar, suas próprias ideias. Sua intenção com isso era a de estabelecer uma atmosfera de confiança para que o entrevistado se sentisse livre e seguro para falar ao longo de toda a entrevista e de minimizar as assimetrias de poder inerentes a essa situação de entrevista (Cohen, et al., 2011).

Cada uma das tarefas das atividades foi lida pela pesquisadora, que procurava se certificar, tanto quanto possível, a respeito da compreensão do sujeito daquilo que lhe estava sendo solicitado, na tentativa de minimizar essa fonte de parcialidade. Evitamos também fazer múltiplas perguntas ao mesmo tempo para não confundir o entrevistado sobre os objetivos de cada uma delas e para que ele não fosse levado a responder somente uma ou fornecer várias respostas parciais (Brenner, 2006).

Ao longo de toda a entrevista, sempre que julgava conveniente, a pesquisadora promovia a validação pelo entrevistado, repetindo suas afirmações, inserindo nelas algumas de suas hipóteses e solicitando-lhe que analisasse se aquilo que ela havia interpretado era condizente com o seu raciocínio (Cohen, et al., 2011). Assim, a pesquisadora tinha a oportunidade de verificar significados atribuídos pelos sujeitos e de confirmar ou invalidar suas hipóteses e interpretações sob o julgamento do próprio sujeito. Este, por sua vez, tinha a oportunidade de se expressar de uma melhor maneira, de acrescentar e qualificar certos pontos e, até mesmo, de reelaborar suas ideias.

A validação pelo entrevistado minimiza também o problema apontado por Piaget (2008) de se interpretar uma resposta fornecida pelo participante dentro de sua estrutura de referência, em termos de outra estrutura de referência (a do pesquisador). Também na tentativa de se evitar a imposição de significados derivados da estrutura de referência da pesquisadora, esta utilizava as próprias expressões dos sujeitos em seus questionamentos (Johnson & Gott, 1996).

Nas atividades 1 a 3 foi aberta aos sujeitos as possibilidades de, primeiro redigir suas respostas e, posteriormente, discuti-las com a pesquisadora; ou de respondê-las oralmente e discuti-las. Por outro lado, na Atividade 4, a única opção que lhes foi apresentada foi a primeira, dado o objetivo dessa atividade discutido anteriormente.

Na atividade de “Introdução às analogias” que propõe o estabelecimento de uma comparação entre o modelo do sistema solar (domínio análogo) e o modelo atômico de Bohr (domínio alvo), os sujeitos eram auxiliados pela pesquisadora na recordação de seus conhecimentos sobre os domínios análogo e alvo e, quando

necessário, na adição de informações significantes; no mapeamento das similaridades (com destaque para as importâncias das relações em comparação às propriedades descritivas); no estabelecimento das conclusões sobre o alvo; e na identificação das limitações da analogia estabelecida. Portanto, os questionamentos realizados nessa atividade fazem parte do *bloco 2*.

Na Atividade 1 da modelagem, a pesquisadora solicitava a previsão e explicação para o que ocorreria em cada sistema; a observação do fenômeno; e a discussão das possíveis diferenças entre o previsto e o observado. Dado o foco dessa atividade nos conhecimentos prévios do sujeito e em suas crenças desencadeadas, este não recebia auxílios diretos da pesquisadora, salvo os materiais. Os questionamentos constantes nessa atividade pertencem ao *bloco 1*.

As atividades 2, 3 e 4 da modelagem, por outro lado, foram concebidas visando o tipo de questionamento do *bloco 2*. Na atividade 2, por exemplo, a pesquisadora solicitava aos sujeitos a expressão dos seus modelos explicativos, mas, antes disso, os auxiliava na diferenciação entre os níveis de representação e, se necessário, inseria o recurso imaginativo da “visão de raios X do Super-homem” (Anexo 2).

Para a expressão de seus modelos, eram disponibilizados aos participantes os seguintes materiais: bolinhas de isopor, massinha de modelar, canetas coloridas, lápis de cor, folhas de papel A4, fita adesiva, palito de dente, papel, cola, tesoura, pratinho de plástico, martelo de cozinha e socador de alho, ambos em material plástico. A escolha do material que melhor lhe conviesse ficava à critério dos sujeitos. Sempre que os sujeitos expressavam seus modelos através de desenhos, a pesquisadora solicitava o esclarecimento dos códigos de representação por eles utilizados e a explicação de seus modelos. Isto foi feito em concordância com o trabalho de Ehrlén (2009), que adverte sobre o fato de que os desenhos das crianças não podem ser considerados como o espelhamento de suas concepções, uma vez que, como qualquer outro modo de representação, apresentam várias convenções e limitações.

Nesta mesma atividade, o sujeito também era solicitado a estabelecer comparações para explicar o comportamento dos sistemas e era auxiliado no mapeamento e identificação das limitações de sua comparação. Como previsto na segunda questão do protocolo da Atividade 2 (Anexo 2), tal solicitação era realizada pela pesquisadora após as primeiras representações materiais das ideias pelos sujeitos. Ela ocorria também em outros diferentes momentos, quando a pesquisadora percebia que eles iniciavam as reformulações nos elementos de seus modelos.

A representação das ideias dos sujeitos a partir de diferentes modos, entre eles o analógico, nos permitiu uma validação de nossas interpretações através do que Cohen et al. (2011) denominam *triangulação metodológica*<sup>47</sup>. Nesse processo, buscamos verificar se os sujeitos exprimiam (direta ou indiretamente) uma mesma compreensão nessas tarefas relacionadas, mas não idênticas.

Na Atividade 3, o sujeito era confrontado com um evento discrepante (Clement, 2008c) – o processo de dissolução sem agitação – e era solicitado a explicá-lo através de suas representações anteriores. Neste e em diferentes momentos das atividades 2 e 3, os sujeitos eram solicitados a fornecer esclarecimentos sobre seus modelos mediante confrontação com suas próprias ideias expressas anteriormente, com informações teóricas, ou com dados empíricos observados durante as atividades. Consideramos que, como mencionado no Capítulo 4, quando os esclarecimentos dos sujeitos resultavam em uma reelaboração de seus modelos ou de elementos destes, o evento que a ocasionou também era um evento discrepante.

Na Atividade 4, a pesquisadora solicitava ao sujeito a utilização de suas representações para explicar os comportamentos de dois novos sistemas: a não dissolução do óleo em água e a dissolução do vinagre em água. Nessa atividade, o papel da pesquisadora era, principalmente, o de validar as explicações dos sujeitos. Isso ocorria, como comentado, através do *feedback* sobre a aplicabilidade das ideias elaboradas na explicação do comportamento dos novos sistemas. Isso foi de fundamental importância para que os indivíduos se sentissem seguros quanto às generalizações que eles tentavam estabelecer sobre o domínio alvo.

### 6.2.3. Análise

Para subsidiar a análise dos dados, foram elaborados estudos de caso para cada sujeito. Para tanto, realizamos uma análise micro-desenvolvimental<sup>48</sup> e processual das múltiplas fontes de dados (gravações em áudio e vídeo das entrevistas e suas transcrições, modelos concretos, fotografias, material escrito e notações de campo da pesquisadora). Essa análise ocorreu em duas grandes etapas:

---

<sup>47</sup> De acordo com Cohen et al. (2011), a triangulação metodológica se dá pelo uso de um mesmo método em diferentes ocasiões ou, como no nosso trabalho, pelo uso de diferentes métodos para um mesmo objeto de estudo.

<sup>48</sup> Análise longitudinal ao longo de um espaço de tempo experimental curto que procura por possíveis mudanças nesse período.

- *Etapa 1*

As gravações em áudio e vídeo de cada entrevista foram reproduzidas em sua integridade e a sequência das atividades foi acompanhada pela observação dos modelos concretos produzidos ou das fotos destes, pela leitura do material escrito produzido pelos sujeitos e pela leitura das anotações de campo da pesquisadora referentes a cada entrevista. Foi, então, realizada uma análise através de grãos grandes dessas entrevistas – “análise molar” (Erickson, 2006). Esta objetivava a identificação/inferência dos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação a partir de indícios no desenvolvimento das representações dos sujeitos (modelos analógicos, modelos concretos, desenhos, gestos etc.), das ideias expressas por eles a partir dessas representações, das discussões com a entrevistadora e dos aspectos contextuais. Essa identificação/inferência foi orientada também pelas concepções dos alunos apresentadas na literatura do ensino de Ciências e da Psicologia Cognitiva, discutidas no Capítulo 3. No caso específico dos conceitos-em-ação, a matéria e suas propriedades – com exceção da propriedade interação – foram tratadas como um só conceito-em-ação, ao qual denominamos “matéria”. Já a “interação” foi tratada como um conceito-em-ação em separado por englobar tanto aspectos relacionados à estrutura da matéria propriamente dita (*propriedade*) quanto aqueles relacionados à ação mútua entre partículas de substâncias diferentes durante a dissolução (*processo*). Além disso, a “dissolução” foi tratada como um conceito-em-ação por concatenar diferentes aspectos relacionados aos dois conceitos-em-ação anteriores na explicação do processo.

Em diversas reproduções subsequentes das gravações<sup>49</sup>, buscamos identificar a dinâmica desses invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) ao longo de cada entrevista individual. Tal processo culminou na identificação de certas regularidades na maneira pela qual os sujeitos elaboravam suas explicações para o processo de dissolução, de acordo com as situações propostas nas atividades de modelagem. A partir das ideias centrais contidas nos invariantes operatórios mobilizados nessas explicações regulares, elaboramos nossas categorias de análise, as quais denominamos, de maneira genérica, “Esboços de Esquemas de Representação

---

<sup>49</sup> Em lugar de realizar essa análise preliminar a partir das transcrições, optamos por reproduzir as próprias gravações porque muito do conhecimento implícito do sujeito poderia ser perdido, uma vez que as transcrições, por mais completas e detalhadas que sejam, são seletivas (Cohen, et al., 2011).

(EER)”. As especificidades e detalhamentos dessas categorias são apresentados na próxima seção.

Essa análise preliminar nos possibilitou também a realização do processo de amostragem intencional mencionado anteriormente. Isto resultou na seleção de quatro, dos seis participantes, terem suas entrevistas selecionadas para análise na Etapa 2 devido à clareza e detalhamento na expressão de suas ideias. Na análise preliminar foram decididos também os critérios principais a partir dos quais os casos seriam representados nos relatos: os aspectos contextuais, subjetivos (representações dos sujeitos) e intersubjetivos (intervenções da pesquisadora), que nos forneceram elementos para a identificação/inferência das ideias que embasavam seus modelos e as modificações destes; em outras palavras, os indícios dos invariantes operatórios e outros recursos de conhecimento dos sujeitos.

- *Etapa 2:*

As entrevistas foram transcritas em sua integralidade, incluindo aspectos da comunicação não-verbal como as representações gestuais dos sujeitos; certas expressões faciais manifestadas durante suas explicações; registro de silêncios e entonação diferenciada em algum momento. Nas transcrições, as falas dos sujeitos só foram alteradas quando os erros cometidos quanto à norma culta da língua poderiam comprometer o entendimento do leitor sobre o que ele estava querendo dizer.

Elaboramos, então, versões iniciais dos estudos de caso nos quais foram destacados os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação (invariantes operatórios) identificados/inferidos na análise preliminar (*primeira subetapa*) e seus indícios. Para atender a esse objetivo, foram selecionados *print screen* de cenas que representam os gestos, desenhos, fotografias dos modelos concretos e trechos das falas dos sujeitos nos quais eles expressavam suas ideias e trechos de suas discussões com a pesquisadora nos quais foi possível identificar modificações nos seus modelos explicativos. Na tentativa de representar a dinâmica das atividades, estas foram descritas na ordem cronológica de sua ocorrência.

Em seguida, uma *segunda subetapa* de análise foi realizada, na qual novamente buscamos acompanhar a dinâmica dos invariantes operatórios para identificação de nossas categorias de análises (EER) de acordo com as situações da modelagem. Isso ocorreu através de um longo processo de “idas e vindas” entre as fontes primárias (gravação das entrevistas, modelos, fotografias, material escrito produzido pelos

alunos etc.) e as fontes secundárias de dados (anotações da pesquisadora, versões preliminares dos estudos de caso). Nesse processo, novos invariantes foram identificados/inferidos a partir de novos indícios e outros modificados ou abandonados (o que gerou uma caracterização mais fina de nossas categorias de análise, de forma a tentar torná-las o mais compatíveis possível com os recursos de conhecimento dos sujeitos). Assim, as versões iniciais dos estudos de caso foram sendo reelaboradas até a produção das versões finais de cada um deles, apresentadas no Capítulo 7. Subsequentemente, a partir da análise dessas versões finais de cada estudo de caso, foram identificados ou inferidos os demais elementos constituintes dos EER (as inferências, as regras de ação, de coleta de informação e de controle e os objetivos) referentes a cada situação da modelagem.

Finalmente, numa *terceira subetapa* de análise, a comparação da dinâmica desses recursos de conhecimentos mobilizados pelos sujeitos nos quatro casos analisados nos possibilitou a identificação dos esquemas de representação mobilizados de acordo com as classes de situações pesquisadas e o acompanhamento de sua modificação<sup>50</sup>. Em suma, a análise realizada nessa Etapa 2 pode ser caracterizada como uma análise de grãos finos ou, nos termos de Erickson (2006), uma “análise molecular”. Todas essas etapas e subetapas de nossa análise encontram-se esquematizadas na figura 6.5.

Ao longo da segunda e da terceira subetapas, foi realizada uma triangulação entre os pesquisadores: a autora deste trabalho; sua orientadora no Brasil e autora (em parceria com John Gilbert) do Diagrama Modelo de Modelagem, Rosária Justi; e seu orientador na França<sup>51</sup> e autor da TCC, Gérard Vergnaud. Nesse processo, as diferentes versões dos estudos de caso produzidas foram examinadas a partir de percepções múltiplas e discutidas até que se atingisse um acordo sobre todas as interpretações propostas (Cohen, et al., 2011; Stake, 2000). Nessa triangulação, também foram analisadas as considerações resultantes das discussões com membros de dois grupos de pesquisa franceses – *Compréhension, Raisonnement et Aquisition des Connaissances*<sup>52</sup> (CRAC) do Laboratoire Paragraphe da Université Paris VIII; e *Recherche en Didactique des Sciences Experimentales*<sup>53</sup> do Laboratoire de Didactique

---

<sup>50</sup> Como os produtos dessa análise fazem parte das respostas às nossas duas primeiras sub-questões de pesquisa, eles são discutidos no Capítulo 8 que trata das conclusões.

<sup>51</sup> Durante a realização de estágio sanduíche na Université Paris VIII, entre maio de 2011 e maio de 2012.

<sup>52</sup> Dirigido por Emmanuel Sander.

<sup>53</sup> Dirigido por Cécile de Hosson, com o apoio de Laurence Viennot.

André Revuz (LDAR) da Université Paris VII – realizadas a partir da apresentação dos resultados das análises das segunda e terceira subetapas.

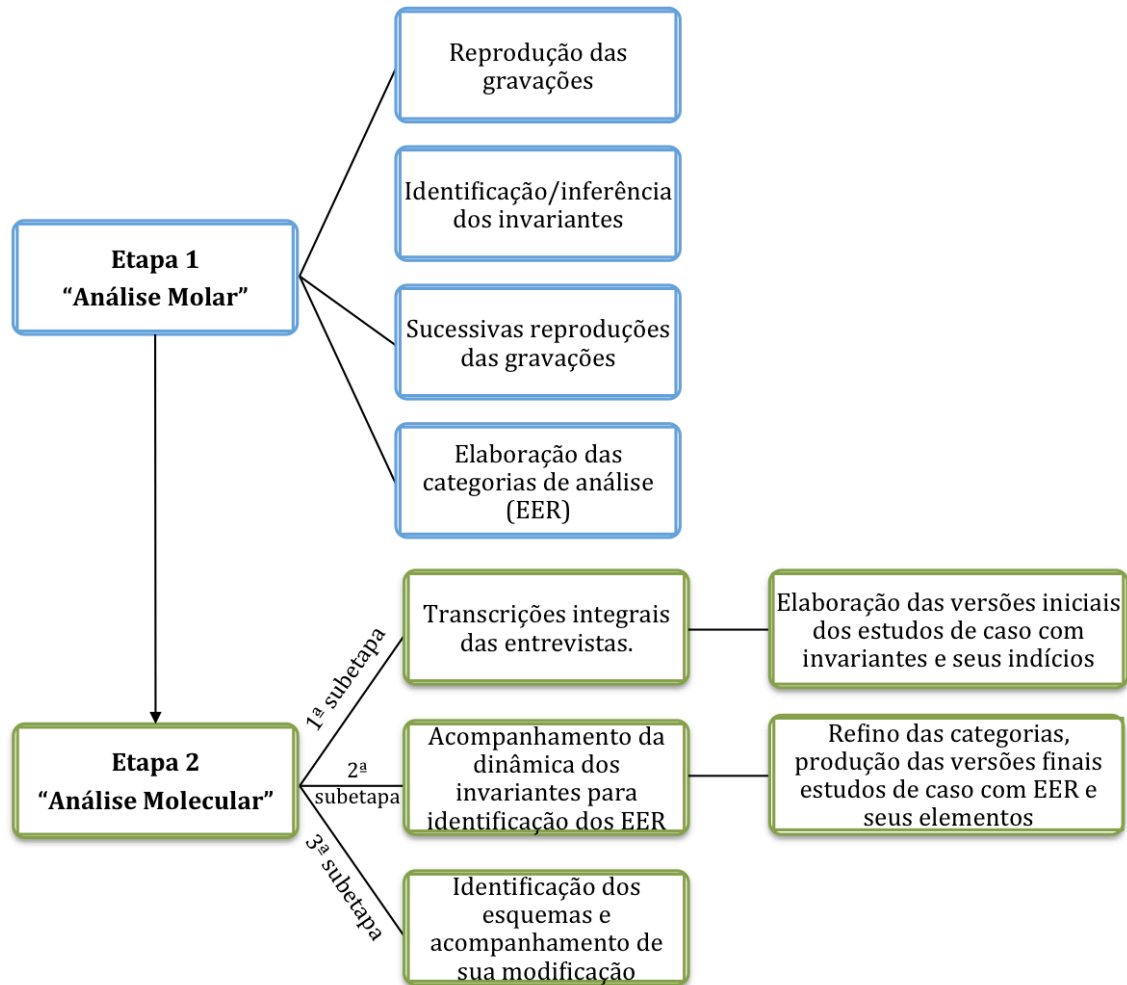


Figura 6.5. Representação esquemática das etapas de análise.

### 6.2.3.1. Categorias de análise

Como apresentado anteriormente, entendemos esquemas como *formas invariantes de organização da atividade* do indivíduo face a uma classe de situações (Vergnaud, 1990a, 1990b, 2006). Neste trabalho, as situações que analisamos se referem ao processo de elaboração, expressão, crítica e reformulação de modelos explicativos pelos sujeitos para o fenômeno de dissolução. Sendo assim, as atividades dos sujeitos se relacionavam, sobretudo, à construção de interpretações e explicações para o comportamento submicroscópico dos sistemas observados através de modelos.

Assim, as atividades de modelagem propostas neste trabalho podem ser divididas em quatro classes de situações, de acordo com as etapas do diagrama Modelo de Modelagem: *produção, expressão, teste e avaliação* de modelos (quadro 6.2). Essas classes, embora compostas de múltiplas situações, são estreitas no sentido de que se referem à modelagem de um processo mais amplo – o fenômeno de dissolução – a partir da observação de fenômenos específicos – o comportamento do giz e do suco em água. Mas, vale considerar que, de acordo com Vergnaud (1990b), esquemas mobilizados em classes estreitas têm potencial de se desenvolver e se expandir à medida que o sujeito é exposto a novas situações.

A partir da “análise molar” do conteúdo das entrevistas realizada na Etapa 1, identificamos o que chamamos de *esboços de esquemas de representação* (EER). Essas categorias de análise emergiram dos dados e foram nomeadas e caracterizadas inicialmente com base nos *invariantes operatórios* identificados ou inferidos a partir das explicações e representações dos sujeitos para o fenômeno da dissolução; ou seja, com base na parte mais epistêmica dos esquemas mobilizados pelos sujeitos nas situações de modelagem analisadas no presente trabalho. Os esboços de esquemas de representação, por si só, não possuem a mesma amplitude dos esquemas como definidos na TCC, uma vez que dizem respeito à organização da ação do sujeito em cada situação modelada e não à sua organização para uma classe delas. Nossa suposição principal é a de que a caracterização dos EER a partir do conjunto de todos os seus elementos (inferências; regras de ação, de coleta de informação e de controle; objetivos; e invariantes), se constitua em uma ferramenta que possibilite a identificação e análise dos esquemas de representação mobilizados pelos sujeitos (especificamente neste trabalho, sujeitos cursando o último ano do ensino fundamental) e associados às quatro classes de situações analisadas: produção, expressão, teste e avaliação de modelos (neste trabalho, relacionados ao processo de dissolução).

O nome que cada um dos esboços de esquemas de representação recebeu neste trabalho está associado ao teorema-em-ação referente à ideia central no modelo elaborado para explicar o processo de dissolução – ainda que esses esboços sejam formados por uma combinação de invariantes, como pode ser constatado nos quadros elaborados ao final de cada estudo de caso (apresentados no Capítulo 7). Visando facilitar a leitura do próximo capítulo, apresentamos, a seguir, uma caracterização geral dos EER.

- **Espalhamento meso:** As unidades constituintes do soluto podem, ou não (caso de não dissolução), se espalhar no solvente (quando considerado contínuo) ou entre suas unidades (quando considerado descontínuo<sup>54</sup>), dependendo da resistência ou fragilidade do primeiro ao segundo. Caso se espalhem, as unidades de soluto permanecem suspensas ou, posteriormente se fundem (“derretem”). As unidades do soluto e do solvente, se consideradas, são sempre mesoscópicas<sup>55</sup>: partículas-pó, partículas-grão<sup>56</sup> e partículas-gota. Além disso, elas são concebidas como imóveis, ou apenas as partículas-gota são dotadas de movimento.
- **Reação meso:** Transmutação das partículas mesoscópicas de soluto e de solvente, que têm “afinidade” entre si, em uma outra matéria (como o suco, por exemplo) por uma espécie de fusão de uma partícula na outra<sup>57</sup>. As partículas são concebidas como imóveis, ou apenas as partículas-gota são dotadas de movimento.
- **União física submicro:** As partículas imóveis do soluto são unidades submicroscópicas que se espalham ou não (caso de não dissolução) entre as unidades submicroscópicas, em movimento, do solvente. No primeiro caso (dissolução), ocorre união física entre as partículas de soluto e solvente, devido à afinidade entre elas; no segundo (não dissolução), as partículas de soluto permanecem unidas fisicamente entre si, o mesmo ocorrendo com as do solvente, devido à resistência do soluto à ação do solvente.
- **Interação submicro:** Separação ou não (caso de não dissolução) das unidades submicroscópicas do soluto ao ser adicionado no solvente. Tal separação, quando

---

<sup>54</sup>A consideração da constituição particulada do giz é facilitada pela sua friabilidade. Possivelmente, um material mais agregado como um metal, por exemplo, poderia ser representado tanto como uma matéria contínua como particulada.

<sup>55</sup>Uma escala mesoscópica de representação é aquela entre o nível macroscópico e o submicroscópico. Neste trabalho, as unidades são chamadas mesoscópicas quando o sujeito imagina representar no nível submicroscópico algo que, na realidade, existe nos níveis macroscópico ou mesoscópico.

<sup>56</sup>Os grãos de suco, apesar de visualizáveis, são considerados representações dos sujeitos no nível meso, pois, para eles, são unidades provenientes da divisão um sólido compacto.

<sup>57</sup>No caso do *EER reação meso* ocorre um “englobamento” da partícula-pó do soluto pela partícula-gota do solvente e a primeira se funde no interior da segunda, resultando em elas se transformarem em uma nova partícula. Utilizamos o termo reação para designar esse EER porque os sujeitos expressavam a ideia da formação de uma nova substância (o suco) em suas representações, e não porque esta estivesse associada a um rearranjo de átomos, representação coerente com o modelo científico de uma reação química.

ocorre, é causada por interações eletrostáticas estabelecidas entre as partículas do soluto e do solvente em movimento. Essas interações variam quanto à intensidade.

### 6.2.3.2. *Caracterização dos estudos de caso*

Neste trabalho, examinamos casos de sujeitos do mesmo nível de ensino, faixa etária e contexto escolar, vivenciando atividades de modelagem para explicar o processo de dissolução no nível submicroscópico. Diante de nosso propósito principal de identificar e analisar os esquemas de representação mobilizados pelos sujeitos nesse contexto, elaboramos o que Stake (2000) denomina estudos de caso coletivos. Em estudos de caso desse tipo, o foco do pesquisador está na investigação de um fenômeno, população ou condição geral a partir do estudo em conjunto de uma série de casos. Eles podem (ou não) manifestar características comuns aos demais, sendo a redundância e a variedade consideradas de suma importância.

Em nossa pesquisa, cada caso foi analisado em profundidade, seus contextos escrutinizados e as atividades detalhadas, buscando-se ganhar insights sobre os possíveis esquemas de representação mobilizados pelos sujeitos nas circunstâncias vivenciadas por cada um deles. Isso porque, apesar de os esquemas serem formas invariantes através das quais indivíduos organizam suas atividades, suas ações nestas atividades variam. Portanto, nosso interesse incide sobre a especificidade de cada caso, para posteriormente investigarmos as possíveis semelhanças e diferenças entre eles (Lüdke & André, 1986).

Grande parte dos invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) são implícitos, especialmente se levarmos em conta o domínio do conhecimento e a experiência dos sujeitos pesquisados. Por isso, na elaboração dos relatos (apresentados no Capítulo 7), procuramos destacar os indícios de sua fundamentação que nos permitiram acessá-los e/ou inferi-los e os EER dos quais eles fazem parte. Ao final de cada estudo de caso, elaboramos quadros onde são apresentados os invariantes operatórios e seus indícios. Nesses relatos, também identificamos os EER e seus elementos (inferências; regras de ação, de coleta de informação e de controle; objetivos; e invariantes) associados às situações da modelagem vivenciadas pelos sujeitos e derivados das análises mencionadas na seção anterior. Eles também foram apresentados em quadros mais amplos, que seguem os anteriores ao final de cada estudo de caso.

A partir dos relatos, além dos EER, identificamos também seus elementos (inferências; regras de ação, de coleta de informação e de controle; objetivos; e invariantes) associados às situações da modelagem vivenciadas pelos sujeitos e derivados das análises mencionadas na seção anterior. Todos eles foram apresentados em quadros mais amplos, que seguem os anteriores no final de cada estudo de caso. Nesses quadros, as situações são distinguidas pelas cores identificadas no quadro 6.1 de acordo com a etapa da modelagem (ou classe de situações).

## CAPÍTULO 7. ANÁLISE DOS DADOS

### 7.1. Estudo de caso 1

O sujeito cujas ações serão descritas e interpretadas neste estudo de caso, S1<sup>58</sup>, tinha 15 anos e era um estudante da 9ª série do ensino fundamental, como os demais. Ele não havia repetido nenhuma série e declarou ter grande afinidade com os estudos de Química e Física. S1 participou das atividades com grande disposição e empenho.

As atividades da entrevista se iniciavam com os esclarecimentos da pesquisadora de que ela apresentaria aos sujeitos alguns eventos e que seu interesse era o de que eles formassem explicações para os mesmos. Ela esclarecia também que, para isso, eles poderiam utilizar o vocabulário que achassem mais fácil para expressar suas ideias. Em seguida, a pesquisadora dava início à atividade intitulada “Introdução às Analogias”, que se encontra no Anexo 1.

Nessa primeira atividade era feita uma recapitulação das principais características do modelo atômico de Bohr (domínio alvo), partindo-se das ideias dos sujeitos, antes que a comparação fosse introduzida. A pesquisadora também os questionava sobre informações importantes a respeito daquele modelo que não haviam sido mencionadas por eles. Isso favorecia a elaboração de uma caracterização mais completa do modelo e a discussão de algumas ideias que pareciam não estar claras para eles. No caso de S1, por exemplo, ele demonstrou confundir o *núcleo* com a *presença de um único próton central* no átomo, como ilustra o trecho a seguir:

**S1:** *Vamos supor que ele tinha uma partícula de prótons, de elétrons, uma de próton e seis de elétrons em volta, tipo formando o sistema planetário, tinha três camadas e vamos supor que tinha um próton e seis elétrons aí tinha que dividir, tinha que colocar esses elétrons em camadas diferentes, até dar o número exato de prótons.*

**P:** *No modelo atômico de Bohr, onde ficavam os prótons?*

**S1:** *O próton era na região central, no núcleo.*

**P:** *Você me deu um exemplo de um átomo que tem um próton no núcleo e sete elétrons na eletrosfera. Existem átomos com mais de um próton?*

**S1:** *Existe, claro!*

(...)

**P:** *E como estão os elétrons nesse átomo?*

---

<sup>58</sup> Para assegurar que a identidade dos participantes fosse preservada, eles foram identificados pela letra S em referência à terminologia “sujeito”, acompanhada do número que indica a ordem de apresentação dos seus estudos de caso neste trabalho. Nos diálogos apresentados, a pesquisadora foi identificada com a letra P.

NILMARA BRAGA MOZZER

**S1:** *O núcleo, parece que ele atrai os elétrons, fazendo com que eles se movam em movimentos circulares.*

**P:** *Por que o núcleo atrai os elétrons?*

**S1:** *Por causa dos prótons e dos elétrons que têm tipo DNA diferente... eu não sei... Não tô sabendo usar a palavra.*

**P:** *Não tem problema. Tente me explicar isso melhor.*

**S1:** *Não é DNA... é... eles são opostos. Eles possuem tipo substâncias que se atraem e querem sempre se unir.*

**P:** *Você já ouviu falar em cargas?*

**S1:** *É isso! Eles possuem cargas opostas!*

A pesquisadora prosseguia a discussão solicitando que os sujeitos caracterizassem o sistema solar (domínio análogo) e, quando achava necessário, completava essa caracterização com algumas informações, na tentativa de tornar o domínio ainda mais familiar a eles. Só então, dava início ao mapeamento das semelhanças entre os domínios comparados.

**P:** *Como nós vamos comparar o átomo com o sistema solar, antes eu gostaria que você descrevesse esse sistema para mim.*

**S1:** *O Sol, que é o centro de tudo, ele atrai todos os outros planetas. Não sei te explicar o que ele tem! É tipo uma força maior que ele atrai todos os planetas, fazendo com que eles movam, igual na molécula (se refere ao átomo); porque quanto mais longe está do sol, menor é a força que o sol faz sobre o planeta; e no elétron também, quanto mais longe menor também é a força que faz, e quanto mais perto os planetas maior a força gravitacional, igual a lei de Newton, se não me engano.*

**P:** *Ok. De acordo com o que discutimos sobre o átomo, nós vimos que as cargas opostas dos prótons e elétrons fazem com que eles se atraiam, não é mesmo?!*

**S1:** *Sim.*

**P:** *E nesse caso, só os prótons atraem os elétrons?*

**S1:** *Não, os elétrons também atraem os prótons.*

**P:** *E no caso do Sol e dos planetas?*

**S1:** *Acho que é também, porque pensando assim, os planetas também devem atrair o Sol.*

**P:** *É, eles atraem. E o que causa essa força entre o Sol e os planetas e vice-versa?*

**S1:** *Aí é que eu não sei!*

**P:** *Você já ouviu dizer que massa atrai massa?*

**S1:** *Sim.*

**P:** *E os planetas e o Sol possuem massa?*

**S1:** *Eles possuem. É isso mesmo, aí eles se atraem!*

**P:** *Então, que semelhanças existem entre o modelo do sistema solar e o modelo atômico de Bohr?*

**S1:** *O sol seria o núcleo com prótons e nêutrons e o resto dos planetas seriam os elétrons que ficavam é... ficavam levitando em voltas circulares sobre o núcleo.*

**P:** *Me explica isso melhor.*

**S1:** *Andando circularmente, se mexendo, movimentando em volta do núcleo e os planetas em volta do Sol, por causa da atração.*

Nesse processo, a pesquisadora procurava auxiliar os sujeitos na adequada correspondência e na identificação de diferenças como, por exemplo, a da natureza das forças que atuam em cada um dos sistemas. O diálogo a seguir ilustra essa situação:

**P:** *E o que tem de diferente entre o sistema solar e o átomo?*

**S1:** *No sistema solar e no átomo? No sistema solar, por exemplo, em cada camada há um planeta só e no átomo, em uma camada não tem que ter um elétron só; pode ter, por exemplo, cinco elétrons em uma camada, na outra três somente, na outra um. Não tem uma sequência, entendeu? Deixa eu ver... Não sei mais.*

**P:** *E com relação ao que causa as forças nos dois sistemas?*

**S1:** *Ah! No átomo são as cargas e no sistema solar são as massas.*

**P:** *Os planetas se repelem entre si?*

**S1:** *Não, mas os elétrons repelem.*

**P:** *E os prótons com os prótons?*

**S1:** *Também, porque eles têm a mesma carga.*

Assim, a pesquisadora ressaltava a importância de se perceber a existência das diferenças e não só das semelhanças entre os domínios comparados e solicitava aos sujeitos a identificação de algumas delas. Além das diferenças mencionadas na citação anterior, outras foram discutidas, como as massas dos planetas serem diferentes, ao passo que os elétrons possuem a mesma massa; o formato das órbitas (elípticas) e camadas (circulares); o fato de os elétrons, ao receberem energia, poderem mudar de nível, diferentemente dos planetas; a não existência de elétrons entre dois níveis de energia, enquanto que corpos celestes, como os asteróides, podem ser encontrados entre duas órbitas. A pesquisadora também destacava a importância das *relações* entre os sistemas comparados, como aquelas existentes entre as forças de atração central presentes em ambos os sistemas, em detrimento da comparação de suas propriedades descritivas como cor, tamanho, forma etc.

Como esse processo se repetiu para todos os sujeitos com as mesmas etapas básicas descritas e exemplificadas anteriormente, nos estudos de caso posteriores, partiremos da descrição da Atividade 1 (Anexo 2). No entanto, quando as ideias expressas pelos sujeitos na atividade de introdução às analogias forem retomadas por eles ou pela pesquisadora no curso das demais atividades, elas serão contextualizadas em relação ao seu emprego inicial.

Na Atividade 1 (Anexo 2), foram apresentados os componentes do sistema ‘giz e água’ e foi solicitado a S1 que descrevesse o giz. Ele o fez da seguinte maneira:

**S1:** *Branco, esfera maciça que é... Esfera maciça, não! É maciço, todas as moléculas são juntinhas (entrelaça os dedos – figura 7.1) e não tem nenhum espaço entre elas. Ele se desfaz, né?! E são as substâncias dele, esses pozinhos, que fazem que ele escreva no quadro.*



Figura 7.1. Representação gestual da proximidade das “moléculas” no giz elaborada por S1.

Ao ser solicitado a fornecer uma previsão para o que ocorreria ao se adicionar o giz na água, S1 afirmou:

**S1:** *Eu acho que ele vai se desfazer todo.*

**P:** *E por que você acha que isso vai acontecer?*

Após observar atentamente o lado não polido do giz, onde este havia sido quebrado, ele respondeu:

**S1:** *Eu vou mudar de opinião: eu acho que ele não é maciço não, porque eu acho que quando colocar ele na água, nos buracos pequenininhos vão entrar água e vai fazer ele se desfazer.*

**P:** *O que te levou mudar de ideia?*

**S1:** *Porque quando eu pensei na água, a água se infiltra em qualquer pedacinho pequeno aí ele se desfaz... a água desfaz qualquer coisa. Deixa eu tentar explicar: porque a água entra em qualquer pedacinho pequeno; ela vai fazer com que, de dentro pra fora, esses espaços entre as moléculas desapareçam. Com isso, ele vai se desfazer.*

A previsão fornecida por S1 de que o giz se “desfaria” ao ser adicionado em água parece estar relacionada à sua percepção de que o giz é um material frágil, que libera pó quando o utilizamos para escrever no quadro negro (fenomenismo perceptual). Para ele, a água (matéria contínua) entraria nos espaços existentes entre as “moléculas” de giz. Estes, por sua vez, corresponderiam, respectivamente, aos poros e ao pó percebidos por S1 a partir de uma escala mesoscópica de representação

mental. A entrada de água espalharia as partículas-pó, fazendo com que o giz se “desfizesse” (**EER espalhamento meso**).

Após observar a mistura, S1 foi solicitado a caracterizar o sistema e a estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado e o fez da seguinte maneira:

**S1:** *Tem espaço entre elas (“moléculas” do giz) mesmo, tá vendo? Não é maciço mesmo. Não se desfaz..., não se desfaz (demonstra certa decepção). Tem ar entre elas (“moléculas” do giz). E sua cor continua a mesma.*

**P:** *Você falou assim pra mim: “Tá vendo, tem espaço mesmo”. Por quê?*

**S1:** *Porque começou a sair ar de dentro dele. A água tem mais pressão que o ar; tava entrando e fazendo com que o ar saísse.*

**P:** *Você falou também: “ele não desfez”...*

**S1:** *Ele não se desfaz, não. Parece que a água entra dentro dele e se retém lá.*

**P:** *E tem alguma outra coisa de diferente entre o que você tinha previsto e o que você observou?*

**S1:** *Entre... dentro dele tem ar também.*

**P:** *Você não tinha imaginado isso?*

**S1:** *Não. E a água entrou dentro dele e ele não se desfez mesmo!*

**P:** *E por que você acha que isso aconteceu diferente daquilo que você tinha previsto?*

**S1:** *Deve ser o material que ele é feito; a água não consegue desfazer ele. O material é muito resistente. Não sei...*

S1 esperava que o giz se dissolvesse completamente na água e não escondeu sua decepção ao perceber que sua observação contrariava aquilo que ele havia previsto. Naquele momento, ele demonstrou conceber a não dissolução do giz como um processo a partir do qual suas “moléculas” se mantinham juntas (“o material é muito resistente”) e a água passaria a ocupar o espaço existente entre elas, antes preenchido pelo ar (**EER espalhamento meso**).

Como parte da Atividade 2 (Anexo 2), a pesquisadora, após explicar a diferença entre os níveis de representação macroscópico e submicroscópico, solicitou que S1 elaborasse uma representação neste último nível e a utilizasse para explicar o comportamento do sistema ‘giz e água’. S1 elaborou a representação da figura 7.2 e explicou da seguinte maneira:

**S1:** *O giz tem uma densidade e a água tem outra. As moléculas do giz são mais juntas que as da água, porque ele está no estado sólido e tem espaço entre as moléculas do giz. A água não é nem tão separada quanto no estado gasoso, nem tão junta quanto no estado sólido... está no meio termo. Então, quando o giz entra na água, a densidade dele é maior que a da água, fazendo com que ela não consiga se envolver nele (faz o gesto da figura 7.3a), apenas penetrar e que não aconteça nada com ele... Só sai o ar.*

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** *Eu gostaria que você me esclarecesse algumas coisas. Por exemplo: de que é feito o giz?*

**S1:** *De pó, mas ele está prensado.*

**P:** *Outra coisa: quando você colocou o giz na água, o número de partículas dele diminuiu?*

**S1:** *Não, continuou a mesma mas, a quantidade de água é maior que a do giz. É isso que eu queria mostrar aqui (aponta para a figura 7.2b).*

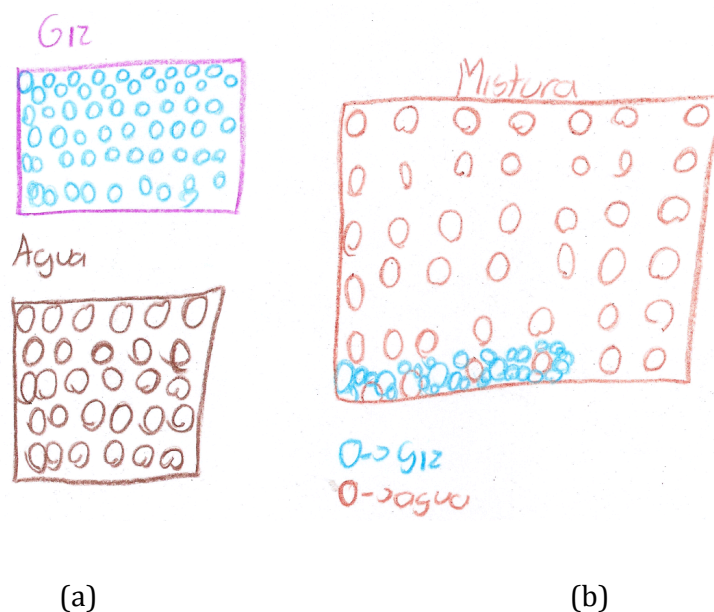


Figura 7.2. Representação dos componentes do sistema ‘giz e água’ antes (a) e após (b) a mistura elaborada por S1.

Para S1, o elevado grau de compactação no qual o giz se encontra, o qual ele designava por “maior densidade”, impedia a desagregação das partículas do giz pelas de água. A água líquida, devido à sua menor compactação de suas partículas-gota em relação ao sólido e maior em relação ao gás, era capaz de expulsar o ar existente entre as partículas-pó, mas não de separá-las (**EER espalhamento meso**).

Na sequência da atividade, S1 foi solicitado a elaborar uma comparação que explicasse o comportamento do sistema. A citação a seguir, ilustra essa etapa:

**S1:** *Deixa eu pensar. (Pausa) Vamos supor que tem um bar, um bar quadrado e dentro dele a gente põe um carro, bem no meio dele. Vamos supor que esse carro é o giz e a água seria as pessoas. Elas não vão conseguir, englobar o carro, o carro sempre vai estar atrapalhando; é uma cortina que ele vai fazer. O carro vai continuar no mesmo estado que ele está, mas no meio das pessoas.*

**P:** *Quais são as semelhanças?*

**S1:** *Semelhança é que o carro vai ocupar um espaço dentro do bar, a mesma coisa que o giz ocupou aqui (aponta para o sistema ‘giz e água’) e o tanto de pessoas que vai ter não vai conseguir tipo desfazer ele. Outra semelhança é que*

NILMARA BRAGA MOZZER

*tem um giz pra tantos volumes de água, e vai ter um carro com muitas pessoas também. Aqui (aponta para o sistema) o volume da água é mais elevado que o do giz e lá vai ter o número de pessoas mais elevado que do carro. Eu vou ter um carro e, vamos supor, trezentas pessoas.*

**P:** *E as diferenças?*

**S1:** *Por exemplo, supondo que as pessoas são a água e o giz é o carro, as pessoas lá vão estar se movimentando em volta do carro, podendo haver um atrito e aqui não. A água está parada e o giz também.*

S1 estabeleceu uma comparação de mera aparência. Nesta, ele colocou em correspondência aspectos físicos dos sistemas como a aparência compacta e delimitada dos componentes giz e carro, a integridade física desses dois componentes e os volumes relativos de todos os componentes nos sistemas. Além disso, identificou diferenças com base no aspecto macroscópico do repouso dos componentes giz e água em relação ao movimento das pessoas no domínio análogo criado por ele para representar o que imaginava ser o comportamento das partículas no nível submicroscópico. Uma vez que o principal objetivo de S1 na elaboração daquela comparação parecia ser o de ilustrar a não dispersão das partículas-pó do giz em água, ele demonstrou novamente mobilizar o **EER espalhamento meso**.

Outro aspecto importante que pode ser evidenciado a partir dessa comparação é que, para S1, no nível meso, enquanto as partículas-gota da água (representadas na figura 7.2) eram dotadas de movimento, as partículas-pó do giz eram imóveis. Isso foi contrastado por S1 com a imobilidade de ambos os componentes no nível macroscópico ao apontar as diferenças entre os domínios comparados.

Subsequentemente, o suco em pó foi apresentado a S1, que foi solicitado a descrever o suco e a prever o que ocorreria quando ele fosse adicionado à água.

**S1:** *Pozinho, ele é pó... deixa eu ver... Ele não é maciço, né?! (Observa um pouco do suco sobre a mesa). As moléculas são pedacinhos muito pequenos. Rosa? Rosa... roxo.*

**P:** *E o que você acha que vai ocorrer quando colocarmos o suco na água?*

**S1:** *As moléculas da água, como vão ser maior que as do suco... Vai ter mais pressão da água porque elas são maiores que as do suco; elas vão englobar (gesto com uma mão aberta envolvendo a outra fechada – figuras 7.3a e 7.3b) as moléculas do suco, fazendo com que mude de cor e a água não fique com a mesma substância química que ela tinha. Vai ter que incrementar a este (aponta os grãos sobre a mesa), englobando ele.*

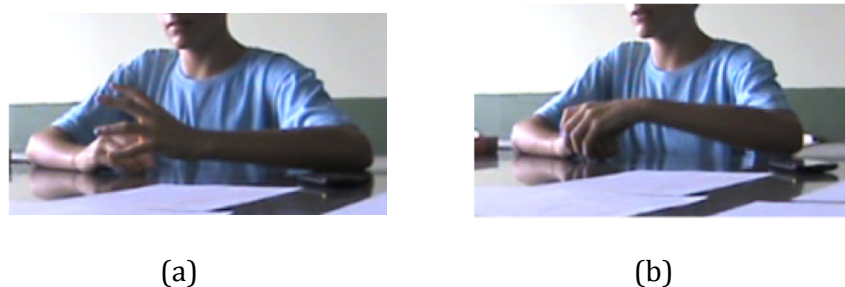


Figura 7.3. Representação gestual do processo de “englobamento” das “moléculas” do suco pelas de água elaborada por S1.

Como S1 associava as partículas de suco aos grãos que ele observava sobre a mesa, essa matéria não foi descrita por ele a partir das mesmas características que foram utilizadas inicialmente para descrever o giz. Ao contrário, ele a caracterizou como não “maciça”, provavelmente devido ao espaçamento de suas unidades. Tal fato parece justificar sua dificuldade (e de outros sujeitos como S2 e S3, discutidas nos estudos de caso 2 e 3) de reconhecer essa matéria como sólida, conforme evidenciado na citação posterior.

A dissolução do suco em água prevista foi descrita como um processo de englobamento das partículas-grão pelas partículas-gota, sendo estas maiores do que aquelas e, portanto, capazes de exercer uma maior pressão. O resultado desse processo seria a mudança de cor da água ocasionada formação de uma nova substância, o suco, devido à transmutação das partículas anteriores (**EER reação meso**). Um papel dinâmico foi atribuído às partículas da água nesta previsão que, como no caso do sistema ‘giz e água’, parece evidenciar que S1 concebia essas partículas como dotadas de movimento, ao contrário das partículas-grãos do suco.

Vemos aqui a nítida influência da percepção na elaboração de uma explicação para um processo comumente observado pelos sujeitos. As evidências macroscópicas de que as gotas de água são maiores do que os grãos de suco, de que estes desaparecerem do seu campo visual e de que a mistura resultante apresenta uma coloração próxima a dos grãos individualmente, foram suficientes para que S1 previsse o processo como um “englobamento” ao tentar raciocinar no nível submicroscópico.

Após a observação da mistura dos componentes, S1 utilizou os mesmos argumentos anteriores na descrição do processo e, ao ser solicitado a estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado e afirmou não ter notado nada de diferente. No entanto, ele acrescentou a informação de que a mistura continuava “na forma líquida”, ideia que ele desenvolveu em momentos posteriores da entrevista, afirmando que ocorreria uma “fusão”. Esta expressão utilizada por ele pode ser interpretada como uma mudança de estado físico da partícula-grão englobada pela partícula-gota, que daria origem ao suco (**EER reação meso**).

Durante a elaboração de uma explicação para suas observações, S1 declarou que sua dificuldade em caracterizar o suco em pó como sólido se devia à pouca semelhança que este apresentava com o gelo, tomado por ele como um padrão para a matéria no estado sólido. Isso evidencia que a baixa granulometria do material pode levar o sujeito a supor um estado particular para matéria em pó. A citação a seguir ilustra essa dificuldade do aluno, bem como suas explicações para o processo de dissolução do suco.

**S1:** *Aqui são as moléculas de água (aponta para a representação das moléculas de água antes da mistura – parte superior da figura 7.4a) que não estão juntas e nem tão separadas. Se elas estivessem juntas (repete o gesto da figura 7.1) ia estar no estado sólido e se fossem separadas ia estar no estado gasoso. E no suco é a mesma coisa.*

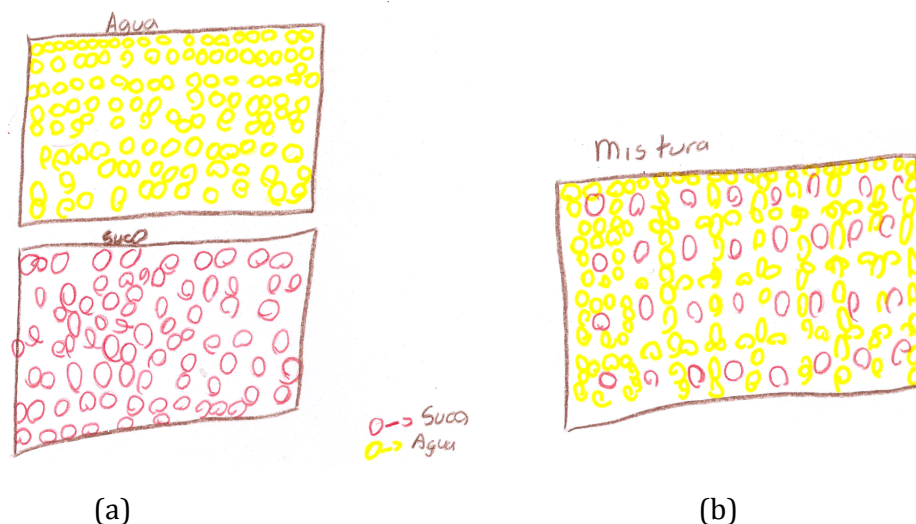


Figura 7.4. Representação dos componentes do sistema ‘suco e água’ antes (a) e após (b) a mistura elaborada por S1.

**P:** *O suco está em qual estado?*

NILMARA BRAGA MOZZER

**S1:** *Ele não é gasoso, nem líquido, nem... Não sei... O suco, o pozinho do suco... eu não sei o estado que ele está. Quer ver?! (Pega alguns grãos do suco e esfrega entre os dedos) Estado... sólido. Sólido, não é?*

**P:** *Quais os estados físicos da matéria que vocês já estudaram?*

**S1:** *Sólido, líquido e gasoso.*

**P:** *E você acha que o suco em pó poderia ser classificado em um desses estados?*

**S1:** *Sólido! É que eu pensei no gelo, aí eu confundi.*

**P:** *Me explica isso melhor.*

**S1:** *Pensei no gelo e pensei na água, e aí eu pensei nisso aqui (aponta para o suco em pó sobre a mesa). Aí misturou tudo! Isso aqui (aponta novamente para o suco em pó)... eles (gelo e água líquida) não têm nada disso; nada de nenhum dos dois. Aí misturou minha cabeça toda.*

(...)

**P:** *Antes de você continuar sua explicação sobre o que ocorreu durante a mistura, descreva o suco no nível submicroscópico pra mim.*

**S1:** *Eu errei (se refere à representação da parte inferior da figura 7.4a): as partículas do suco são juntinhas (repete o gesto da figura 7.1), não tem espaço nenhum entre elas (se refere às partículas nos grãos). E elas, na hora de se misturarem, como aqui é maior (aponta para o recipiente contendo água)... Como eu vou dizer?... Como a quantidade da água é maior que do suco posto, as moléculas da água vão englobar estas do suco (aponta para a figura 7.4b), transformando também em água, modificando as substâncias, fazendo com que ele mude a cor, continuando no estado normal (aponta para o sistema 'suco e água' e parece se referir à permanência do estado líquido após a mistura).*

**P:** *Como você entende esse "englobar"?*

**S1:** *Já que possui mais moléculas de água, eu acho que essas moléculas de água... pra eles ficarem misturados e não separados igual óleo e água, elas (as moléculas de água) vão englobar as de suco pra ficar num estado só. (...) Tipo camuflar, vamos supor que isso é uma molécula de água (mostra dois lápis amarelos) e a molécula de suco (um lápis verde). Pra não ficar vagando fora e não ter essa separação igual óleo e água, vai englobar ela (coloca o lápis verde entre os dois amarelos como na figura 7.5) pra ficar no mesmo estado sempre.*

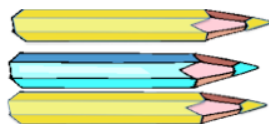


Figura 7.5. Representação para explicar o processo de "englobamento" das partículas de suco pelas de água elaborada por S1.

**P:** *E por que ocorre esse "englobamento"?*

**S1:** *As diferentes... Como eu vou explicar?... As diferentes substâncias químicas deles vão se atra... vão se misturar. Eles (água e suco) tem substâncias químicas que podem se misturar e água e óleo não tem essas substâncias químicas. As deles (óleo e água) não tem essa tendência.*

É interessante notar que, apesar de parecer dar indícios de uma reformulação inicial da representação dos grãos de suco (considerando-as como constituídas por unidades menores), o fato de ainda não conceber a existência de espaços entre estas unidades (são “juntinhas”; “*não tem espaço nenhum entre elas*”) fez com que S1 continuasse a considerar a partícula-grão como a unidade formadora da matéria suco. Essa consideração se deve ao fato de que S1 manteve sua explicação para o processo de dissolução como o “englobamento” das partículas-grão pelas partículas-gota.

Expressões como “*transformando também em água*” e “*continuando no estado normal*” utilizadas por S1 também nos fornecem evidências de que ele concebia a formação da “nova substância” suco como a aproximação de partículas de substâncias com certa “afinidade” umas pelas outras (tendência combinatória) e passagem do grão sólido para líquido no interior da gota. Isso geraria a “partícula líquida de suco”, na qual as duas espécies já não se distinguiriam mais (**EER reação meso**).

Essas explicações contrastam com sua representação para a mistura (figura 7.4b), a qual se assemelha ao modelo curricular para o processo de solvatação<sup>59</sup> largamente difundido em livros didáticos e nas aulas de Química. De acordo com S1, o destino de cada partícula-pó englobada seria sua fusão e a formação, com as partículas-gota, das partículas de suco. Isso pode evidenciar o distanciamento entre a representação mental do sujeito e a maneira como ele a expressa.

A pedido da pesquisadora, S1 elaborou uma comparação para explicar o comportamento do sistema no nível submicroscópico:

**S1:** *Acho que as partículas vão misturar, vão se unir, como, por exemplo... deixa eu fazer um exemplo, H<sub>2</sub>O mais nitrogênio vai dar H<sub>2</sub>ON. As moléculas vão tipo se unir como as de suco e água, formando a partícula de suco.*

Neste momento da entrevista, para facilitar a identificação das correspondências estabelecidas por S1, a pesquisadora lhe solicitou que elaborasse uma representação para a comparação entre a mistura suco e água e a reação hipotética entre a água e o nitrogênio. Ele fez o desenho da figura 7.6 e o explicou.

---

<sup>59</sup> Na dissolução de solutos iônicos ou moleculares, suas partículas ficam rodeadas pelas de solvente.

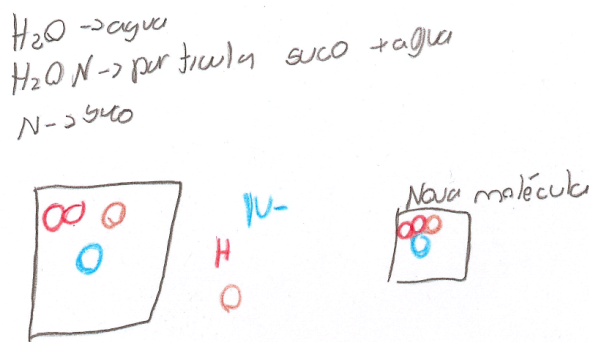


Figura 7.6. Representação da comparação da dissolução do suco com uma reação hipotética elaborada por S1.

**P:** Me explica melhor isso.

**S1:** Porque existem moléculas de nitrogênio, e de oxigênio e hidrogênio (se refere à molécula de água). Aí eles se uniram para formar uma nova molécula ( $H_2ON$ ), como o suco uniu com a água, porque elas se combinam.

**P:** E quais seriam as diferenças?

**S1:** No suco e na água, as moléculas de água atraíram as de suco para o centro e englobaram ela para que ela não fique separada igual a água e o óleo, como eu te falei. Aí, foi tipo uma fusão. O pó do suco fundiu na água e isso não aconteceu no  $H_2ON$ , que só juntaram.

Apesar de mencionar a atração entre a partícula-gota e o grão de suco, S1 parecia ainda não compreendê-la como uma interação eletrostática, uma vez que em nenhum momento fez menção a cargas elétricas. Em suas explicações sobre o processo de englobamento, essa expressão estava sempre associada ao fato de as partículas-gota envolverem a partícula-pó do suco em seu interior por uma espécie de tendência combinatória (“afinidade”) entre elas, inexistente entre as partículas de água e o óleo.

S1 elaborou uma comparação de mera aparência, através da qual colocou em correspondência as moléculas de água, representadas por  $H_2O$  com as partículas-gota, as partículas do suco com as “moléculas” de nitrogênio e as novas “partículas de suco” resultantes do englobamento das partículas-pó pelas das partículas-gota com as novas moléculas  $H_2ON$ , também resultantes de uma união física (**EER reação meso**).

Apesar de tentar relacionar processos que S1 julgava similares quanto à formação de uma nova substância, a comparação elaborada foi de mera aparência, pois o que determinou a identificação dessa suposta similaridade entre os domínios foram observações macroscópicas atreladas à percepção, como o desaparecimento do pó e a mudança de cor da água. Isso se torna ainda mais evidente na explicitação

proposta por S1 para as diferenças entre os domínios (quando ele afirma que o englobamento que ocorreria na mistura entre suco e água não ocorreria na reação hipotética). Portanto, o domínio análogo “reação” foi criado por ele para se adequar às suas explicações atreladas à percepção.

Solicitado pela pesquisadora a representar a matéria nos três estados físicos diferentes em que ela comumente se apresenta, S1 representou primeiramente a água (figura 7.7a) e, após as discussões subsequentes, o giz (figura 7.7b). A citação a seguir ilustra essas discussões.

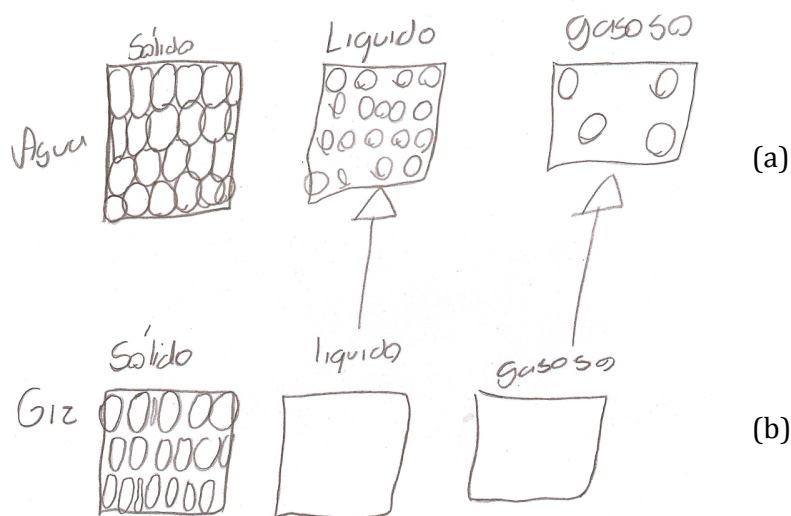


Figura 7.7. Representação da água (a) e do giz (b) nos estados sólido, líquido e gasoso elaborada por S1.

**P:** *Aqui (aponta para a figura 7.7a) você representou a mesma substância?*

**S1:** *Sim, a água.*

**P:** *Quando a água muda de estado físico, suas partículas variam de tamanho?*

**S1:** *Não, mas... deixa eu pensar aqui como eu posso te explicar... Elas se afastam ou se aproximam devido ao estado. Aqui eu não pensei no tamanho na hora de representar; é tudo do mesmo tamanho.*

**P:** *E o que você pode me dizer sobre o movimento das partículas da água em cada um desses três estados (aponta para a figura 7.7a)?*

**S1:** *Elas só vibram no sólido, movimentam um pouco no líquido e muito no gasoso.*

**P:** *Então, existe movimento das partículas no sólido?*

**S1:** *Tem! Mas é pouco.*

**P:** *Outra coisa: esse pozinho que vemos do giz seria a partícula dele?*

**S1:** *Acho que seria.*

**P:** *O nível submicroscópico é o nível em que representamos partículas muito, muito pequenas, que nós não podemos enxergar. Mas imagine que isso fosse possível. Imagine que você é capaz de enxergar o suco com a visão de raios X do*

NILMARA BRAGA MOZZER

*Super-homem que permite que você veja essas partículas invisíveis. Como você imagina que elas estariam?*

**S1:** *Então, eu acho que eu ia ver várias moléculas coladas, formando o pozinho, porque é sólido, né?!*

**P:** *Existe espaço entre elas?*

**S1:** *Não.*

**P:** *Você me disse que o giz é sólido e que havia ar entre as partículas dele e que a água entrou ali e expulsou o ar, como aqui (aponta para a figura 7.2b). Não é mesmo?*

**S1:** *Isso.*

**P:** *E por que as partículas do giz não se afastaram como as de suco (aponta para a figura 7.4b)?*

**S1:** *Porque o giz continuou sólido e pra ele ficar sólido as moléculas dele têm que estar bem juntas (repete o gesto da figura 7.1). Pode ser até que tenha uns espacinhos entre elas para o ar entrar e depois a água (representa o giz – figura 7.7b), mas bem pequenininhos!*

**P:** *Mas se a água consegue entrar entre cada uma das partículas de giz, o que ocorre com elas?*

**S1:** *Elas iam afastar das outras... É, mas só que aí ia dissolver... Ai, difícil!*

**P:** *E dissolve?*

**S1:** *Não!*

**P:** *Então, como você poderia me explicar isso?*

**S1:** *Só se eu fizer assim oh (elabora a representação da figura 7.8): se eu colocar elas (partículas de giz) aqui coladas (três bolinhas de isopor do mesmo tamanho na parte inferior da figura 7.8), porque aí elas não iam separar, iam continuar aqui quietinhas e as moléculas de água iam ocupar um lugar perto delas e não no meio elas (dois conjuntos de bolas de isopor de tamanhos diferentes na parte superior da figura 7.8).*

**P:** *E no macroscópico, no nível que você pode observar, que lugar a água ocupa quando colocamos o giz nela?*

**S1:** *Esses buraquinhos aqui oh (aponta para os pequenos poros do giz).*

**P:** *Você poderia relacionar esses buraquinhos com sua representação no submicro?*

**S1:** *Uai, são esses lugares aqui (aponta para os conjuntos de bolinhas de isopor na parte superior da figura 7.8) onde eu coloquei a água, né?!*



Figura 7.8. Representação do sistema 'giz e água' elaborada por S1.

Na representação para os três estados físicos da matéria, S1 os diferencia apenas quanto ao espaço entre as partículas, sem nada mencionar sobre o movimento daquelas. Ciente destas e de outras defasagens nas representações de S1 (como os níveis de representação macroscópico e mesoscópico a partir dos quais ele raciocinava), a pesquisadora deu prosseguimento à atividade, recapitulando seus conhecimentos escolares sobre o movimento entre as partículas nos diferentes estados físicos da matéria e incentivando a etapa de reformulação dos modelos com o auxílio do recurso imaginativo que ela chamou de “visão de raios X do Super-homem”.

Nesta fase, S1 passou a dar indícios de considerações no nível submicroscópico. Como evidencia a citação anterior, ele, por exemplo, começou a utilizar o termo “molécula” agora para designar as partículas do giz (e não mais o pó) e passou a representar a água como H<sub>2</sub>O. Apesar de S1 já ter feito referência a essa representação anteriormente, ele se valia da ideia de partículas-gota para explicar o processo de dissolução.

Além disso, as partículas dos “pozinhos” de giz foram representadas como grupos de “moléculas coladas” umas nas outras, com os espaços entre os grupos sendo preenchidos por ar. Ao mergulhar o giz em água, as moléculas desta se dispunham naqueles espaços, substituindo o ar, mas eram incapazes de desagregar as “moléculas coladas” e imóveis do giz (**EER união física submicro**).

Atendendo à solicitação da pesquisadora para elaborar uma comparação para o processo levando em consideração os aspectos discutidos, S1 foi capaz de reformular sua comparação anterior de forma a atentar para certos aspectos submicroscópicos de suas novas representações. Isso pode ser notado através da citação a seguir:

**P:** *E você poderia elaborar uma comparação pensando no nível submicroscópico para explicar isso?*

**S1:** *Eu acho que aquela do carro que eu elaborei explica.*

**P:** *Quando você pensou no carro, estava pensando no giz ou nas partículas dele?*

**S1:** *No giz.*

**P:** *Então, de acordo com o que nós discutimos, esta seria uma representação macro ou submicro dele?*

**S1:** *Macro, mas... vamos supor se o giz é sólido e tem espaço dentro dele, tem espaços pequenos entre algumas partículas para que entre o ar; o carro, vamos supor... os vidros, as portas abertas, os lugares entre as coisas são os espaços. As pessoas vão conseguir entrar igual as moléculas de água, porque a água entrou e tirou o ar que tinha entre os grupos das partículas do giz; e as pessoas entrando dentro do carro vão conseguir tirar o ar de dentro dele. (...) As partículas do giz*

NILMARA BRAGA MOZZER

*seriam os bancos, o volante, a marcha... as portas, o porta-malas e o ar está infiltrado entre eles.*

**P:** *Quais são as semelhanças?*

**S1:** *As partes do carro estão conectadas como as partículas do giz, mas tem uns espaços e a água e as pessoas entram aí e expulsam o ar nos dois, mas não conseguem separar as partes.*

**P:** *E as diferenças?*

**S1:** *No carro: as partes, o volante, a marcha e tal são diferentes cada um do outro e os grupinhos do giz, as partículas, são iguais, são do mesmo material. As partes do carro, não; é tudo diferente.*

S1 elaborou uma similaridade literal. Ele colocou em correspondência os grupos de partículas do giz e as diferentes partes do carro; as pessoas e as moléculas de água; e os espaços preenchidos de ar em ambos os domínios. Ele também relacionou o papel da água e das pessoas e a não desagregação das partes do giz e do carro, bem como a ocupação de um espaço anteriormente preenchido pelo ar pelo componente móvel. Na identificação das semelhanças, S1 forneceu mais uma evidência de que considerava que as partículas do giz se encontram em contato físico umas com as outras ao mapear essa propriedade descritiva às partes “conectadas” do carro (**EER união física submicro**).

Outra importante informação que ele nos forneceu na identificação das diferenças é o fato de considerar que as partículas constituintes do giz são iguais entre si. Esse é um aspecto estrutural nem sempre destacado pelos sujeitos e que pode indicar uma evolução no raciocínio analógico de S1.

Para iniciar a revisão das representações do sistema ‘suco e água’, a pesquisadora recordou alguns dos conceitos que haviam sido discutidos nas aulas de ciências de S1, acrescentando novas informações sobre o sistema em discussão, de forma a tentar auxiliá-lo na reformulação de seu modelo.

**P:** *E o que são fenômenos físicos?*

**S1:** *Fenômeno físico é que não muda o componente, né?! Por exemplo, mistura mas não muda o seu componente físico, sua fórmula química.*

**P:** *Me dá um exemplo.*

**S1:** *Tipo CO<sub>2</sub> com oxigênio. O CO<sub>2</sub> tipo que engloba o oxigênio, mas continua CO<sub>2</sub>, não vira outra coisa.*

**P:** *E se eu te disser que se a gente fizesse uma destilação da mistura de suco e água, íamos conseguir recuperar o suco separado da água, o que você poderia concluir sobre isso?*

**S1:** *Se consegue separar, então, é que englobou o pó do suco, mas não alterou o reagente da água.*

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** *E nessa comparação que você representou aqui (aponta para a figura 7.6), alterou o reagente da água ou ele manteve sua fórmula química?*

**S1:** *Alterou a fórmula... Nossa, eu confundi tudo! Não pode não. Eu acho que isso aqui está errado.*

**P:** *Por que você acha isso?*

**S1:** *Porque se separa, não altera a fórmula química da água, só tem água junto com suco.*

**P:** *E qual é a fórmula química da água?*

**S1:** *H<sub>2</sub>O.*

**P:** *E o que significa isso?*

**S1:** *Hidrogênio, hidrogênio e um de oxigênio na molécula de água.*

**P:** *Imaginando aquela visão de raio-X do Super-homem para representar no nível submicroscópico, em uma gota de água, você teria um desse H<sub>2</sub>O ou vários?*

**S1:** *Vários.*

**P:** *E se você imaginasse isso daqui (aponta para o grão de suco sobre a mesa) da mesma maneira, com essa visão especial?*

**S1:** *La ter várias moléculas de suco também.*

**P:** *Se ainda continuarmos a imaginar no submicroscópico, quando o suco fosse despejado na água, o que você imagina que veria?*

**S1:** *As moléculas da água do lado das de suco... Assim encostadas, porque não dá para englobar como eu estava pensando. A única maneira de continuar tendo as duas é encostar, sem englobar.*

**P:** *Me explica isso melhor.*

**S1:** *Agora eu estou pensando que elas ficariam assim juntas, encostadas uma na outra, mas também separadas; sem uma entrar dentro da outra e virar uma só. Agora eu estou pensando que englobar é ficar em volta mesmo, assim oh (coloca três bolas de isopor grandes sobre a mesa, para representar as partículas de água e uma bola menor no centro, para representar a partícula de suco e as encosta umas nas outras – figuras 7.9a e 7.9b), mas ia parar aqui, sem depois virar uma partícula só. Elas vão se unir, mas não vão formar nova substância. Se tomar água e o suco você vai sentir o gosto da água, então, não é uma nova substância.*



(a)



(b)

Figura 7.9. Representação reformulada da dissolução como união física entre as partículas de água e de suco elaborada por S1.

**P:** *Então, você imagina que as partículas de água ficam em volta das do suco?*

**S1:** *Isso.*

**P:** *O que ocorreria com cada grãozinho de suco, pensando no submicro?*

**S1:** *As partículas dele, que são muitas, iam ter que separar e iam ficar unidas com as de água em volta. Tipo assim oh (aponta para a figura 7.4b), só que juntas, não formando uma nova substância igual eu pensava aqui (aponta novamente para a figura 7.4b), mas se misturando...*

As considerações da informação sobre a separação dos componentes da mistura através da destilação e a re-representação das partículas de suco e água como unidades submicroscópicas contribuíram para que S1 reformulasse sua representação do processo considerando também a ideia de união física entre as partículas de água e de suco. Com relação ao processo, ao ser questionado sobre o que ocorreria com cada um dos grãos do suco, S1 acrescentou ao seu modelo a ideia de dispersão das partículas submicroscópicas unidas nos grãos, no solvente (**EER união física submicro**).

A comparação por ele elaborada também nos dá indícios dessas considerações, como pode ser observado na citação a seguir.

**S1:** *Oh eu vou fazer uma comparação absurda, eu acabei de ter uma ideia aqui. Vou pensar em um bar, um bar que possui seguranças e pessoas normais. Vamos supor que os seguranças estão lá de fora juntos e todo mundo lá dentro do bar. Vamos supor que os seguranças são as partículas do suco e os clientes são as partículas da água. Quando os seguranças estão infiltrando dentro da área para vigiar o local, eles estão fazendo a mesma coisa que o suco e a água fizeram: eles vão estar se separando e se misturando; eles vão estar se inserindo entre as pessoas, ficando bem perto delas.*

**P:** *E quais são as semelhanças?*

**S1:** *Semelhança: as duas vão se unir. Por exemplo: o segurança vai unir com as pessoas, ficando perto delas para tomar conta e o suco vai se unir com a água. São mais partículas de água e são mais pessoas no bar e são menos partículas de suco e menos seguranças.*

**P:** *E as diferenças?*

**S1:** *Diferença é que... o tamanho... não, o número de partículas de água que possui aqui não vai ser igual o número de pessoas que vai ter lá. É tipo uma... eu não estou sabendo explicar... Vai ter mais pessoas pra bem menos seguranças e aqui vai ter, mais água, pra mais suco também se a gente comparar os dois. Vamos supor, se a gente for fazer razão entre as partículas de água e as de suco, aqui vai ser menor do que a razão entre as pessoas e os seguranças, entendeu?*

S1 mobilizou novamente o **EER união física submicro** na elaboração da similaridade literal, em que relacionou a dispersão dos seguranças entre as pessoas no bar à dispersão das partículas do suco entre as de água. E, mais uma vez, ele mapeou a

propriedade descritiva da união física entre as partículas afins do soluto e solvente para a disposição dos seguranças “*bem perto*” das pessoas, no exercício de sua função.

Ele comparou qualitativamente o volume de água e a quantidade de pessoas em relação o volume de suco e a quantidade de seguranças, identificando como uma semelhança entre os sistemas a maior quantidade dos primeiros elementos em relação aos segundos. Por outro lado, ele identificou como diferença entre os domínios comparados a menor razão entre o número de partículas de água e de suco em comparação com uma maior razão que entre número de pessoas e seguranças. Desconsiderando o fato de a proporcionalidade estabelecida no segundo caso estar correta, essa diferenciação entre relações envolvendo aspectos unicamente macroscópicos (como aspectos quantitativos dos componentes dos sistemas, no primeiro caso) e relações envolvendo aspectos unicamente submicroscópicos, (como o número de partículas dos componentes, no segundo caso), pode também ser indicativo de uma evolução na compreensão dos diferentes níveis de representação.

Na Atividade 3 (Anexo 2), após a observação da mistura de suco e água sem agitação e os questionamentos da pesquisadora, S1 expressou, pela primeira vez, a ideia de interação eletrostática entre as partículas.

**P:** *O que aconteceu aqui?*

**S1:** *As partículas debaixo já uniram muito... Vamos supor que esse líquido aqui de cima está menos poluído entre aspas. Está menos... não uniu com tantas partículas do suco. Então, para que não fique esse preto aqui embaixo, elas (partículas de suco e água) vão unir pra se igualar com as de baixo.*

**P:** *Entendi. E como isso acontece?*

**S1:** *Elas estão se movendo, as partículas de suco e de água. Aí, quando o suco vai passando entre as partículas de água, pra eles não ficarem sem fazer nada... igual eu te expliquei: pra não ficar igual água e óleo, por exemplo, que se separam porque as partículas deles não combinam, as partículas de água e suco unem. Então, cada vez que eles vão descendo e subindo, as partículas de água vão unindo, juntando com as de suco. E aí, fica dessa cor.*

**P:** *Observe essa mistura que preparamos ontem. As partículas de suco que se uniram com as de água, depois de todo esse tempo que nós deixamos isso aqui, desceram para o fundo do frasco?*

**S1:** *Não.*

**P:** *E por que você acha que isso aconteceu?*

**S1:** *Eu achava que depois de um tempo elas iam descer, mas, realmente, não desceram. Deixa eu pensar... Acho que é porque as partículas já se juntaram, então não tem como elas se separarem.*

**P:** *O que mantém essas partículas assim, como você disse, juntas?*

**S1:** *Acho que, então, elas devem ficar tipo que atraídas para uma não deixar a outra (partícula de suco) ir para o fundo.*

**P:** *Me explica melhor essa atração.*

**S1:** *Porque elas têm os elétrons e os prótons, não é?!*

**P:** *Como assim?*

**S1:** *Porque as partículas têm prótons e elétrons e eles têm cargas opostas e cargas opostas se atraem. Pode ser que uma partícula, vamos supor a de suco tem mais prótons do que elétrons e a da água mais elétrons, aí atrai.*

Ao contrário da ideia atrelada a uma representação macroscópica de sistema em repouso, mencionada na primeira comparação entre o carro e as pessoas, S1 afirmou, neste momento da entrevista, que as partículas se encontravam em movimento. Apesar disso, ele parecia ainda conceber a união como uma interação física entre as partículas como demonstra o início da citação. A conjectura da existência de atração só foi expressa após o questionamento da pesquisadora sobre o fato de as partículas do soluto não terem decantado com o tempo.

Solicitado a precisar como entendia essa atração, S1 foi capaz de se remeter ao seu conhecimento sobre partículas carregadas. No entanto, ele supunha que um excesso de cargas positivas e negativas nas partículas de suco e água seria necessário para que atração pudesse acontecer (**EER interação submicro**).

Dando sequência à Atividade 3, a pesquisadora pediu a S1 que elaborasse uma comparação para explicar o processo a partir dessas discussões. Ele elaborou uma analogia, mobilizando novamente o **EER interação submicro**. Nessa comparação, S1 foi capaz de relacionar a atração existente em ambos os sistemas e de diferenciar as naturezas dessas atrações, como pode ser constatado na citação a seguir:

**S1:** *Igual um homem e uma mulher que sentem atração um pelo outro e passam a namorar, as partículas de suco e de água se atraem.*

**P:** *Quais são as semelhanças e as diferenças nesta comparação?*

**S1:** *As semelhanças é a atração que existe nos dois e a diferença é que as pessoas sentem a atração; elas olham e sentem atração. E na água e no suco são os prótons e os elétrons que fazem atrair.*

A pesquisadora, então, retomou a última representação de S1 para o processo de dissolução do suco em água com o objetivo de discutir aspectos que ela considerou pouco esclarecedores ou que apresentavam concepções pouco coerentes com o modelo curricular.

**P:** *Você me disse que as partículas do suco se separam quando colocadas na água, mas isso não apareceu aqui (se refere às representações das figuras 7.9a e 7.9b). Poderia representar isso para eu entender melhor?*

**S1:** *Era assim oh: as de água H<sub>2</sub>O (figura 7.10a) e as de suco (figura 7.10b). Vamos supor que ficou assim (elabora o modelo da figura 7.10c), as duas de*

*água e as de suco. As de suco se separaram, porque tinha muitas moléculas de água e cada uma atraía as de suco de um lugar diferente. As moléculas de água vão estar em volta, mas não unidas, só atraindo.*

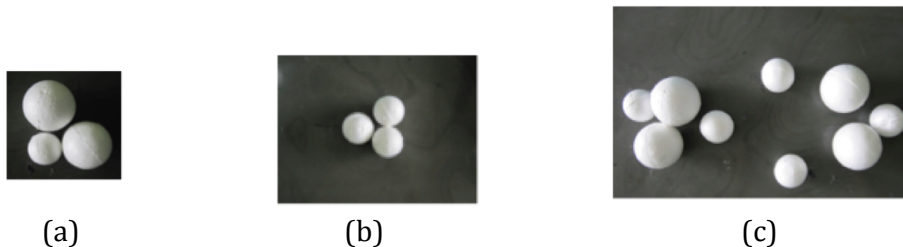


Figura 7.10. Representação reformulada da água (a) e do suco (b) antes da mistura e após a mistura (c) elaborada por S1.

**P:** *Quando a gente representa a partícula da água como  $H_2O$ , estamos falando de um átomo só ou de um grupo de átomos?*

**S1:** *De um grupo: dois hidrogênios e um oxigênio.*

**P:** *E no caso da partícula de suco?*

**S1:** *Acho que é a mesma coisa, só que eu não sei o que tem lá (se refere aos tipos de átomos) e nem quanto que tem. Aí eu coloquei uma bolinha, porque não sei a forma (parecia querer dizer “a fórmula”).*

**P:** *Isso não tem problema, era só para eu entender. Você me disse que as partículas de água atraem as de suco. Essa atração é uma atração entre os dois, a água atrai o suco e o suco atrai a água, ou é um que atrai e o outro que é atraído?*

**S1:** *Não. As de suco também podem atrair as de água, porque elas também têm carga, então são os dois que atraem. É porque eu estava pensando no suco que tinha muito embaixo e foi subindo e misturando com a água. Mas ele também pode ter mais prótons ou mais elétrons nas suas partículas, então também pode atrair.*

**P:** *Outra coisa: se a gente pensar no modelo do atômico de Bohr, como a gente discutiu no início, o átomo seria representado como uma esferinha assim oh (aponta para uma bolinha de isopor), com essa delimitação aqui (aponta para a superfície da bolinha)?*

**S1:** *Não!*

**P:** *Mas, se não tem essa delimitação como é que faz para as partículas ficarem coladas no estado sólido como você representou aqui (aponta para a representação da figura 7.10b)?*

**S1:** *Não! Aqui existe um espacinho entre elas. Bem pequeno, mas tem!*

**P:** *Mas se tem esse espacinho, por que as partículas do suco, que você disse que têm no grão, não se separam todas antes da gente colocar na água (aponta novamente para a representação da figura 7.10b)?*

**S1:** *É porque elas estão atraídas.*

**P:** *E nesse espacinho, existe algo ali preenchendo ele?*

**S1:** *Não, nada. O ar é que está em volta do grão, mas lá dentro não.*

S1 explicou a dissolução do suco em água como uma interação entre partículas dotadas de carga por meio de sua representação da figura 7.10, mobilizando, como anteriormente, o **EER interação submicro**. Os esclarecimentos prestados sobre a representação da matéria no estado sólido e sobre a constituição das partículas dotadas de cargas parecem ter contribuído para que ele formalizasse essas ideias e refletisse sobre o caráter mútuo da interação eletrostática e sobre o fato de essa interação ser exercida à distância.

Na sequência, a discussão passou a ser direcionada no sentido de diferenciar as intensidades das interações entre as partículas e de contrastar os dois sistemas observados.

**P:** *Existem algumas atrações mais fortes e outras mais fracas. Comparando as intensidades das atrações que existem entre as partículas suco-suco e suco-água, qual que seria mais intensa?*

**S1:** *Suco-água. (...) Porque ela está fazendo o suco se espalhar e juntar com a água; atrair com ela.*

**P:** *E pensando nesta atração só que agora comparando a das partículas água-água e suco-água, qual você acha que é mais intensa?*

**S1:** *Foi maior a da partícula do suco e da água de novo; é maior que da água com a água, por causa daquilo que eu falei antes. Senão as de suco e água não iam se juntar.*

**P:** *E continuando esse raciocínio, como você compararia a intensidade das atrações entre as partículas giz-giz e água-giz? Qual que é a interação mais forte?*

**S1:** *Giz-giz.*

**P:** *Por quê?*

**S1:** *Porque elas continuaram juntas. Elas não se atraíram com as da água.*

**P:** *E pensando na água-água e na água-giz, qual que é a interação mais intensa?*

**S1:** *Água-água.*

Em seguida, S1 reformulou sua comparação da interação sentimental entre pessoas, quando solicitado pela pesquisadora a utilizá-la na tentativa de tornar mais claro os novos aspectos considerados em sua representação do comportamento dos sistemas observados.

**P:** *E a partir das suas comparações anteriores, você conseguiria me explicar isso?*

**S1:** *Vamos supor que tem duas famílias, cada família tem um filho e eles namoram. Quando eles namoram, a atração que eles sentem é muito maior que a atração que eles sentem pela família. Vamos supor que eles dão muito mais valor para eles mesmos que a própria família.*

**P:** *Entendi. E o que isso vai ter de semelhante ao que a gente discutiu e de diferente?*

NILMARA BRAGA MOZZER

**S1:** *Por exemplo esse filho vai ter atração pela família, mas nem tanto quanto ele vai ter com a outra pessoa (a namorada). E esta outra pessoa vai ter atração pela família, mas nem tanto que ela tem com o namorado.*

**P:** *Entendi. E a semelhança disso com o sistema que a gente discutiu?*

**S1:** *Vamos supor um homem e uma mulher, né?! A atração do homem com a sua família é a da água com a água e a atração da mulher com a sua família é a do suco com o suco, e atração dos dois é a atração do suco com a água, mais forte que as outras.*

**P:** *E as diferenças?*

**S1:** *As pessoas se gostam por causa do que elas sentem uma pela outra e as partículas por causa da atração dos elétrons e prótons que têm cargas diferentes. (...) E outra diferença é que cada uma famílias também pode se unir, as outras pessoas das famílias podem se unir, mas não vai ter a mesma atração que os namorados. E aqui (aponta para o sistema 'suco e água') a atração entre uma partícula de suco e outra de água é a mesma e não importa qual.*

(...)

**S1:** *Para o giz a gente pode pensar a mesma coisa, as duas famílias, mas vamos supor em vez de namorados, os primos. A atração deles com a família é muito maior do que a atração entre eles. A força de atração entre pai e filho é muito maior que a força de atração entre os primos.*

**P:** *E o que seria semelhante e o que seria diferente?*

**S1:** *Semelhante é que as partículas do giz seriam uma das família mais unidas e as da água a outra família mais unida entre eles também. A diferença é que... igual na outra, os dois primos podem se unir e a partícula da água e do giz não se unem e que a atração nas famílias é de sentimentos e das partículas é de cargas.*

Nessas analogias, as intensidades relativas das interações entre as partículas de soluto e solvente foram comparadas às interações afetivas de namorados provenientes de famílias diferentes (para o sistema 'suco e água') e de primos de famílias diferentes (para o sistema 'giz e água'). Além disso, ele foi capaz de identificar duas diferenças: a natureza das interações nos dois domínios (elétrica, no primeiro caso e sentimental, no segundo); as possibilidades de interações entre as outras pessoas no domínio análogo (das famílias dos namorados, na primeira comparação e entre os primos, na segunda) com relação às interações entre as partículas de soluto e solvente no domínio alvo (**EER interação submicro**).

Na Atividade 4 (Anexo 2), S1 foi capaz de generalizar o **EER interação submicro** para explicar situações identificadas por ele como análogas aos processos observados: a não dissolução do óleo em água e a dissolução de vinagre em água, sem no entanto, valer-se de suas analogias.

As citações de trechos das respostas escritas de S1 ilustram as ideias centrais de suas explicações:

“A força de atração entre as partículas de água e óleo é muito pequena, por isso, elas não se interagem. As forças de atração água-água e óleo-óleo são maiores que a força de atração água-óleo.”

*“A força de atração entre as partículas de água e vinagre é grande e a força de atração vinagre-vinagre e água-água é muito menor. Por isso, dissolve.”*

Ao logo de todas as atividades, em interação com a pesquisadora, S1 realizou uma série de pequenas reformulações em suas representações. Esse processo é semelhante aos micro ciclos GEM – geração, avaliação e modificação – propostos por Clement (1989, 2008d) e consonante com a visão de uma transformação gradual no conhecimento do sujeito, com modificação de elementos de seu modelo prévio, que contrasta com a visão de mudança conceitual como um processo de remoção e substituição completa do conhecimento prévio do sujeito. Tal processo fundamentou todas as atividades de modelagem realizadas com S1 e com os demais sujeitos neste trabalho.

A partir dos dados deste estudo de caso, foi elaborado o quadro 7.1. Ele contém alguns dos conceitos-em-ação, teoremas-em-ação e os indícios de sua fundamentação identificados a partir da análise das condutas de S1 ao vivenciar as atividades de modelagem. Elaboramos também o quadro 7.2, onde apresentamos os esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados e associados às situações da modelagem.

Conceitos -em-ação	Teoremas-em-ação	Indícios dos invariantes
Matéria	1- A matéria líquida é contínua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão da dissolução do giz pela água.</li> <li>• Estabelecimento das diferenças entre previsto e observado.</li> </ul>
	2- Pó ou grão e gota são as unidades fundamentais da matéria sólida e líquida, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização do termo “molécula” para designar o pó de giz e de suco.</li> <li>• Representação da água na figura 7.2 e sua explicação.</li> </ul>
	3- Não existem espaços vazios na matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição inicial do giz.</li> <li>• Representação da disposição das partículas-pó do giz (figura 7.1).</li> <li>• Explicação para a saída de bolhas do giz (“tem ar entre elas”).</li> <li>• Representação verbal das partículas nos grãos de suco (“<i>não tem espaço nenhum</i>”).</li> <li>• Representação da água em estado sólido.</li> </ul>
	4- A matéria pode ser formada por um conjunto <i>compactado</i> ou <i>descompactado</i> de partículas (pó, grão ou gota).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação do motivo pelo qual a água não consegue “desfazer” o giz.</li> <li>• Explicação de que o giz é feito de “pó prensado”.</li> <li>• Descrição do suco em pó como “não maciço”.</li> <li>• Representação e descrição dos três estados físico na figura 7.7.</li> </ul>
	5- A matéria em pó apresenta um estado físico particular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição das “moléculas” do suco como grãos.</li> <li>• Dificuldade no reconhecimento do suco como sólido na elaboração da explicação para sua dissolução em água.</li> </ul>
	6- O movimento das partículas depende do estado físico da matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre os sistemas ‘giz e água’ e ‘carro e pessoas’.</li> <li>• Explicação para a não dissolução do giz a partir da figura 7.8.</li> <li>• Papel dinâmico atribuído às partículas-gota em ambos os sistemas em contraste com as partículas dos solutos.</li> </ul>

Quadro 7.1. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S1 e os indícios de sua fundamentação.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Matéria	7- As partículas da matéria são dotadas de movimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recapitulação de seus conhecimentos sobre o modelo cinético-molecular.</li> <li>Explicação para a mistura suco e água sem agitação.</li> </ul>
	8- A matéria é constituída por partículas submicroscópicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nova representação do giz (figura 7.6b) e do sistema 'giz e água' (figura 7.7).</li> <li>Mudança na utilização do termo "molécula", referindo-se às partículas submicroscópicas de água e giz.</li> </ul>
Interação	1- A interação depende da resistência/fragilidade de um material em relação ao outro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Previsão para o sistema 'giz e água': "a água vai entrar e fazer ele se desfazer".</li> <li>Explicação no submicro do sistema 'giz e água': a água não consegue desfazer o giz compactado.</li> <li>Comparação do sistema 'giz e água' com pessoas em torno de um carro.</li> </ul>
	2- As partículas das diferentes substâncias interagem por afinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esclarecimento do termo "englobamento" na explicação das observações do sistema 'suco e água'.</li> <li>Comparação entre o sistema 'suco e água' e uma reação hipotética.</li> </ul>
	3- A interação entre partículas é algo físico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização da expressão "coladas" para descrever as partículas do giz.</li> <li>Comparação reformulada entre os sistemas 'giz e água' e 'carro e pessoas'.</li> </ul>
	4- A interação entre as partículas é eletrostática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparação do sistema 'suco e água' e pessoas atraídas.</li> <li>Explicação da dissolução do suco a partir da representação da figura 7.8.</li> <li>Comparações das interações dos sistemas 'suco e água' e 'giz e água' com as interações afetivas entre pessoas de famílias diferentes.</li> </ul>
Dissolução	1- Todos os materiais se dissolvem em água.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Previsão da dissolução do giz ("<i>a água desfaz qualquer coisa</i>").</li> </ul>

Quadro 7.1. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S1 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Dissolução	2- A dissolução é um processo de dispersão das partículas do soluto no solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão e explicação para o que ocorreria com o giz em água.</li> </ul>
	3- A dissolução é uma reação; um processo de transmutação das partículas do soluto e do solvente, que têm afinidade entre si, em um tipo diferente de partícula.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação gestual do processo de “englobamento” das partículas de soluto pelas de água (figura 7.3a e 7.3b).</li> <li>• Comparação entre o sistema ‘suco e água’ e uma reação hipotética.</li> </ul>
	4- A dissolução é um processo em que as partículas do soluto e do solvente entram em contato físico umas com as outras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação reformulada entre os sistemas ‘giz e água’ e ‘carro e pessoas’.</li> <li>• Comparação entre os sistemas ‘suco e água’ e seguranças e pessoas de uma festa’.</li> </ul>
	5- A dissolução é um fenômeno que envolve interações eletrostáticas entre as partículas do soluto e do solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação do sistema ‘suco e água’ com pessoas atraídas.</li> <li>• Comparações das interações dos sistemas ‘suco e água’ e ‘giz e água’ com as interações afetivas entre pessoas de famílias diferentes.</li> </ul>
	6- A dissolução ou não de uma substância em outra depende da intensidade das interações estabelecidas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparações das interações dos sistemas ‘suco e água’ e ‘giz e água’ com as interações afetivas entre pessoas de famílias diferentes.</li> </ul>

Quadro 7.1. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S1 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Prever o comportamento do giz em água (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz libera pó em contato com o quadro, ele também o liberará em contato com a água. Se a água entra nos espaços vazios do giz, as partículas-pó se espalham.	O dado experimental saliente (liberação de pó no quadro) deve ser transportado para a situação hipotética (dissolução do giz).	Relacionar a fragilidade do giz ao seu comportamento em água.	Matéria (1), (2), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (1) e (2)
Descrição do comportamento observado para o sistema 1.	Espalhamento meso	Se bolhas de ar saem do giz e se ele mantém seu tamanho e cor, a água exerce mais pressão do que o ar, expulsa-o e ocupa seu espaço, sem 'desfazer' o giz.	O papel da água deve ser relacionado aos dados experimentais salientes (liberação de bolhas e constância do aspecto físico do giz)	Relacionar os dados experimentais salientes.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (2)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz libera ar e se ele não diminui de tamanho em água, o ar liberado está contido nos espaços entre as partículas-pó do giz e seu material é resistente à ação da água.	Os dados experimentais salientes (liberação de bolhas e constância do aspecto físico do giz) devem ser conjugados na justificativa das diferenças identificadas.	Formular uma explicação para a não dissolução do giz que conjugasse todos os dados perceptuais salientes.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (2)
Explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se o giz libera ar mas não se desagrega, o elevado grau de compactação das partículas-pó do giz em relação às de água impede a ação destas sobre aquelas.	A estrutura do giz deve ser usada para explicar seu comportamento no sistema.	Explicar a não desagregação do giz sob ação da água.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (2)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se um carro em meio a pessoas e o giz em meio a água permanecem intactos, os elementos nos dois sistemas se comportam similarmente. Se as pessoas se movimentam em torno do carro e se a água e o giz se encontram parados, os elementos se comportam diferentemente neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas deve ser a integridade física de seus componentes. A diferença deve ser a mobilidade dos componentes dos sistemas.	Ilustrar a não dispersão das partículas do giz em água.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (2)
Prever o comportamento do suco em água (sistema 2).	Reação meso	Se as partículas-grão do suco são menores do que as partículas-gota da água, estas englobam as partículas-grão de suco e ambas se transmutam na nova partícula de suco. Se a água muda de cor, ela contrai as propriedades dos grãos de suco. Se as partículas-grão do suco são mais separadas do que as partículas-pó do giz, o suco em pó e o giz se encontram em 'estados físicos' diferentes.	Os conhecimentos prévios sobre o "desaparecimento" dos grãos de suco e a mudança de cor da água devem ser considerados na explicação do comportamento previsto dos componentes. O estabelecimento da diferença quanto ao "estado físico" dos solutos suco e giz é necessário.	Explicar as alterações macroscópicas previstas: desaparecimento do soluto e mudança de cor da água; e as diferenças macroscópicas observadas entre os solutos.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (3)
Descrição do comportamento observado para o sistema 2	Reação meso	Se a água muda de cor pela adição do suco, tudo se passa como previsto. Se a mistura é líquida como a água, as partículas-grão são englobadas pelas partículas-gota e as primeiras se fundem no interior das segundas.	A previsão sobre como ocorre o processo deve ser confirmada. A "forma líquida" da mistura deve ser explicada.	Sustentar a explicação do processo e explicar a predominância do estado físico da água após a mistura com o suco.	Matéria (2), (3), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (3)

Quadro 7.2. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S1.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 2) <sup>60</sup> .	Reação meso	Se a mistura é líquida como a água, as partículas-grão são englobadas pelas partículas-gota e as primeiras se fundem no interior das segundas.	A “forma líquida” da mistura deve ser explicada.	Explicar a predominância do estado físico da água após a mistura com o suco.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (3)
Explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se as partículas-grão são compactas, se o volume de partículas-gota é maior do que o de partículas-grão e se as partículas dessas substâncias têm afinidade umas pelas outras, as partículas-gota englobam as partículas-grão, transmutando-se na partícula líquida de suco.	A explicação para o processo deve satisfazer às exigências da “forma líquida” da mistura e da aquisição das propriedades dos grãos de suco pela água.	Explicar as alterações macroscópicas da “mudança de estado” do soluto e de cor e sabor da água.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (2) Dissolução (3)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se duas partículas (H <sub>2</sub> O e N) podem ser unir e formar uma nova partícula (H <sub>2</sub> O-N) e se a partícula de suco se une com a de água formando a nova partícula de suco, os processos são similares neste aspecto. Se as partículas H <sub>2</sub> O e N se unem fisicamente e as partículas-gota englobam as partículas-grão, os processos são diferentes neste aspecto.	A semelhança saliente entre os domínios deve ser a formação de uma nova substância. A diferença deve ser o processo de união das partículas.	Criar um domínio análogo que se adéque às explicações para as alterações macroscópicas.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (2) Dissolução (3)
Rever as representações do sistema 1.	União física submicro	Se as partículas-pó do giz são compostas de partículas menores e ‘coladas’ e se elas não se desagregam, as moléculas de água se dispõem nos espaços antes ocupados pelo ar e existentes entre os grupos de partículas unidas fisicamente.	As partículas-pó do giz devem ser imaginadas em uma escala ainda menor. A disposição das partículas de água no sistema deve ser reconsiderada na não dissolução do giz.	Re-representar, no submicro, as partículas-pó e explicar a contradição entre a entrada de água no giz e sua não desagregação.	Matéria (3), (6) e (8) Interação (1) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para o sistema 1, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se um carro mantém suas partes intactas quando as pessoas entram dentro dele e o ar sai e se o mesmo ocorre com as partículas-pó e o ar no giz quando a água entra, os sistemas são similares nestes aspectos. Se as partes de um carro são diferentes umas das outras e as partes do giz são iguais entre si, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhanças mais salientes entre os sistemas comparados devem ser: a união física entre as partes, a não desagregação destas, e a saída de ar de um componente por ação do outro componente. A diferença deve ser a constituição das partes.	Explicar a não desagregação das partículas do giz pela água.	Matéria (3), (6) e (8) Interação (1) e (3) Dissolução (4)
Rever as representações do sistema 2.	União física submicro	Se o suco pode ser separado da água por destilação, não há englobamento entre as partículas; as partículas submicroscópicas do grão se unem fisicamente com as de água.	As partículas-grão do suco devem ser imaginadas em uma escala menor. Na representação do processo, o suco não deve ser considerado uma nova substância.	Representar a dissolução do suco como um fenômeno físico.	Matéria (3), (6) e (8) Interação (2) e (3) Dissolução (4)

Quadro 7.2. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S1 (continuação).

<sup>60</sup> Nenhuma diferença foi identificada por S1.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Elaborar uma analogia para o sistema 2, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se seguranças se unem às pessoas no exercício de sua função e se partículas de suco se unem às de água, os sistemas são similares. Se a quantidade de partículas de água e de suco são maiores do que a de pessoas e seguranças, a razão entre as primeiras será menor do que entre as segundas.	As semelhanças mais salientes entre os sistemas comparados devem ser a dispersão de certos elementos em presença de outros e a união física entre esses diferentes elementos.	Explicar a união entre partículas de soluto e solvente na dissolução.	Matéria (2), (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia explicar a dissolução sem agitação.	Interação submicro	Se um homem pode se sentir atraído por uma mulher e as partículas de suco e da água se atraem, os sistemas são similares. Se as pessoas se atraem devido aos seus sentimentos e as partículas devido às suas cargas, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhanças mais saliente entre os sistemas deve ser a atração entre seus diferentes elementos. A diferença deve ser a natureza dessas atrações (sentimentos X cargas).	Explicar a não decantação das partículas de suco após a dissolução.	Matéria (2), (6) e (7) Interação (3) Dissolução (5)
Contrastar os processos de dissolução do suco e de não dissolução do giz, usando as analogias.	Interação submicro	Se pessoas estabelecem laços afetivos de intensidades diferentes e se as partículas de soluto e solvente podem se atrair com intensidades diferentes, os processos são similares neste aspecto. Se as pessoas são atraídas por seus sentimentos e as partículas por suas cargas, os sistemas são diferentes neste aspecto. Se, por exemplo, as intensidades das atrações entre pessoas do mesmo grupo podem variar, mas isso não ocorre entre as partículas de um mesmo componente, eles são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a diferença de intensidade das interações. As diferenças devem ser a natureza das atrações e a possibilidade de interações no análogo que não representam o alvo <sup>61</sup> .	Explicar a diferença de comportamento dos sistemas com base nas interações entre partículas carregadas.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)
Estender as possíveis inferências a outras situações relacionadas aos processos 1 e 2.	Interação submicro	Se o óleo não se dissolve em água assim como o giz, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar. Se o vinagre se dissolve em água assim como o suco, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar.	As intensidades das interações eletrostáticas soluto-solvente e das demais interações (soluto-soluto e solvente-solvente) devem ser consideradas em qualquer processo de dissolução (ou não dissolução).	Relacionar o comportamento das partículas nos novos sistemas aos anteriores.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)

Quadro 7.2. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S1 (continuação).

<sup>61</sup> Por exemplo, na comparação que estabelece para o giz, S1 aponta a possibilidade de outras pessoas (que não os primos) das diferentes famílias interagirem entre si, diferentemente do que ocorreria entre as partículas do giz e da água.

## 7.2. Estudo de caso 2

S2 tinha 14 anos e era estudante da mesma turma da 9ª série fundamental dos demais. Ela não havia repetido nenhuma série, se considerava uma aluna aplicada e com grande afinidade aos estudos de Química. Como S1, S2 participou das atividades com grande disposição e empenho.

Na Atividade 1 (Anexo 2), foram apresentados a S2 os componentes químicos da Atividade 1 (giz e água) e foi solicitado a ela que descrevesse o componente giz. Sua descrição, baseada somente em aspectos perceptuais, foi a seguinte:

**S2:** “Ele tem uma forma... é fininho e puxadinho assim (mostra um giz alongado com os dedos). Ele solta um pozinho e está pequeno.”

Ao ser solicitada a prever o que ocorreria com o giz ao ser adicionado à água, S2 afirmou:

**S2:** *Ele vai dissolver!*

**P:** *Como você imagina que isso acontece?*

**S2:** *O pozinho dele vai soltar e a água vai ficar mais branca, porque ele vai dissolver devagar.*

De acordo com essa citação, S2 previu que o giz se dissolveria na água e esta ficaria branca. Isso ocorreria porque o giz liberaria lentamente seu pó em contato com a água (**EER espalhamento meso**). Inicialmente, porém, ela não forneceu qualquer explicação adicional.

Após observar a mistura, S2 tentou adaptar os dados experimentais com a previsão – atrelada ao fenomenismo perceptual – de que o giz se dissolveria. Fundamentada no fato de que ele solta pó em contato com a água, S2 formulou a seguinte explicação:

**S2:** *Ele soltou um monte de borbulhas... de efervescência... umas borbulhas no fundo e continuou soltando. É como se fosse o pozinho dele, pelo menos eu vi.*

**P:** *Então, ele está dissolvendo do jeito que você tinha previsto...*

**S2:** *Está. Mas não do jeitinho que eu tinha previsto.*

**P:** *Fala pra mim: o que foi semelhante ao que você tinha previsto e o que foi diferente?*

**S2:** *Que ele ia dissolver, ia soltar o pozinho. Só que ele não vai dissolver com a água branca, assim... não vai ficar branca. Ele vai dissolver até que ele não vai dissolver inteiro, eu acho.*

**P:** *E por que você acha que isso acontece?*

**S2:** *Não, até que ele pode dissolver inteiro mesmo; mas vai demorar mais tempo! Não sei quanto tempo, uns dois, três dias pra ele dissolver inteiro. Mais ou menos isso.*

Sua concepção inicial do processo de dissolução parecia estar associada à ideia de separação, pela água - como matéria contínua -, das partículas de uma matéria já fragmentada em suas partes constituintes. No caso do giz, estas seriam partículas-pó, uma vez que S2 parece ter lançado mão de uma escala mesoscópica na sua representação mental inicial (**EER espalhamento meso**). O fato de o processo ser lento parecia estar associado a certa compactação das partículas-pó - característica que foi evidenciada nas representações posteriores de S2 para o giz - e justificaria a tonalidade incolor inicial da água.

Nesse momento da entrevista (Atividade 2, Anexo 2), após esclarecer as diferenças entre os três níveis de representação, a pesquisadora solicitou a S2 que fornecesse uma explicação para o processo no nível submicroscópico. Atendendo a essa solicitação, ela afirmou:

**S2:** *Eu acho que... Não sei. Talvez na hora que jogou ele na água, ao contato que teve com a água já que ele não é da mesma forma, não é a mesma coisa, ele soltou mais pozinho... Não foi bem pozinho! Teve uma efervescência maior, porque... tava tipo reagindo com a água. Não sei direito. Não sei.*

**P:** *Me explica isso melhor.*

**S2:** *Quando a gente jogou... no primeiro contato teve mais bolhas de ar, depois ele desceu. Na hora que ele desceu começou a liberar umas borbolhas... liberou o pó que tem nele, entendeu?*

Em seguida, a pedido da pesquisadora, ela representou o processo como na figura 7.11.

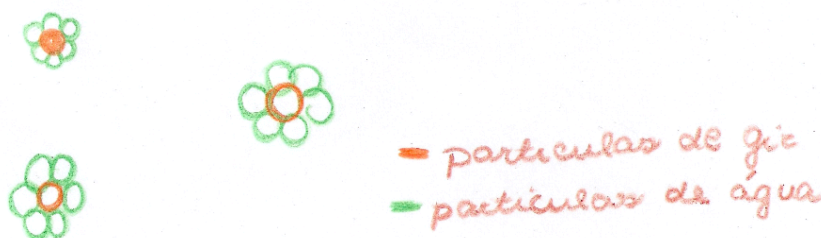


Figura 7.11. Representação da mistura giz e água elaborada por S2.

A representação elaborada por S2 (como aquela elaborada por S1) é comumente encontrada em livros didáticos e/ou fornecida por professores em aulas

de ciências quando tentam explicar a solvatação das partículas de soluto pelas do solvente. No entanto, ao ser requisitada, ela não foi capaz de fornecer detalhes sobre aquela representação, identificando a aproximação das partículas de água e sua disposição ao redor das partículas de giz como a parte mais difícil a ser explicada.

A pesquisadora pediu à S2 que verificasse se teria havido alguma alteração no giz e, apesar de ela dizer que nada observou em termos de alteração de tamanho, manteve sua explicação de que ele se dissolveria em água. Isso ocorreu, provavelmente, porque ela se sentia respaldada pelo seu argumento de um processo de dissolução lento.

Na tentativa de manter-se coerente à sua previsão inicial de dissolução do giz, ela tentou conciliar a ideia de reação à de um posterior espalhamento das partículas-pó do soluto no solvente (**EER espalhamento meso**). É interessante notar que apesar de mencionar a ocorrência de uma reação inicial, S2 mencionou, em seguida, o espalhamento das partículas-pó de giz durante a descida do giz, sem que qualquer incoerência fosse notada. Isso parece ter acontecido pelo fato de que, na verdade, S2 não concebia que ali estivesse ocorrendo a formação de novas substâncias, mas mencionou o termo “reação” por associar a formação de bolhas a uma evidência da ocorrência desse processo.

A pesquisadora, percebendo a necessidade de maiores esclarecimentos sobre suas primeiras explicações, solicitou que S2 representasse o giz (figura 7.12a) e a água (figura 7.12b) no nível submicroscópico, antes da mistura.

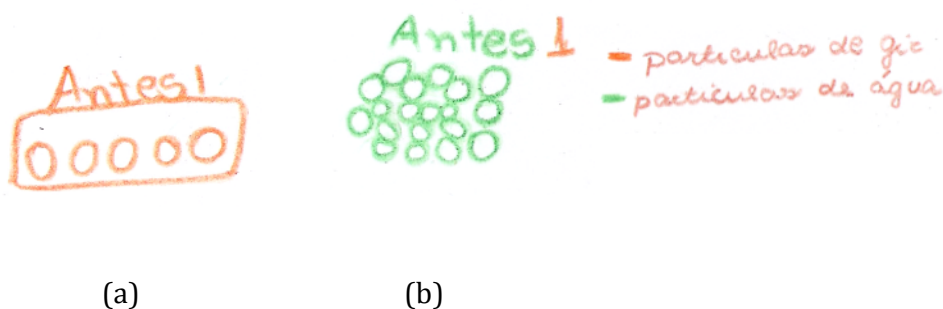


Figura 7.12. Representação dos componentes do sistema giz (a) e água (b) antes da mistura elaborada por S2.

A partir dessas representações, a pesquisadora requisitou que ela explicasse o processo representado na figura 7.11. S2 afirmou:

**S2:** Talvez, até por isso que aconteceu, a efervescência, porque elas (as partículas da água) se separaram assim (gesticula afastando uma mão da outra) quando o giz foi caindo e deram lugar para as partículas do giz que acabaram também se separando com o choque com as partículas da água e foram começando a... formar essas bolhinhas. Por isso, que está assim agora (aponta para as pequenas bolhas que se encontravam fixadas na superfície do giz).

Através dessa fala é possível perceber que S2 realmente não concebia a formação de bolhas como uma evidência de reação química, mas como originada do afastamento das partículas de água na medida em que o giz se movimentava para baixo no recipiente. As partículas de água, por sua vez, seriam responsáveis pelo afastamento das partículas do giz. Para enfatizar o aspecto processual da separação das partículas de ambos os componentes e o posterior rearranjo das mesmas, ela elaborou a representação da figura 7.13 (**EER espalhamento meso**).

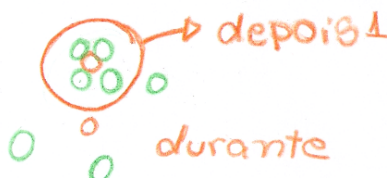


Figura 7.13. Representação do sistema 'giz e água' durante e após a mistura dos componentes elaborada por S2.

Ao ser solicitada a elaborar uma comparação para o processo que descreveu no nível submicroscópico, ela afirmou:

**S2:** Quando você coloca, por exemplo, o suco. Você coloca na água, o pozinho do suco ele vai espalhar e vai acontecer isso aqui (aponta para a figura 7.13). A água vai lá ficar em volta dele pra ele poder dissolver.

S2 elaborou uma comparação de mera aparência com base na formação de uma mistura homogênea pelo desaparecimento das partículas de soluto, esperada para os dois sistemas (giz e água e suco e água). Foi com base na suposição desta propriedade descritiva como comum aos sistemas que ela supôs também que ambos os processos seriam similares. Por isso, S2 colocou em correspondência o comportamento imaginado para as partículas do giz e da água e para as de suco e de água: a distribuição das partículas-pó (ou partículas-grão, no caso do suco) do soluto no solvente, a reorganização das partículas-gota móveis de água em torno das partículas-pó (ou partículas-grão) imóveis. Ao afirmar "A água vai lá ficar em volta dele pra ele

*poder dissolver*”, S2 forneceu indícios de imaginar uma fusão posterior das partículas de soluto envoltas pelas de solvente (**EER espalhamento meso**).

Em seguida, ela citou como diferença entre os domínios comparados o aspecto físico dos solutos: um em pó (suco) e o outro em estado sólido (giz), como demonstra a citação a seguir:

**P:** *E quais seriam as diferenças entre o que ocorre com o suco na água e o que ocorre com o giz na água?*

**S2:** *Nas substâncias. Porque o pozinho (do suco), ele não é sólido igual o giz. Então, ia ficar diferente uma substância da outra.*

O fato de S2 não reconhecer o suco como uma matéria sólida parece ser consequência da ideia de que, sendo o pó a menor unidade representativa da matéria sólida (escala mesoscópica de representação mental), quando esta se apresenta em baixa granulometria, suas pequenas unidades se encontram tão afastadas umas das outras que podem até caracterizar um estado físico particular (como ocorreu com S1). O giz, ao contrário, atende aos requisitos de seu modelo para a matéria sólida (como a compactação), representado na figura 7.14.

Ao perceber que, na figura 7.13, S2 representou a água e o giz sem muita diferenciação, a pesquisadora requisitou que elaborasse uma representação para a maneira como imaginava a matéria em seus três estados físicos (figura 7.14).

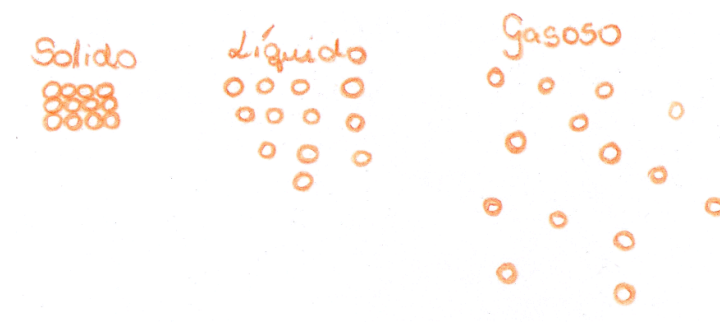


Figura 7.14. Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S2.

Ela explicou que, do estado sólido ao gasoso, o espaço entre as partículas da matéria era aumentado e que existia uma desorganização crescente daquelas. Ela esclareceu também que naqueles espaços não haveria matéria alguma, mas nada mencionou sobre o movimento delas neste momento da entrevista. Percebendo isso, a pesquisadora recapitulou os conhecimentos escolares de S2 sobre o aspecto movimento, como ilustra a citação.

**P:** *E o que você poderia me dizer sobre o movimento das partículas em cada um dos estados físicos representados aqui (aponta para a figura 7.14)?*

**S2:** *No sólido essas bolinhas vibram, no líquido e no gás elas movimentam mais. No gás, bem mais que no líquido!*

Em seguida, a pesquisadora solicitou que ela retomasse sua representação inicial para o giz e a água e a analisasse com base em suas explicações atuais. Tal procedimento levou S2 a fazer a sua primeira reformulação nos modelos (da água e do giz antes da mistura – figuras 7.15a e 7.15b).

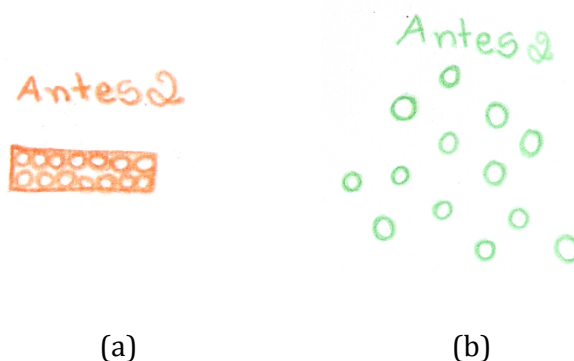


Figura 7.15. Representação reformulada do giz (a) e da água (b) antes da mistura elaborada por S2 (primeira reformulação).

Novas perguntas foram feitas com relação à delimitação presente nas representações de S2 para o giz (figura 7.12a e figura 7.15a). É interessante constatar mais uma vez a manifestação da forte influência perceptual nas representações de **S2**: a principal causa de suas confusões entre os níveis macro e submicroscópico. Isto também pode ser evidenciado no seguinte diálogo:

**P:** *Agora eu tenho mais uma perguntinha pra te fazer: o que significa isso aqui (aponta para o limite representado na figura 7.15a) para você?*

**S2:** *Ah, é tipo a forma do giz.*

**P:** *Se fosse possível a gente dar olhar com aquela visão do Super-homem nessa forma do giz (aponta novamente para a delimitação representada na figura 7.15a), o que a gente veria?*

**S2:** *Mais partículas e a delimitação. (...) Os dois ao mesmo tempo, porque se você for olhar direitinho a gente vai enxergar as partículas por estar no submicro, mas só que vai enxergar uma certa delimitação nelas também.*

Somente após uma nova discussão sobre as diferenças entre os níveis de representação, a pesquisadora retomou a questão, associando a representação no nível submicroscópico àquela que seria possibilitada pela visão do Super-homem e

aquela possibilitada pelos nossos sentidos no nível macroscópico. Então, ela questionou **S2** novamente:

**P:** *Pensando no nível submicroscópico, como você representaria essa delimitação que você me falou?*

**S2:** *Com as partículas pertinho, com pouco espaço.*

Isso possibilitou uma nova reformulação no seu modelo, como pode ser verificado através da representação da figura 7.16, apesar da permanência da ideia de partículas-pó (escala mesoscópica) como foi possível constatar com base em explicações posteriores fornecidas por S2.



Figura 7.16. Representação reformulada do giz antes da mistura em água elaborada por S2 (segunda reformulação).

Em seguida, a pesquisadora pediu que S2 imaginasse o que ocorreria com o giz se o sistema fosse agitado. Ela afirmou que possivelmente o giz se dissolveria mais rápido. Solicitada a agitar o sistema, S2 declarou não ter observado uma alteração no tamanho do giz do início do experimento até aquele momento e que apenas alguns pequenos fragmentos haviam se dirigido para o fundo. A partir dessa observação, ela retomou sua ideia da ocorrência de uma reação para explicar a efervescência, ignorando os aspectos macroscópicos que acabara de mencionar, como demonstra o trecho a seguir:

**P:** *A partir dessas observações, como você explica as bolhas?*

**S2:** *Não sei. Talvez por causa do pó que tem nele, no giz? Tem alguma coisa a ver com o pó. Por exemplo, se você põe o giz aqui, vai soltar aquelas bolhas que talvez seja por causa do seu pozinho que está aqui (aponta para o giz). Por exemplo, quando você põe o sal de frutas na água vai ter mais ou menos a mesma efervescência, só que vai ser maior porque ele (sal de frutas) é um pó. Ele já é um pó mesmo, entendeu? Esse (giz) é um sólido. (...) Quando você pôs o giz, ele deu tipo uma reação com a água, só que não dissolveu nem nada, mas teve tipo uma reação.*

Na tentativa de fornecer uma explicação para a efervescência, S2 afirmou que ocorreria uma reação entre os dois componentes da mistura. A origem de tal

explicação parece estar na comparação estabelecida por ela entre a formação de bolhas neste sistema e naquele constituído por um comprimido efervescente e a água. Este último experimento foi mencionado por outros sujeitos participantes desta pesquisa (colegas de classe de S2) e, pela própria S2, como tendo sido realizado pela professora em sala de aula. Ela estabeleceu uma comparação de mera aparência a partir do aspecto perceptual mais notável que ativou seu conhecimento saliente sobre o assunto na proposição da explicação (o aparecimento de bolhas).

A pesquisadora requisitou uma representação deste processo através dos materiais disponibilizados, a fim de obter mais detalhes sobre suas ideias. Talvez porque o único indício que S2 tinha da possível reação fosse o aparecimento de bolhas e por não estar certa de que esse processo realmente estivesse ocorrendo com o giz, ela mencionou que *“teve tipo uma reação”* sem, no entanto, ter sido capaz de representar essas ideias.

Pedidos de esclarecimentos sobre o significado de uma reação química e direcionados a aspectos do nível de representação almejado podem ter contribuído para a tomada de consciência que permitiu que S2 não só explicasse essa noção, mas também a representasse (figura 7.17) e a diferenciasse do processo de dissolução do giz representado anteriormente (figuras 7.11 e 7.13), conforme evidencia o diálogo seguinte:

**P:** *O que você imagina que aconteça numa reação química?*

**S2:** *Eu acho que, numa reação química as partículas do giz... talvez elas, elas se mis... A da água ficasse ao redor do giz. Não sei.*

**P:** *Então, isso aqui (aponta para a figura 7.13) que você representou, seria uma reação química?*

**S2:** *Seria.*

**P:** *E numa reação química...*

**S2:** *Não, não seria! (Ênfase na voz).*

**P:** *Por quê?*

**S2:** *Porque você continua tendo as partículas de giz e as de água.*

**P:** *E se fosse uma reação química, como seria?*

**S2:** *Você não teria as mesmas duas (partículas), você formaria uma nova.*

**P:** *Como assim?*

**S2:** *Como? Se você, por exemplo, pega uma partícula e aí se mistura com a outra. Aí, por exemplo, ela pode mudar de cor, aí quando ela muda de cor... É um exemplo, né? Ela muda a partícula, vira uma outra coisa. Você não vai ter as duas, você vai mudar. Vai ter uma coisa diferente.*



Figura 7.17. Representação de uma reação química genérica elaborada por S2.

É importante notar que S2 concebeu a reação química como um processo em que as partículas dos reagentes se adicionam umas às outras, transmutando-se em uma nova partícula, como evidencia a citação anterior e a representação da figura 7.17. Além disso, ela pareceu confundir os níveis macroscópico e submicroscópico ao afirmar que a partícula resultante da reação química mudava de cor e representá-la com uma cor intermediária às iniciais. Apesar de essas ideias fundamentarem o EER reação, este não foi o esboço mobilizado para explicar o processo observado no sistema ‘giz e água’, mas para a diferenciação que possibilitou a S2 perceber que, o que ocorria no sistema, não se tratava de uma reação química como ela a concebia.

Quando perguntada sobre como representaria, naquele momento, o processo que ocorre na mistura de giz e água, S2 afirmou que não seria como na figura 7.13, pois “*não dissolveu as partículas, o giz continua igual*”, mas que ainda não havia conseguido elaborar nenhuma nova representação. Observamos um processo laborioso por parte de S2 na tentativa de conciliar, de maneira coerente, os dados experimentais, agora percebidos de uma nova maneira, com a sua representação mental.

Como o maior problema para S2 naquele momento parecia ser o de conjugar a “*efervescência*” – um dado perceptual tão saliente que determinou a concepção do processo de mistura como uma reação – com suas explicações atuais, a pesquisadora solicitou que ela retomasse também outras de suas observações, como a permanência do tamanho e do aspecto visual do giz e o fato de que pequenos pedaços dele (a que ela denominava “*pozinhos*”) se decantavam no recipiente. Após essa orientação, ela afirmou:

**S2:** *A única coisa que eu consigo pensar agora é que tem as partículas da água e tem as do giz, mas elas não se misturam, não se misturam assim... mais ou menos. As do giz continuaram com as do giz e as da água com as da água.*

*Essa citação, aliada à nova representação de S2 para o fenômeno (figura 7.18) confirmam suas novas ideias sobre a não dissolução do giz em água (“elas não se*

misturam”) concebida como um processo de não dispersão de suas partículas-pó em água (**EER espalhamento meso**). Em seguida, solicitada a esclarecer seu primeiro modelo (figura 7.11), disse:

**S2:** Isso aqui foi quando eu joguei o giz, que as partículas do giz começaram a entrar em contato com as da água. Mas, foi só no começo que eu pensava assim.

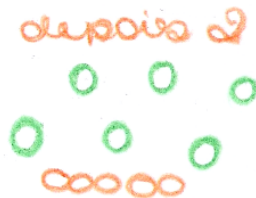


Figura 7.18. Representação reformulada do sistema 'giz e água' após a mistura elaborada por S2.

Ao ser solicitada a elaborar uma comparação para explicar esse processo, S2 comparou aspectos do comportamento do sistema 'giz e água' com o sistema 'pedra e água'.

**S2:** Por exemplo, se você joga uma pedra na água ela não vai dissolver, ela vai ficar... se a pedra for pequena ela vai descer e não vai misturar com a água. A água não consegue separar a pedra.

**P:** Entendi. Em que seria semelhante e em que seria diferente?

**S2:** O que seria semelhante? Seria isso, que suas partículas não vão se misturar com as da água, igual as do giz não se misturaram com as da água; e a diferença é no formato, porque uma pedra também pode ser mais pesada, mais leve do que o giz. (...) E também o pozinho. Porque o giz é constituído de pozinho e a pedra já é mais apertada.

S2 estabeleceu uma comparação de mera aparência colocando em correspondência a integridade física do giz e da pedra quando submersos em água. Ao mencionar uma possível semelhança entre o comportamento das partículas-pó constituintes dos diferentes solutos e das partículas-gota da água, ela afirmou que "suas partículas não vão se misturar". Isso provavelmente porque, como no caso da pedra, a água não conseguiria separar as partículas do giz.

Devido à persistência de uma representação mental mesoscópica do processo, os aspectos perceptuais continuaram predominando na sua identificação das diferenças entre os domínios comparados, o que levou S2 a distinguir os elementos dos domínios (pedra e giz) em relação ao peso e ao grau de compactação das partículas-pó.

O termo “misturar” foi utilizado por S2 na falta de um vocabulário mais adequado para descrever que não havia dispersão das partículas de giz pelo sistema, nem transmutação, como ela imaginava anteriormente. Sendo assim, ela demonstrou mais uma vez perceber a inadequação de um EER reação no tratamento da não dissolução do giz em água, lançando mão do **EER espalhamento meso**.

Na sequência das atividades, os componentes do sistema 2 (suco e água) foram apresentados e, com relação à mistura destes, S2 previu a dissolução do suco em água. Ela se referiu novamente ao desenho da figura 7.13 como a representação mais adequada para este fenômeno.

**S2:** *Ele vai dissolver, ele vai, vai acontecer aquilo que eu te falei, as partículas de água, elas vão ficar ao redor das partículas de suco, dissolvendo elas, fazendo com que, por exemplo, mude o gosto das partículas de água quando elas virarem suco. Por exemplo, se você tomar água, não vai ser o mesmo gosto se você tomar água com suco. (...) A água vai ficar roxa por causa que o suco é roxo, porque é de uva e se colocar muito vai ficar um pozinho no fundo, porque não vai dissolver tudo.*

Assim, ela se ateu a descrições ligadas predominantemente ao perceptivo, como o gosto e a cor, ou a experiências anteriores, como a não dissolução de um excesso de soluto pela água. Nesta situação, S2 recorreu ao **EER reação meso**, manifestando a ideia de que as partículas móveis do solvente “dissolveriam” as partículas imóveis do soluto e que ambas se transmutariam em (“virariam”) “partículas de suco”. Esse esquema foi mobilizado na tentativa de explicar um processo que, naquele momento, era concebido como contrário ao que ela representara para a não dissolução do giz.

Depois da observação da mistura do suco em água, S2 forneceu a seguinte descrição:

**S2:** *Na hora que você jogou, apareceu o pozinho caindo. Ele bate no fundo e depois começa a subir e a água vai começando a dissolver ele. Na medida que eu vou misturando, ele vai misturando no geral com a água.*

Mesmo após a recapitulação realizada pela pesquisadora, S2 não forneceu indícios de representar a matéria sólida como dotada de movimento, pois, de acordo com sua descrição, o movimento das partículas-grão se dá pelo choque com o fundo do recipiente ou com o auxílio da agitação.

Solicitada a identificar as diferenças entre o previsto e o observado, ela afirmou:

NILMARA BRAGA MOZZER

**S2:** *Eu achei que o mais diferente foi as partículas, o pozinho, quando ele caiu e foi juntando com a água e foi formando as partículas com uma cor mais para vermelha, não foi bem roxa como eu tinha pensado. E... semelhante foi que se eu misturasse ele ia ficar roxo, igual está agora e, como você colocou muito, tem muito pozinho embaixo. Tem muito pozinho para pouca partícula de água, aí esses que não vão unir com a água, vão pro fundo.*

A identificação das diferenças também foi determinada pelo perceptual (diferenciação entre a coloração prevista e a observada) e justificada pela ausência de agitação inicial. Na citação também é possível evidenciar que os termos partícula e pó (no caso do suco) são usados como sinônimos e que, como expressado anteriormente, a dissolução se dá pela transmutação das partículas de soluto e de solvente em partículas de suco (**EER reação meso**). Como S2 havia previsto a decantação do soluto, espontaneamente ela reforçou que sua previsão havia sido confirmada e justificou essa decantação pela insuficiência de partículas-gota do solvente para a união com as partículas-grão “em excesso”.

Para representar o processo no nível submicroscópico, S2 elaborou o desenho da figura 7.19, semelhante àquele da figura 7.13, e explicou:

**S2:** *O durante (se refere ao processo) seria se mostrasse as partículas... Seria assim mais ou menos, começando a fazer... (afasta uma mão da outra simulando uma separação e desenha a parte identificada como “durante” na figura 7.19b) para que ficasse assim (aponta a parte identificada como “depois” da figura 7.19c) e depois dissolvesse pra água ficar com o gosto e a cor do suco.*

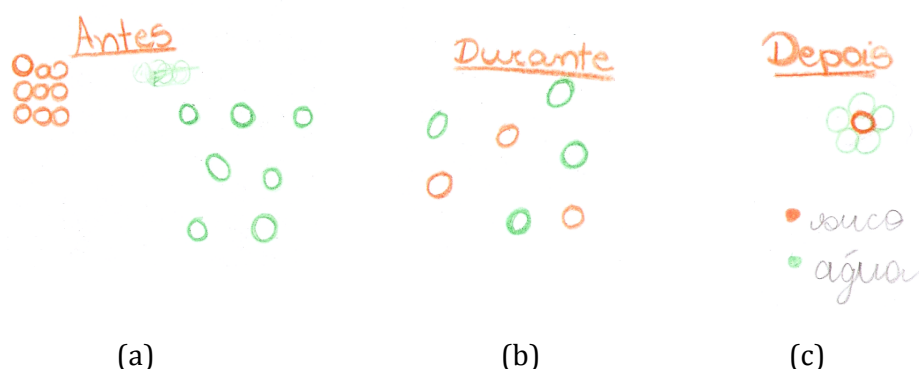


Figura 7.19. Representação do sistema ‘suco e água’ antes (a), durante (b) e após (c) a mistura elaborada por S2.

Apesar de recorrer por diversas vezes à uma representação que, para ela, parecia ter um *status* “verdade científica” devido à sua origem (livro didático e explicações do professor), S2 expressou uma ideia de continuidade do processo, declarando uma posterior dissolução das partículas-grão do suco pelas partículas de

água em seu entorno quando afirmou: “*e depois dissolvesse*”. Isso nos leva a supor que ela continuava a mobilizar o **EER reação meso** em sua representação mental do processo porque, em explicações anteriores, o resultado desse processo seria a transformação das partículas iniciais nas “partículas de suco”.

Quando requisitada a elaborar uma comparação para o processo que ocorria ao se misturar o suco na água e identificar as diferenças, S2 declarou:

**S2:** *Com o que eu poderia comparar? Com o açúcar. Por exemplo, se você joga um açúcar na água, ele vai dissolver e vai acontecer a mesma coisa que aqui (aponta para a representação da figura 7.19), vai formar uma água doce, porque a água tem tendência a dissolver o açúcar igual o suco. (...) A diferença é que a água doce vai ter um gosto diferente do suco.*

Nesta comparação de mera aparência, o aspecto perceptual da mudança de gosto do solvente é colocado em correspondência em ambos os domínios; resultado da transmutação das partículas de soluto e de solvente, que têm “afinidade” entre si, em novas partículas de “sabor” diferente da água. A identificação da diferença entre os domínios também foi baseada no aspecto perceptual da diferença de sabor das partículas resultantes, desta vez, uma em relação à outra.

S2 esclareceu que, na verdade, não considerava a dissolução do suco e do açúcar como um processo típico. Isso porque essas substâncias já se encontravam no estado de pó, ou seja, no estado de máxima fragmentação que sua representação mental mesoscópica da matéria permitia imaginar naquele momento. Suas partículas apenas se uniriam com as partículas de água para virar suco ou água açucarada, sem a separação em unidades. Esse esclarecimento parece confirmar nossa hipótese de mobilização do **EER reação meso** por S2.

Diferentemente, segundo ela, se fosse possível que o giz se dissolvesse, este representaria um autêntico processo de dissolução com a separação de seus fragmentos, como representado na figura 7.20. Ela afirmou ainda que, nesse processo hipotético, pelo fato de os fragmentos serem *muito pequenos*, eles não poderiam ser vistos nem divididos em outras partes, mas que a água ficaria branca se fosse possível a união de suas partículas a esses minúsculos fragmentos. Esse tipo de explicação parece caracterizar o início da transição de um EER ainda atrelado a uma representação mesoscópica da matéria para um EER que contempla uma representação submicroscópica, pois ela foi capaz de reconhecer que, num processo de dissolução “*de verdade*” as partículas resultantes da fragmentação do soluto em água não seriam perceptíveis a olho nu.



Figura 7.20. Representação para a separação dos componentes no processo de dissolução elaborada por S2.

Após os esclarecimentos espontâneos de S2, a pesquisadora solicitou novos esclarecimentos sobre os códigos de representação dos processos de dissolução do suco e do açúcar e das diferenças identificadas nessa comparação, como ilustra a citação:

**P:** *Com relação ao suco, você está pensando da mesma maneira que quando começou a me explicar?*

**S2:** *Não, acho que mudou, porque se for pensar direitinho nesse do suco, ele dissolveu. Ele não está igual, não é a mesma partícula... não tem a mesma coisa, ele dissolveu. Só que não dissolveu como se fosse sólido para um pozinho micro (aponta a figura 7.20 em que representou a “possível” dissolução do giz). Do pozinho ele continua sendo pozinhos, só que bem menores, é micro como os de giz que eu te falei. Eles são muito pequenos e nem de lupa não dá pra ver.*

**P:** *Então, isso aqui (aponta para a esfera laranja central circundada por esferas verdes, na figura 7.19) seria um pozinho desse (aponta para um grão de suco sobre a mesa)?*

**S2:** *Não, aqui (aponta para o grão) tem várias dessa (aponta uma esfera laranja da figura 7.19). É uma das partículas que está no pozinho e elas se separam quando põe na água e depois juntam com as partículas de água.*

**P:** *E, quando elas se juntaram, viraram uma nova partícula como aqui (aponta para a figura 7.17).*

**S2:** *Não, elas só ficaram perto, junto uma com a outra.*

**P:** *Por que você imagina que isso aconteceu?*

**S2:** *Porque não é outra coisa igual eu fiz aqui (mostra a figura 7.17), é a partícula do suco mesmo que está lá na água que ninguém pode ver, mas que está lá na água.*

**P:** *E no caso do açúcar?*

**S2:** *É parecido.*

**P:** *E as diferenças?*

**S2:** *A diferença, foi... A diferença no que acontece com as partículas eu não sei muito bem, porque nas partículas era pra ser igual, né? Só que, no macro, se olhar... no macro muda tudo, o sabor, a cor, não é igual ao do açúcar. Então, no macro elas são diferentes, e no submicro acho que é igual.*

Um **EER união física submicro** estava começando a ser mobilizado por S2, pois ao esclarecer seus códigos de representação, ela afirmou que cada grãozinho de suco seria constituído de várias partículas representadas pelas esferas laranja na figura 7.19. Isso parece ter ocorrido devido à reflexão iniciada anteriormente sobre a constituição das partículas de giz para explicar sua dissolução imaginária em água. Além disso, o processo agora parecia ser concebido como a união física entre partículas minúsculas que, embora se mantivessem “juntas” (encostadas), não mais “se dissolviam” uma na outra como imaginado anteriormente. Tais reformulações permitiram a S2 evoluir de uma comparação inicial de mera aparência a uma similaridade literal.

Após as reflexões precedentes, quando solicitada a identificar novamente as diferenças na comparação reelaborada (similaridade literal) entre os sistemas ‘suco e água’ e ‘açúcar e água’, S2 foi capaz de perceber que se tratavam de processos semelhantes no nível submicroscópico, apesar das diferenças macroscópicas entre os solutos e entre suas soluções aquosas. No entanto, propriedades descritivas como a aparência homogênea dos sistemas e da suposta união física entre as partículas também foram mapeados.

A seguir, S2 foi solicitada a rever sua comparação anterior e, se necessário fosse, elaborar uma nova comparação para que suas ideias a respeito do comportamento das partículas se tornassem mais explícitas. Ela elaborou a seguinte comparação:

*S2: Uma caixa, por exemplo, uma caixa maior com uma caixa menor, se você pegar uma caixa menor dentro da caixa menor, a caixa menor vai dentro e a maior em volta. Assim. (...) Semelhante é que a caixa menor é como se fosse a partícula do suco e a caixa maior como se fosse as partículas da água: elas ficam lá uma perto da outra, mas sem virar uma coisa só. Só que a diferença é que a caixa não é feita de uma partícula só, são várias.*

Na similaridade literal elaborada por S2, ela colocou em correspondência o aspecto físico de uma caixa rodeada pela outra e das partículas de soluto cercadas pelas do solvente e, simultaneamente, a relação de que, em ambos os domínios, os elementos (caixas/partículas) guardavam sua integridade física e formavam arranjos organizados. Apesar disso, sua comparação pareceu demonstrar que ela ainda não via a necessidade de explicar a causa da modificação na organização das partículas do domínio alvo. Sendo assim, ela utilizou o **EER união física**, face somente à necessidade

de explicar a proximidade das partículas submicroscópicas de soluto e solvente na representação “depois” na figura 7.19.

Na realização da Atividade 3 (Anexo 2), S2 descreveu o seguinte comportamento para o sistema ‘suco e água’ observado sem agitação:

**S2:** *Quando você colocou o suco, uma parte dele desceu; ela está no fundo. A minoria misturou um pouco com a água e deu um monte de risquinho azul e vermelho. As coisinhas azuis estão começando a descer. Elas estão descendo até uma parte, mas não está chegando lá no fundo. Elas param numa parte e estão começando a sumir.*

**P:** *O que você acha que está acontecendo aqui?*

**S2:** *Tá dissolvendo também. Se esperar um tempo, vai ficar igual aquele que a gente misturou.*

Solicitada a explicar o fenômeno sem agitação, S2 atribuiu à água o papel ativo de circundar as partículas do suco (**EER união física submicro**):

**S2:** *A (partícula) da água, ela vai até no suco que está no fundo... tipo por causa da afinidade com ele e vai fazendo ela própria o suco ficar no centro (se refere à disposição das esferas que representa as partículas “depois” na figura 7.19c). E se a gente deixar esse aqui (mistura sem agitação), por exemplo, de hoje pra amanhã, ele vai ficar mais parecido com aquilo ali (mistura preparada anteriormente com agitação).*

**P:** *As partículas da água se movimentam?*

**S2:** *É, elas têm que movimentar, senão não tem como chegar no suco.*

**P:** *E as de suco, se movimentam?*

**S2:** *Essas não. Só na hora que caem no copo.*

**P:** *Se a gente retomasse essa representação (figura 7.14), o que você aprendeu sobre o movimento das partículas nos três estados físicos da matéria?*

**S2:** *Que no gasoso elas movimentam muito, no líquido mais ou menos e no sólido... acho que só um pouquinho.*

**P:** *No caso do suco, qual o estado físico dele?*

**S2:** *É sólido. Ah, então movimenta, mas é pouquinho. Quem tem mais movimento é a água.*

Na tentativa de contemplar o aspecto processual da dissolução em sua explicação, S2 conjugou a ideia de união física entre as partículas com uma “animação” da representação da solvatação na qual as partículas de água se movimentavam até as de suco e as circundavam. Nesse momento da entrevista, S2 reforça sua ideia inicial de movimento das partículas restrito às da água. Isso pode ter ocorrido devido à saliência do aspecto perceptual da maior fluidez do líquido em relação ao sólido. Ela só passou a cogitar a possibilidade de movimento das partículas do suco após conseguir associá-lo

à representação do estado sólido que ela já havia discutido com sua professora em sala de aula e recapitulado anteriormente com a pesquisadora.

Questionada sobre o fato de, após dissolvido, o suco não voltar para o fundo (questão geradora) – algo que S2 pôde constatar a partir da observação do sistema preparado com agitação no dia anterior –, ela inicialmente não conseguiu formular uma explicação.

**S2:** *Porque assim as águas já estão em volta do suco e não tem uma coisa pro suco descer. Eles vão continuar misturados. Só se você deixar parado muito tempo...*

**P:** *Nós deixamos essa primeira mistura em repouso desde ontem. O suco desceu?*

**S2:** *Não. Aí eu não sei explicar.*

Após a pesquisadora fazer uma nova questão geradora, S2 tentou formular uma explicação com base na densidade. Entretanto, ao se conscientizar da inconsistência de sua explicação, ela não conseguiu propor uma nova explicação que envolvesse a interação entre as partículas:

**P:** *E se eu desse umas batidas aqui no vidro, eu poderia afastar as partículas de água das de suco e fazer com que elas descessem? (Realiza o procedimento).*

**S2:** *Não. Tinha que ser porque se misturam. Porque olha o giz, por exemplo, o giz e a água... Por que o giz desceu? Porque não se mistura, porque ele é mais denso que a água também. Só que o pozinho do suco, ele não é mais denso que a água. (...) Ele (o pó do suco) é mais denso, mas depois, por ele está misturado (provavelmente, querendo dizer dissolvido), não fica denso.*

**P:** *Se o giz e o suco são mais densos do que a água, como você disse, como você explica, através da densidade, que o suco se dissolve e o giz não?*

**S2:** *Acho que não dá pra explicar pela densidade.*

**P:** *Então, como poderíamos explicar isso?*

**S2:** *Não sei.*

A partir desse ponto, a pesquisadora solicitou esclarecimentos sobre como ela imaginava a constituição das partículas de água e sua representação. Após S2 afirmar que elas seriam constituídas de átomos de hidrogênio e oxigênio na proporção de 2:1, foi realizada uma recapitulação das características do modelo atômico de Bohr mencionadas na atividade de “Introdução às Analogias” (Anexo 1). A pesquisadora, então, retomou a discussão na tentativa de que ela estabelecesse relações a partir desses aspectos recapitulados e reformulasse sua representação do processo de dissolução:

**P:** *Você vê alguma relação entre o que acabamos de discutir e suas representações para as partículas de água e de suco da figura 7.19?*

NILMARA BRAGA MOZZER

**S2:** *Elas são todas feitas de átomos.*

**P:** *E partindo dessa ideia, você poderia tentar me explicar novamente, porque o suco depois de dissolvido não volta para o fundo?*

**S2:** *Porque é como... Não é muito diferente de um átomo. Acho que gente poderia até comparar com o átomo mesmo! Tem tipo o núcleo que é a partícula de suco e as partículas de água como se fossem os elétrons. (...) É como se a partícula de suco fosse o núcleo e ela tivesse só prótons e nêutrons. Isso já é uma diferença, né? Porque ela é feita de átomos, então tem elétrons também. E a água fosse os elétrons circulando ao redor, mas eu sei que as partículas de água também não são formadas só de elétrons.*

**P:** *E qual seria a principal semelhança entre esses sistemas que você está comparando?*

**S2:** *Porque existe uma atração dentro do átomo e também entre as partículas de suco e água. Quando elas passam uma perto da outra, se atraem.*

O pedido da pesquisadora para que S2 tentasse relacionar o conhecimento sobre o átomo de Bohr com a sua representação das partículas fez com que ela as reconhecesse como formadas de átomos e, ao reconhecê-los como sistemas dotados de força de atração eletrostática, reconhecesse a relação de similaridade entre o átomo e o sistema 'suco e água' que lhe permitiria explicar a união estável entre as partículas deste sistema (**EER interação submicro**). Ela também parece ter sido capaz de incorporar a informação de movimento das partículas em sua representação mental do processo e de identificar uma importante diferença em relação à constituição dos elementos dos sistemas colocados em correspondência (núcleo : partículas de suco :: elétrons : partículas de água), demonstrando, assim, a influência de um EER mais elaborado no seu raciocínio analógico.

A pesquisadora orientou a análise por S2 dos sistemas 1 e 2 quanto às diferenças nas intensidades das interações entre partículas de substâncias diferentes. Esse processo pode ser ilustrado através do diálogo a seguir:

**P:** *Deixa eu perguntar: o que você observou aqui (aponta para o sistema 'suco e água'), é a mesma que você observou aqui (aponta para o sistema 'giz e água')?*

**S2:** *Não, mas por ser partículas também, eu acho que eles se atraem. Eles tem que se atrair porque todas são partículas com cargas.*

**P:** *Mas, por que, então, você acha que o giz não se dissolve?*

**S2:** *Porque depende da partícula.*

**P:** *Como assim?*

**S2:** *As atrações devem ser diferentes. A atração daqui (aponta para o sistema 'suco e água') é maior; e aqui (aponta para o sistema 'giz e água') é muito pouca, eu acho.*

**P:** *Seguindo esse seu raciocínio: como as partículas de giz se comportam entre si?*

**S2:** *Se atraem.*

**P:** *E de água com outra de água?*

**S2:** *Se atraem.*

**P:** *E de giz com a de água?*

**S2:** *Elas não se atraem!*

**P:** *Mas você não disse que todas as partículas têm carga?*

**S2:** *Se atrair, tem que ser muito pouco, porque elas não chegam perto!*

**P:** *E como você sabe isso?*

**S2:** *Porque, ele não... não misturou igual o suco na água.*

**P:** *E você seria capaz de usar sua última comparação para me explicar isso?*

**S2:** *Não. Eu acho mais fácil explicar igual eu fiz agora.*

Solicitada pela pesquisadora a utilizar sua analogia na tentativa de tornar mais claros os novos aspectos considerados no comportamento dos sistemas observados, S2 se declarou incapaz de fazê-lo. Apesar disso, ao ser confrontada com as novas situações envolvendo os mesmos fenômenos apresentados na Atividade 4 (a não dissolução do óleo em água e a dissolução do vinagre em água – Anexo 2), S2 foi capaz de compará-las aos fenômenos observados nos sistemas ‘giz e água’ e ‘suco e água’ e de generalizar o **EER interação submicro** no fornecimento de suas explicações. Isso pode ser observado nas citações de trechos de suas respostas escritas a seguir:

*“O óleo não se dissolve na água porque a atração entre a água e o óleo não é uma atração tão forte, ela não acontece com tanta força, como no giz com a água. Aconteceu a mesma coisa praticamente (que no sistema ‘giz e água’), com a diferença que o óleo é líquido e o giz é sólido.”*

*“(...) a atração entre o vinagre e a água é maior, mais ou menos como no suco com água. A diferença é que os dois são líquidos (vinagre e água) e o suco é sólido. E todas essas atrações são provocadas pelas cargas elétricas dos átomos das partículas.”*

Finalmente, apresentamos o quadro 7.3, que contém alguns dos conceitos-em-ação, teoremas-em-ação e os indícios de sua fundamentação identificados a partir da análise das condutas de S2 ao vivenciar as atividades de modelagem e o quadro 7.4, com os esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados e associados às situações da modelagem.

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Indícios dos invariantes
Matéria	1- A matéria líquida é contínua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão da dissolução do giz pela água.</li> <li>• Estabelecimento das diferenças entre previsto e observado.</li> </ul>
	2- Pó ou grão e gota são as unidades fundamentais da matéria sólida e líquida, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação de que o giz solta pó em contato com as mãos.</li> <li>• Associação da efervescência com a liberação de pó.</li> <li>• Representação das partículas de água na figura 7.13.</li> </ul>
	3- A matéria pode ser formada por um conjunto <i>compactado</i> ou <i>descompactado</i> de partículas (pó, grão ou gota).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciação entre o suco (pó) e o giz (sólido) na comparação entre seus processos de dissolução.</li> <li>• Representação dos estados físicos da matéria nas figuras 7.14 e 7.15.</li> </ul>
	4- A matéria em pó apresenta um estado físico particular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferenciação entre o suco (pó) e o giz (sólido) na comparação entre seus processos de dissolução.</li> </ul>
	5- O movimento das partículas depende do estado físico da matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'suco e água'.</li> <li>• Explicações iniciais para a dissolução do suco com e sem agitação.</li> </ul>
	6- As partículas da matéria são dotadas de movimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recapitulação de seus conhecimentos sobre o modelo cinético-molecular.</li> <li>• Mapeamento das similaridades na comparação das interações entre partículas subatômicas e as partículas de soluto e solvente.</li> </ul>
	7- A matéria é constituída por partículas submicroscópicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentação do giz em sua dissolução hipotética (figura 7.20).</li> <li>• Esclarecimentos dos códigos de representação da figura 7.19, após a revisão do modelo.</li> </ul>

Quadro 7.3. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S2 e os indícios de sua fundamentação.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Interação	1- A interação depende da resistência/fragilidade de um material em relação ao outro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão e explicação inicial para o comportamento do giz em água: dispersão das partículas-pó pela ação da água.</li> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'pedra e água'.</li> </ul>
	2- As partículas das diferentes substâncias interagem por afinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre os sistemas 'suco e água' e 'açúcar e água'.</li> </ul>
	3- A interação entre partículas é algo físico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre a dissolução do suco e a disposição de caixas.</li> <li>• Esclarecimentos dos códigos de representação da figura 7.19, após a revisão do modelo.</li> </ul>
	4- A interação entre as partículas é eletrostática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre as interações entre partículas subatômicas e as partículas de soluto e solvente.</li> </ul>
Dissolução	1- A dissolução é um processo de dispersão das partículas do soluto no solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Associação com a liberação de partículas de pó em água.</li> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'pedra e água'.</li> </ul>
	2- A dissolução é um processo em que as partículas do soluto e do solvente entram em contato físico umas com as outras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre a dissolução do suco e a disposição de caixas.</li> <li>• Representação da figura 7.19, após revisão do modelo.</li> </ul>
	3- A quantidade de soluto que se dissolve depende da quantidade de solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação de que parte do suco se decantou durante o preparo da mistura.</li> </ul>

Quadro 7.3. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S2 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
	4- A dissolução é uma reação; um processo de transmutação das partículas do soluto e do solvente, que têm afinidade entre si, em um tipo diferente de partícula.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação da figura 7.17.</li> <li>• Comparação entre a dissolução do suco e a do açúcar.</li> </ul>
Dissolução	5- A dissolução é um fenômeno que envolve interações eletrostáticas entre as partículas das substâncias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre as interações entre partículas subatômicas e interações entre as partículas de soluto e solvente.</li> </ul>
	6- A intensidade das interações varia de acordo com o tipo de substância.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contraposição entre os sistemas 1 e 2.</li> </ul>

Quadro 7.3. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S2 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Prever o comportamento do giz em água (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz solta pó em contato com as mãos, ele também o soltará em contato com a água.	O dado experimental saliente (liberação de pó na mão) deve ser transportado para a situação prevista (dissolução do giz).	Relacionar a fragilidade do giz ao seu comportamento em água.	Matéria (1), (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Descrição do comportamento observado para o sistema 1.	Espalhamento meso	Se o giz solta pó em contato com as mãos, ele também o soltará em contato com a água. Se o giz solta bolhas, estas são a manifestação da liberação do pó em água.	O dado experimental saliente (efervescência) deve ser adaptado para satisfazer a previsão de dissolução do giz.	Conciliar a efervescência observada com a situação prevista.	Matéria (1), (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 1).	Espalhamento meso	Se a água não ficou branca, o processo é lento devido à compactação das partículas-pó.	Os dados experimentais devem ser adaptados para satisfazer a previsão de dissolução do giz.	Explicar a coloração da água observada, mantendo-se fiel à previsão inicial.	Matéria (1), (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se efervescência é evidência de reação no sistema comprimido efervescente e água, o giz está “tipo reagindo”. Se o giz dissolve em água e ocorre efervescência, esta ocorre pela separação das partículas de água e das partículas do giz em queda no recipiente.	A efervescência deve ser explicada por comparação a um domínio análogo. O processo de espalhamento das partículas deve fornecer a causa da efervescência.	Conjugar os dados experimentais salientes da efervescência e liberação de pó na explicação.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se as partículas de suco, como as de giz, se espalham na água, são envolvidas pelas partículas de água e se fundem, os processos são similares. Se as partículas-grão do suco se encontram mais afastadas do que as partículas-pó do giz, elas se organizam de maneira diferente.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser sua apresentação como uma mistura homogênea pelo desaparecimento das partículas do soluto. A diferença deve ser o “estado físico” dos solutos suco e giz.	Explicar a formação de uma solução branca na adição do giz à água.	Matéria (2), (3), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Rever as representações do sistema 1.	Espalhamento meso	Se em uma reação as partículas se adicionam e se transmitem e se não são observadas alterações macroscópicas na estrutura do giz, suas partículas não se dispersam em água.	As diferenças entre as representações de uma reação e da dissolução devem ser consideradas. A integridade física do giz deve ser considerada como evidência de sua não dissolução na água.	Conciliar representações e dados experimentais.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Elaborar uma analogia para o sistema 1, considerando as revisões dos modelos.	Espalhamento meso	Se uma pedra, como o giz, não se dissolve em água, os processos de não dispersão das partículas-pó pela água são similares. Se existem pedras de peso variável e elas são mais “apertadas” do que o giz, os sistemas são diferentes nestes aspectos.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser sua apresentação como uma mistura heterogênea. As diferenças devem ser o peso e o grau de compactação dos solutos.	Ilustrar a não dispersão das partículas do giz na água.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (1) Dissolução (1)

Quadro 7.4. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S2.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Prever o comportamento do suco em água (sistema 2).	Reação meso	Se o giz não dissolve em água e este é um processo contrário ao que ocorre com o suco, o suco dissolve. <sup>62</sup>	O conhecimento desenvolvido sobre o sistema 'giz e água' deve ser usado.	Fundamentar a previsão no contraste com o comportamento do giz em água.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (2) Dissolução (4)
Descrição do comportamento observado para o sistema 2.	Reação meso	Se as partículas do suco e da água formam uma mistura homogênea pela agitação do sistema, as partículas-gota da água encontram e envolvem as partículas-grão do suco e estas se fundem.	Os dados experimentais salientes do desaparecimento do soluto pela agitação e da mudança de cor da água devem ser considerados na explicação.	Relacionar os dados experimentais salientes.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (2) Dissolução (4)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 2).	Reação meso	Se o sistema assumiu uma coloração menos intensa do que a prevista, ele não foi agitado. Se as partículas-grão decantam, não há partículas-gota suficiente para a transmutação completa.	Os dados experimentais da coloração menos intensa e da parte do suco que não se dissolveu em água devem ser considerados na explicação do comportamento dos componentes.	Explicar a diferença de coloração inicial e final do sistema e a dissolução parcial do suco em água.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (2) Dissolução (3), (4)
Explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se a água muda de gosto e cor quando se adiciona o pó, as partículas-grão do suco se espalham no sistema e, junto com as partículas-gota da água, se transmutam em suco.	As mudanças de cor e sabor observadas na água (dados experimentais salientes) devem ser consideradas na explicação do comportamento das partículas.	Relacionar os dados experimentais salientes ao comportamento das partículas.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (2) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se o açúcar dissolve em água e forma água açucarada e o pó do suco também, formando suco, os processos que ocorrem com suas partículas são similares. Se o sabor do suco é diferente do da água açucarada, os sistemas se diferem neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a mudança de sabor da água. A diferença deve ser o sabor assumido pela água em cada um dos sistemas.	Ilustrar sistemas que sofrem as mesmas alterações no solvente.	Matéria (2), (3) e (5) Interação (2) Dissolução (4)
Rever as representações do sistema 2.	União física submicro	Se o giz se dissolvesse em água, suas partículas-pó se fragmentariam. Como o suco se dissolve, isso ocorre com suas partículas-grão. Se as minúsculas partículas de suco resultantes da fragmentação não são englobadas pelas minúsculas partículas de água, elas se unem. Se isso ocorre com as partículas do suco e da água no submicro, também ocorre com as de açúcar e água e suas diferenças são macroscópicas.	A facilidade de fragmentação do giz deve ser usada para explicar o comportamento das partículas do suco em água. A existência de partículas minúsculas de soluto e de solvente deve ser considerada. As similaridades e diferenças entre os sistemas devem ser avaliadas de acordo com o nível de representação.	Reformular a representação do processo considerando a fragmentação e a conservação das partículas dos componentes.	Matéria (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (2)

Quadro 7.4. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S2 (continuação).

<sup>62</sup> Ao retomar suas explicações anteriores, S2 expressou a ideia de transmutação de partículas, a qual não havia expressado quando, inicialmente, comparou os sistemas 'giz e água' e 'suco e água'.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Elaborar uma analogia para o sistema 2, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se as partículas do suco e da água são como as caixas, sua união se dá por contato físico e ambos os sistemas podem gerar arranjos organizados. Se as partículas do sistema 'suco e água' e as caixas grandes e pequenas forem consideradas no submicro, os sistemas são diferentes quanto ao número de unidades elementares de seus componentes.	As semelhanças devem ser a organização e a integridade física das entidades. A diferença deve ser o(s) tipo(s) de unidade(s) elementar(es) dos componentes.	Explicar a união entre as partículas de soluto e de solvente, sem transmutação.	Matéria (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (2)
Elaborar uma analogia para explicar a dissolução sem agitação.	Interação submicro	Se o núcleo atômico atrai os elétrons em movimento à sua volta e se as partículas de suco e água em movimento se atraem, os sistemas são similares nesses aspectos. Se as partículas do sistema 'suco e água' são constituídas de átomos e os prótons, nêutrons e elétrons são subpartículas destes, os domínios são diferentes neste aspecto.	As semelhanças entre os sistemas comparados devem ser a atração entre partículas e a existência de movimento. A diferença deve ser a constituição das partículas.	Explicar a formação da solução e a não decantação das partículas de suco.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5)
Contrastar os processos de dissolução do suco e de não dissolução do giz usando as analogias <sup>63</sup> .	Interação submicro	Se todas as partículas da matéria possuem carga, elas podem interagir. Se os materiais são diferentes, a intensidade das interações que estabelecem é diferente.	A natureza das interações e a diferença de intensidade devem ser consideradas.	Explicar a diferença de comportamento dos sistemas com base nas interações entre partículas carregadas.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)
Estender as possíveis inferências a outras situações relacionadas aos processos 1 e 2.	Interação submicro	Se o óleo não se dissolve em água assim como o giz, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar. Se o vinagre se dissolve em água assim como o suco, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar.	As intensidades das interações eletrostáticas soluto-solvente e das demais interações (soluto-soluto e solvente-solvente) devem ser consideradas em qualquer processo de dissolução (ou não dissolução).	Relacionar o comportamento das partículas nos novos sistemas aos anteriores.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)

Quadro 7.4. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S2 (continuação).

<sup>63</sup> S2 declarou não ser capaz de usar sua analogia com o átomo para explicar as diferenças de intensidade das interações. Esses aspectos derivaram da discussão orientada pela pesquisadora.

### 7.3. Estudo de caso 3

S3 tinha 15 anos e, como os sujeitos anteriores, não havia repetido nenhuma série até aquele ano. Ela era filha dos diretores e donos da escola e se considerava muito ruim, apesar de interessada, no que diz respeito aos seus conhecimentos sobre Química. No início da entrevista, por diversas vezes teve que ser incentivada pela pesquisadora a expressar verbalmente suas ideias, uma vez que dizia ter “*medo de dizer bobagem*”.

Como no caso dos outros sujeitos, as atividades se iniciaram com a de “Introdução às Analogias” (Anexo 1) e com a pesquisadora sempre tentando auxiliar S3 na adequada correspondência, na identificação de relações relevantes e das diferenças entre os domínios comparados.

Dando início às tarefas da Atividade 1 (Anexo 2), S3 descreveu o giz da seguinte maneira:

**S3:** *Ele é branco... Ele é maciço... Não! Ele tem uns buraquinhos...*

Enquanto descrevia, S3 esfregava o giz no dedo e observava o pó deixado em sua mão. Naquele momento, ela nada afirmou sobre o fato. No entanto, ao fornecer uma previsão para o que ocorria na mistura de giz e água, ela utilizou o dado anterior para justificar o previsto, como mostra a citação a seguir:

**S3:** *Algumas partes dele vai saindo na água... (segura o giz com uma mão e com a outra faz um movimento de afastamento em relação àquele objeto – figura 7.21) alguns componentes, elementos dele vai sair na água. Aí ele vai diminuir. Vai ficar na água... vai ficar aí boiando. (...) Porque... ué eu estou passando a mão nele e está saindo na minha mão. Na água... então, acho que a água vai dissolver ele mais rápido.*

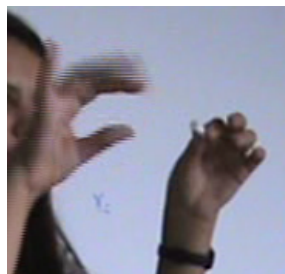


Figura 7.21. Representação gestual do processo de dissolução do giz elaborada por S3.

Como se pode notar, assim como a previsão de S2, a de S3 estava atrelada ao fenomenismo perceptual. Isso pode ser confirmado pelo esclarecimento de S3 sobre o termo “dissolver” utilizado anteriormente:

**S3:** *É... sei lá... vai diminuindo, vai perdendo os componentes dele (repete os gestos anteriores), ele vai... se desfazendo na água. Não sei.*

Portanto, inicialmente, S3 parecia conceber a dissolução como um processo de dispersão das unidades da matéria – no caso do giz, suas partículas-pó – em meio ao solvente e por ação deste (**EER espalhamento meso**).

Ao observar o fenômeno, S3 o descreveu da seguinte maneira:

**S3:** *Está saindo bolinha... de ar. A água está entrando dentro do giz e está expulsando as bolinhas, mas ele não está dissolvendo.*

Como diferenças entre o previsto e observado, S3 identificou as seguintes e justificou:

**S3:** *Oh, eu achei que ele ia ir se desfazendo... No princípio eu achava que ele era maciço, mas não é, porque a água entrou dentro dele. E... e eu achava que ela iria desfazer e acabou que não desfez. E eu ainda achava que ele ia boiar e ele afundou.*

**P:** *E por que você acha que aconteceu assim desse jeito diferente?*

**S3:** *Ficou pesado. Ele afundou, porque tava lá com ar, aí a água foi entrando no lugar, ocupou o espaço vazio que tinha e ele desceu. E eu achava que ele ia dissolver, que a água ia desfazer ele.*

**P:** *E por que não dissolveu?*

**S3:** *Eu acho que... às vezes o componente dele não... Sei lá! Sabe quando não bate?*

**P:** *Tenta me explicar melhor esse “não bate.”*

**S3:** *Ué, porque igual quando você coloca lá o pozinho pra fazer um suco, por exemplo, aí o pozinho do suco, o componente do pozinho do suco ele meio que encaixa com o da água. Aí ele... desfaz lá e vira o suco. Nesse não deu! Porque a água não conseguiu desfazer ele.*

Através dessa citação é possível perceber que, para S3, um material maciço seria aquele que impediria a entrada de água devido à inexistência de espaços vazios em sua estrutura. Isto indica que o fenomenismo perceptual atrelado à observação de um material compacto determinou a crença inicial de S3 na inexistência de espaços vazios nesse tipo de matéria.

Por outro lado, a observação da entrada da água e saída das bolhas de ar no giz confirmou, para ela, a ideia posterior sobre a existência de “buraquinhos” em sua estrutura, manifestada na descrição deste objeto. Estes foram assumidos como

“*espaços vazios*”, preenchidos de ar. Tal inconsistência poderia se originar do fato de S3 não conceber a existência de vazio.

À representação mesoscópica das partículas-pó do material juntou-se a ideia de que estas não se dispersariam, uma vez que o giz não se “desfez” pela ação da água (**EER espalhamento meso**). O processo é contrastado à dissolução do suco em pó em água, justificada pela “afinidade” (tendência combinatória) das partículas desse soluto com as do solvente. Apesar disso, a explicação do termo dissolução, associado ao processo que ocorria com o giz, permaneceu baseada na capacidade de a água promover ou não a dispersão de suas partículas.

Na previsão sobre o que ocorreria na adição de suco de uva em pó à água, S3 só reforçou o que já havia afirmado quando contrastou o comportamento desse sistema com o do giz e água: o suco iria se dissolver na água através de uma espécie de “encaixe” entre os componentes do suco e da água que têm afinidade e a mistura iria ficar roxa, devido ao suco de uva que se formaria (**EER reação meso**).

Após adicionar o pó do suco na água e observar o processo, S3 manifestou sua decepção quanto ao fato de o sistema ‘giz e água’ contrariar suas previsões de dissolução através do seguinte comentário:

**S3:** *Ah, o giz também devia ter feito isso!*

Em seguida, retomou a ideia de que o fenômeno da dissolução do suco em água ocasionaria a formação de “*um novo elemento*”, “*uma outra coisa*” evidenciada pela mudança de cor e de sabor. Ou seja, naquele momento, S3 demonstrou, mais uma vez, conceber a dissolução como uma reação (**EER reação meso**), como evidencia a citação a seguir:

**S3:** *Essas partículas, essas moléculas que tem na água... lá na água, tem um monte de partículas, né? Aí, quando eu tacho o suco, o pozinho, na verdade, a partícula do suco junta com a da água e forma um... não sei se um novo elemento... É como se fosse um novo... Forma uma outra coisa, vira uma água roxa, com gosto.*

Em resposta à solicitação para que identificasse as diferenças entre o previsto e o observado, S3 disse que tudo havia ocorrido como o previsto e, espontaneamente, afirmou:

**S3:** *Se eu deixar isso aqui, uma parte do pozinho do suco vai descer pro fundo. (...) Porque, acho que não tem... não deve ter partícula suficiente.*

**P:** *Partícula suficiente?*

**S3:** *É! De água, suficiente para tudo do suco. Aí, ele fica lá no meio e depois vai descendo. Quando está mexendo assim (agita a mistura com a colher), fica lá no meio. Quando fica paradinho, aí desce.*

Através da descrição desse processo de decantação do excesso de soluto, baseada em suas experiências anteriores no preparo de sucos em pó, S3 expressou a ideia de que a quantidade de soluto dissolvida depende da quantidade do solvente presente. Tal ideia influenciou amplamente a comparação por ela estabelecida em um momento posterior da realização das atividades.

Subsequentemente, como parte da Atividade 2 (Anexo 2), a pesquisadora esclareceu a diferença entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e submicroscópico e solicitou a representação neste último nível dos componentes dos sistemas antes, durante e após as misturas. Após os esclarecimentos, S3 representou o giz antes da sua adição em água (figura 7.22a), detalhou alguns aspectos estruturais (figuras 7.22b e 7.22c) e, em seguida, explicou suas representações:

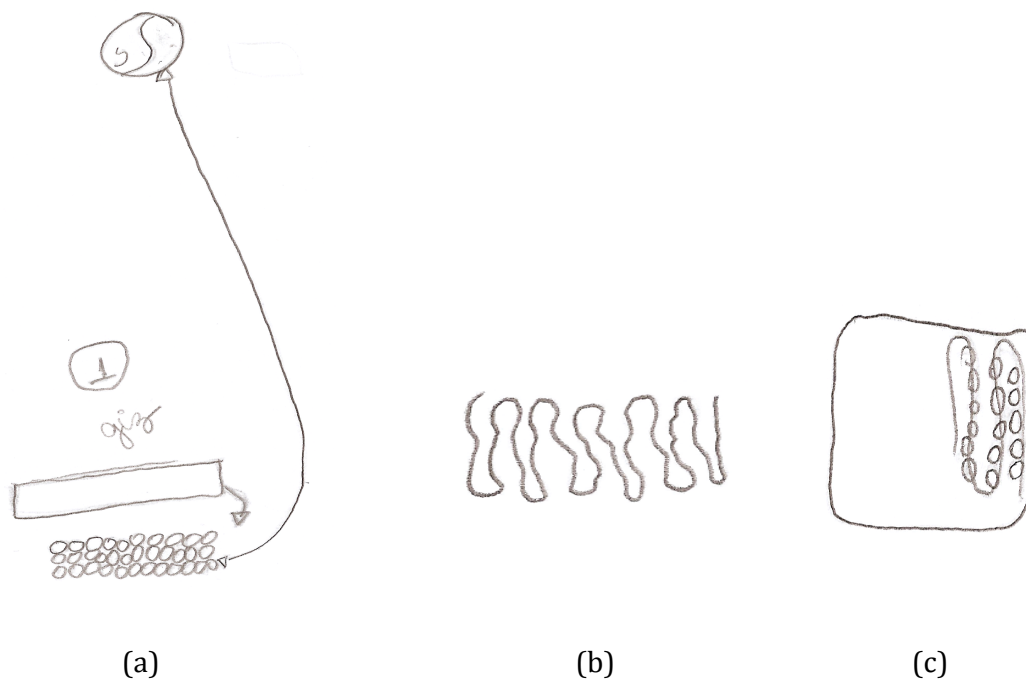


Figura 7.22. Representação do giz antes da mistura em água (a) elaborada por S3. Detalhes de sua estrutura (b) e (c).

**S3:** *Olha, antes de colocar na água, eu achava que o giz era cheio de partícula de pozinho, assim bolinha... assim juntinha, uma bem coladinha na outra, por isso, que dava para ver ele assim todo lisinho, todo... essa coisa redondinha, bonitinha e as partícula todas alinhadinhas (aponta para a figura 7.22a). E sei lá! Entre elas, alguma coisa que mantinha elas atraídas, sabe (aponta para a figura 7.22b)?*

**P:** *E o que seria isso? (Aponta para a mesma figura 7.22b).*

**S3:** *Isso seria alguma coisa que teria entre elas, que faria elas ficarem alinhadas e assim coladinhas uma na outra. Parecido com... deixa eu pensar... É como se fosse uma cordinha. Como se elas tivessem presas em uma corda, uma corda grande que a gente vai enrugando ela assim (representa o desenho da figura 7.22c), sabe? Elas tivessem presas nessa cordinha e aí a corda vai fazendo... fazendo ziguezague e as bolinhas estão em cima dela.*

A citação anterior evidencia que S3 imaginava o pó como as partículas formadoras do giz (nível mesoscópico). Estas se manteriam compactadas por intermédio de algo material que seria responsável também pela estrutura organizada daquele sólido.

Em seguida, apesar de continuar achando que as partículas-pó eram a unidade formadora do giz, ela cogitou a possibilidade de que cada uma daquelas partículas fossem constituídas por componentes diferentes (X e Y), dispostos em hemisférios opostos e unidos por um contato físico entre eles (figura 7.22a parte superior).

**S3:** *Aquela... aquele pozinho branco que estava saindo da minha mão, acho que ali nele pode ter um monte de partículas diferentes. Essas partículas têm... vamos chamar de X e de Y. Você pega lá o "X" que é uma bola grande, o "Y" que é um quadradinho, aí você junta os dois, entendeu? Eles se combinam, eles juntam. É como se eles ... colassem um no outro e ficasse assim (representa a união de duas espécies como um círculo com uma divisão interna na parte superior da figura 7.22a, conectado por uma seta dupla à sua representação da partícula de giz na parte inferior) igualzinho aquele brigadeiro (parece se referir ao doce de festas, cujas metades possuem colorações diferentes), sabe?*

Essas duas citações nos permitem dizer que, para S3, a união entre partículas, fossem elas partículas-pó ou seus componentes, era física.

Com relação à sua representação para a água antes da mistura (figura 7.23), ela explicou:

**S3:** *A água é formada por um monte de gotinhas e nessas gotinhas, como se tivessem pedacinhos de... Não sei... um monte de... dessas coisas, as partículas (aponta para as bolinhas representadas na figura 7.23). (...) Na água eu já acho que têm umas mais separadas... mais separadas umas das outras, mas não tem como elas saírem. Elas meio que se envolvem ali umas com as outras.*

**P:** *Me explica melhor isso. Não tem jeito das partículas de água saírem? Como assim?*

**S3:** *Saírem assim, de perto uma da outra. Sabe? Mesmo que elas estejam afastadas, elas estão meio que interligadas, não sei! Meio é... Elas estão se movimentando aqui, mas elas não vão ficar coladinhas igual as do giz. Acho que no líquido fica um pouco mais... um pouco mais... atrapalhado.*

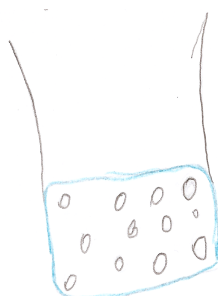


Figura 7.23. Representação da água antes da mistura elaborada por S3.

Como se pode constatar a partir dessa explicação, para S3, as partículas de água também se encontravam “interligadas”, porém, mais fracamente e mais afastadas do que as do giz. Isso lhes possibilitava uma maior liberdade de movimento (e uma menor organização do sistema) do que as do giz que, por sua vez, pareciam ser concebidas como imóveis. Essas ideias pareceram embasar suas representações para os estados físicos sólido e líquido naquele momento da entrevista.

Ao ser solicitada a representar e explicar o processo ocorrido na mistura de giz e água no nível submicroscópico, S3 elaborou o desenho apresentado na figura 7.24 e esclareceu as mudanças que operou em sua representação mental do giz:

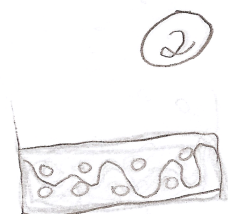


Figura 7.24. Representação da mistura giz e água elaborada por S3.

**S3:** *Depois que eu coloquei o giz na água, eu vi que as partículas dele não estavam tão juntinhas como eu pensava. Vou desenhar elas aqui separadas (esferas da figura 7.24) e entre elas tinha ar. Quando eu coloquei ele na água, no copo com água, a água foi entrando entre o ar (ondulações da figura 7.24) e foi ocupando o espaço que estava vazio, mas não desfez o giz. E aí esse ar... ele foi... Como não estava na superfície, esse ar foi subindo em forma de bolinhas.*

É interessante notar que, apesar de ter mencionado anteriormente que o “pozinho” poderia ser constituído de unidades menores, S3 não lançou mão dessa ideia quando propôs um modelo para a mistura giz e água, provavelmente porque a ideia das partículas-pó ainda lhe parecesse mais coerente. Nesse modelo, a água “contínua”

(e não suas partículas) transitava por entre as partículas-pó e expulsava o ar, sem no entanto conseguir separar suas partículas (**EER espalhamento meso**).

Mais uma vez, S3 expressou a ideia de que a presença de ar entre as partículas era sinônimo de “espaço vazio”, apontando para o fato de não conceber a existência de vazio. Essa ideia apareceu, ainda, na comparação que ela estabeleceu para a mistura dos componentes:

**S3:** *Igual quando você pega um tanque e coloca uma toalha lá dentro. A água entra na toalha e tira o espaço vazio que está lá dentro e ele sai, mas não dissolve a toalha. (...) O giz também tem o espaço vazio e, quando ele é ocupado pela água, o ar é meio que expulso, né? (...) Acho que o espaço vazio manteria ele (o giz) aqui em cima, mas como ele (o espaço vazio) saiu, ele (o giz) pesou, né?*

*(...) As diferenças? Eu acho que a toalha está muito mais espaçada, tem muito mais espaço vazio nela, acho até pelo fato de ser maior e aqui (giz) não; aqui já está um pouco mais perto. Você afunda a toalha, sai aquele monte de bolinha! E no giz não; sai menos.*

No estabelecimento dessa comparação, o aspecto perceptual mais notável – a liberação de bolhas – determinou a seleção do domínio análogo por S3. De acordo com seu conhecimento saliente, a toalha seria estruturalmente semelhante ao giz: formada de emaranhados de partículas coladas, intercalados por espaços vazios; e se comportaria da mesma maneira: quando mergulhada em água, suas partículas (também imaginadas em escala meso) não se dispersariam e ocorreria a saída do ar contido nos “espaços vazios” (**EER espalhamento meso**). Sendo assim, podemos concluir que tratava-se de uma comparação de mera aparência em que os aspectos físicos determinaram não somente as correspondências, mas também a identificação das diferenças entre os domínios.

Por iniciativa própria, S3 retomou suas observações sobre o sistema ‘suco e água’ e, na tentativa de comprovar a ideia que havia manifestado sobre a dependência entre as quantidades de soluto e solvente, fez a seguinte observação:

**S3:** *Olha o que eu falei! A coisa já está descendo. Aí se eu mexo assim, ele não fica mais forte?! (Se refere à intensidade da cor do suco) (...) Fica! Ele vai descendo, vai descendo, aí ele fica lá no fundo. Aí na hora que eu mexo assim... Quando eu mexi ele ficou... sei lá... a cor dele ficou um pouco mais forte!*

Dando continuidade à solicitação anteriormente feita pela pesquisadora para que representasse os componentes dos sistemas antes, durante e após a mistura, S3 elaborou os desenhos apresentados na figura 7.25.

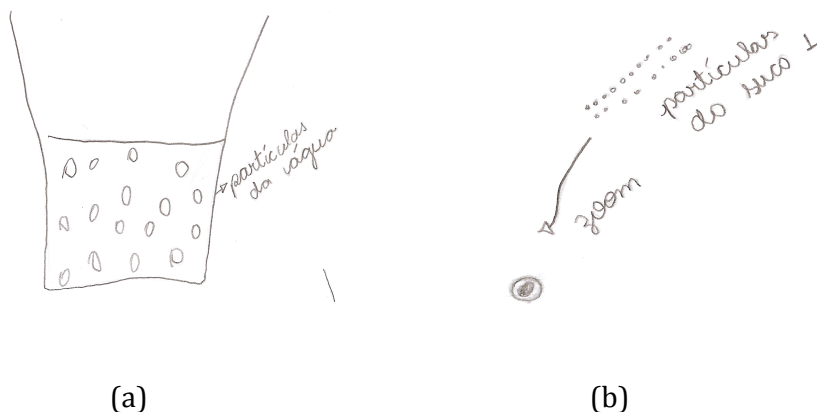


Figura 7.25. Representação da água (a) e do suco em pó (b) antes da mistura elaborada por S3.

Na figura 7.25a, S3 representou a água da mesma maneira que na figura 7.23. Em ambas ela demonstrou confusão entre os níveis macro e submicroscópico, através da representação simultânea da delimitação do nível da água e de suas partículas. No que concerne ao suco, a ideia de partículas-grão foi claramente manifestada em sua explicação para a representação da figura 7.25b:

**S3:** *O suco, eu acho... essas... quando você pega assim o suco, você até coloca ele na mão assim, você vê que ele é um monte de bolinhas pequenininhas, né? Com cor e elas não ficam juntinhas. Eu posso separar elas, se eu for mexendo assim (separa um grão de suco do outro sobre a mesa) eu posso separar, porque não tem muito uma... uma definição para a forma do pozinho não. Até porque eu acho que não tem ar lá dentro igual no giz e... Eu acho, não, eu tenho certeza que não tem!*

Ela usou a evidência da inexistência de ar no interior da partícula de suco para reforçar seu argumento de que se tratava de uma unidade dessa matéria, uma vez que no giz o ar se encontrava no entorno das partículas-pó. Além disso, o suco apresentava características diferentes daquela que ela atribuía à matéria sólida giz, pois suas unidades se encontravam dispersas. A partir dessa ideia, S3 forneceu detalhes sobre sua explicação para o processo de dissolução do suco, da seguinte maneira:

**S3:** *Como eu já tinha falado, eu acho que é um monte de... a água ela é formada por um monte de bolinhas, né? Então o que eu estou vendo aqui agora seria um monte dessas bolinhas. Quando eu coloco o suco lá na água, ele entra dentro da água (se refere às partículas-gota). Então beleza, agora aqui dentro está o pozinho do suco que vai dissolver, vai sumir. Aí essa bolinha (aponta para o círculo em detalhe na figura 7.26 que representa a entrada da partícula de suco na de água), fica com o gosto, com o sabor e com a cor! E aí, como tem suco para*

NILMARA BRAGA MOZZER

*todas essas bolinhas, muda a cor toda dela, fica tudo roxo e com gosto. (...) Eu acho que no eu mexer ajuda a entrar aqui dentro (a partícula-grão na partícula gota).*

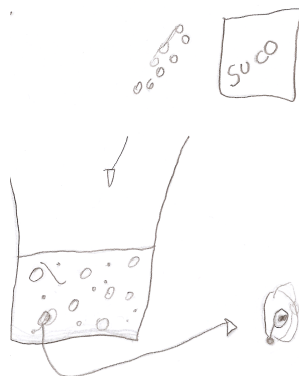


Figura 7.26. Representação da mistura de suco e água elaborada por S3. Detalhe da dissolução como “englobamento”.

O processo de dissolução seria, para S3, um “*englobamento*” da partícula-grão do suco pela partícula-gota de água, que levaria ao desaparecimento dessas partículas e à formação de uma nova “partícula”: a de suco, dotada de sabor e cor (**EER reação meso**). Nota-se, então, a elaboração por S3 de um modelo atrelado ao que ela observou no transcorrer do processo. Isto nos fornece mais indícios de que a construção dos primeiros modelos mentais pelos sujeitos estão fortemente arraigados ao fenomenismo perceptual.

Apesar de ter mencionado em sua descrição para a representação da água (figura 7.23) que as partículas desta se movimentam, para S3 tal movimento não parecia ser suficiente para que a dissolução ocorresse de maneira eficiente, ou ele foi simplesmente desconsiderado, uma vez que ela afirmou que a agitação facilitaria a entrada das partículas-grão nas partículas-gota.

Após essas explicações, S3 retomou sua ideia de excesso relacionada às quantidades de soluto e solvente que vinha espontaneamente construindo ao longo da atividade. Ela afirmou que as partículas de suco que não conseguissem entrar nas de água devido à insuficiência destas ficariam suspensas, mas que depois de um certo tempo, decantariam. A partir dessa ideia, elaborou a seguinte comparação:

**S3:** *Parecido com Fanta®! Você já viu como a Fanta® fica? Quando você pega a Fanta® está cheio de pozinho no fundo, você já viu? Fica lá aquele monte de coisa e quando a gente mexe, ela fica ali no meio. Aí, estou eu lá tomando... Terminei; na hora que eu vou colocar de novo, algumas já até desceram de novo. (...) Semelhança é a questão de ter a partícula de água com o... o composto lá dentro,*

NILMARA BRAGA MOZZER

*que virou Fanta®. Aquele pó, não de suco, mas do que é formado a Fanta®. Uma outra é a questão do excesso ficar depositado no fundo. E uma diferença... deixa eu pensar uma diferença... É diferente no que é feito, né? A composição de cada um é diferente.*

Como anteriormente, S3 estabeleceu uma comparação de mera aparência limitando-se a selecionar, a partir de suas experiências cotidianas, um domínio análogo que compartilhasse o aspecto físico mais notável da mistura suco e água para ela – o excesso de soluto decantado – e um processo de dissolução semelhante ao imaginado e associado às mudanças observadas: “englobamento” de partículas-grão pelas partículas-gota (**EER reação meso**).

Neste momento da entrevista, na tentativa de que ela revisasse suas representações, a pesquisadora lhe solicitou mais detalhes sobre a delimitação observada na representação para o giz, na figura 7.24.

**P:** *O que é esse contorno que você desenhou aqui?*

**S3:** *É como se fosse o limite, aquilo que está limitando ele... Ele não vai sair, ele vai ficar aqui. Por mais que a partícula mexa (aponta para as pequenas esferas da figura 7.24) quando a água entra aqui e tira o ar, ela (partícula de giz) não vai sair daqui não.*

**P:** *E, pensando no nível submicroscópico, essa limitação, como ela é?*

**S3:** *É como se fosse tipo uma pelezinha, sabe? Igual, sei lá... pensa no citoplasma que tem aquela... uma pelezinha, uma película. Não sei como é chamada, mas tem uma fina camada que não deixa... que tipo seleciona quem entra e quem sai, quando a água queria entrar ela deixou mas, ao mesmo tempo, essa paredinha liberou o ar; para poder sair ao mesmo tempo que a água estava entrando. (...) É como se tivesse umas pessoinhas assim que controlassem: você pode, você não pode. Sabe? Porque não é qualquer coisa que entra no giz. (...) É como se fosse... aquela... quando você quebra um ovo assim, aquela pelezinha bem fina que fica em volta da gema.*

Mais uma vez, S3 demonstrou assumir que as partículas do giz não eram dotadas de movimento, uma vez que estas só se mexeriam com a entrada de água. Além disso, o fato de este material apresentar uma superfície externa regular parece ter influenciado fortemente suas representações. Tal aspecto perceptual foi tão saliente, que ela comparou a delimitação à membrana citoplasmática e à “película” (membrana vitelina) da gema do ovo. Ela identificou como semelhanças (i) a função seletiva da membrana como correspondente à seleção imaginada para a delimitação do giz (pois esta permitiria a entrada de água, a saída de ar, mas não a de suas partículas) e (ii) a baixa espessura da película como correspondente à baixa espessura da delimitação do giz.

A pesquisadora, então, lançou mão do recurso imaginativo da “visão de raios X do Super-homem”, solicitando também que S3 raspasse o giz e observasse a composição da sua “delimitação”. Após essas orientações, S3 afirmou:

**S3:** *O limite do giz é feito dele mesmo. O mesmo que tem aqui dentro, as bolinhas daqui de dentro (aponta para a figura 7.24) estão aqui também (aponta para a superfície limitante – figura 7.24).*

Após essas discussões, S3 reformulou sua representação para o giz, representando a superfície por suas próprias partículas e identificando as diferentes formas presentes em sua nova representação (figura 7.27) com os diferentes componentes constituintes das partículas-pó que poderiam compor o giz e que se manteriam unidos por algo físico (constituição do **EER união física submicro**). Parece que a reflexão sobre a constituição submicroscópica da membrana levou S3 a refletir também sobre a constituição das partículas-pó do giz e a não mais considerá-las como a unidade dessa matéria.

**S3:** *Mas pode ter mais coisas. Vamos supor, a cola é formada de acetato de... ela tem acetato de não sei o quê... e outras coisas. Aí, o giz tem outras coisas aí além das bolinhas. Porque, vamos supor... o giz é formado por quatro componentes diferentes. Então, eu tenho bolinha, ao mesmo tempo estrelinha no meio dele, aí eu tenho também coração, entendeu? (...) Que ficariam ali unidas.*



Figura 7.27. Representação reformulada do giz antes da mistura elaborada por S3.

Como aquele mesmo aspecto perceptual comentado para o giz – a regularidade da superfície do material – parecia influenciar também as representações de S3 para a água, a pesquisadora questionou, com base nas discussões anteriores, a presença da delimitação representada nas figuras 7.23, 7.25a e 7.26. S3 parece ter sido capaz de compreender a incoerência de se utilizar os níveis macro e submicroscópico em uma mesma representação, pois em sua nova representação para a água (figura 7.28) e em todas as que se seguiram ao longo entrevista, ela passou a representar, exclusivamente, as partículas submicroscópicas dos componentes das misturas.

NILMARA BRAGA MOZZER



Figura 7.28. Representação reformulada da água antes da mistura com giz elaborada por S3.

**S3:** *Pensando só na água,  $H_2O$ , eu faria... Vamos supor que a bolinha é o hidrogênio e aqui (aponta para o coração) é o oxigênio. (...) Como está junto, eu acho que os dois (hidrogênio e oxigênio) eles se juntam, eles se unem, eles se combinam e formam essa forma de água que a gente vê.*

S3 foi, então, solicitada a representar a mistura de giz e água no nível submicroscópico. Em resposta, ela propôs o desenho apresentado na figura 7.29 e forneceu a explicação da citação a seguir:

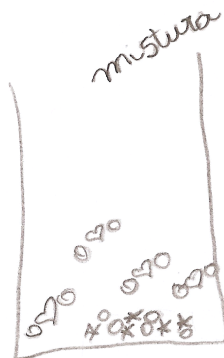


Figura 7.29. Representação reformulada da mistura giz e água elaborada por S3.

**S3:** *As partículas do giz estavam paradas e as partículas de água foram entrando, ocupando o espaço que estava vazio, porque onde elas (partículas de giz) estavam, já estava preenchido, não tinha jeito da água ficar. Aí, elas (partículas de água) ficaram no espaço vazio e o ar foi embora. E as partículas do giz continuaram lá bem unidas, uma com a outra.*

Ao conjugarmos a representação e a explicação de S3 constatamos uma evolução em suas ideias com relação à não dissolução do giz: não dispersão de partículas submicroscópicas – unidas fisicamente umas às outras – quando de sua mistura com a água (esta também representada no nível submicro) (**EER união física submicro**). No entanto, é possível notar também a coexistência entre algumas ideias

coerentes com as científicas e aquelas de imobilidade das partículas de um sólido e de “espaços vazios” da matéria preenchidos de ar. Percebendo a importância de que tais ideias fossem trabalhadas antes de se avançar na realização das atividades, a pesquisadora recapitulou com S3 as representações dos três estados físicos da matéria (figura 7.30), já discutidas em sala de aula com sua professora.

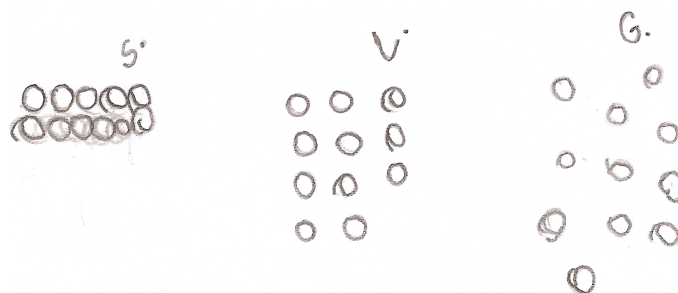


Figura 7.30. Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S3.

**P:** *O que existe entre uma partícula e outra aqui* (aponta para a representação do estado sólido, figura 7.30)?

**S3:** *Tem espaço vazio! É pequeno, mas tem.*

**P:** *E aqui* (aponta para a representação do estado líquido, figura 7.30)?

**S3:** *Aqui tem um pouco mais do que aqui.*

**P:** *E aqui* (aponta para a representação do estado gasoso, figura 7.30)?

**S3:** *Muito mais!*

**P:** *No caso do giz, ele está em qual estado físico?*

**S3:** (Aponta com o lápis para a sua representação do estado sólido, figura 7.30). *Ele tem poucos espaços entre as partículas, não tem?! Então, é porque ele é sólido.*

**P:** *E como são esses espaços?*

**S3:** *Tem ar! O ar é gasoso* (aponta para sua representação do estado gasoso, figura 7.30).

**P:** *E por que você não representou o ar aqui* (aponta para o espaço entre as partículas de giz na figura 7.29)?

**S3:** (Pausa). *Porque aqui* (figura 7.29), *na verdade, eu não estava pensando nas partículas dele* (ar). *Mas se eu penso nelas, vai ter várias partes com partículas de ar, perto delas.*

**P:** *E entre uma partícula e outra de giz?* (Aponta novamente para as partículas da representação da matéria no estado sólido – figura 7.30).

**S3:** *Aí não tem nada, porque elas estão bem pertinho! É espaço vazio só.*

**P:** *Então onde o ar estaria?*

**S3:** (...) *Entre muitas dessas aqui que vão estar juntas* (aponta para as partículas da representação do giz na figura 7.29).

**P:** *E com relação ao movimento das partículas, você pode comparar para mim os três estados que você representou aqui?*

**S3:** *No sólido elas só vibram, porque elas estão muito interligadas. No líquido elas movimentam mais e no gasoso mais ainda.*

Como S2, S3 só declarou a existência de movimento entre as partículas do estado sólido quando solicitada a rever seus conhecimentos de sala de aula. Talvez isso tenha ocorrido porque estes não faziam sentido para ela, ou não se mostravam relevantes na formulação de seus modelos explicativos naquele momento. Ao contrário, as reflexões sobre sua representação submicroscópica para o giz, aliada àquela dos estados físicos da matéria, permitiram que ela refletisse sobre a disposição das partículas constituintes do ar no material, conciliando tal ideia com a de espaços vazios (derivada do conhecimento escolar).

Ao ser solicitada a estabelecer uma comparação para o sistema 'giz e água' com base nas novas discussões, S3 retomou a comparação iniciada anteriormente com a corda que unia as partículas do giz e a desenvolveu:

**S3:** *As partículas do giz estão muito unidas, como se fosse ligadas por aquela cordinha que eu desenhei (se refere à representação da figura 7.22b e 7.22c). Aí, as partículas de água não iam conseguir separar elas, para juntar com elas. Ela (a água) só entrou nos espaços que tinha ar e ele saiu.*

Nessa similaridade literal, o papel da corda foi colocado em correspondência à forte união física existente entre as partículas do giz que impediria sua separação pelas partículas de água para uma posterior união entre ambas (**EER união física submicro**). Consideramos essa comparação uma similaridade literal, porque a aparência saliente de uma matéria compactada como o giz levou S3 a colocar em correspondência a relação funcional que a corda estabelece com os objetos que une e a forte união física entre as partículas de soluto para justificar a não dissolução do giz pela água. Ao ser solicitada a identificar as diferenças entre os domínios comparados, S3 afirmou que eles eram "*diferentes em tudo*" e que a única semelhante era a união. Apesar disso, não explicitou qualquer diferença.

A pesquisadora retomou também a representação do suco proposta por S3 (figura 7.25b), que ainda continha a ideia de partícula-grão, e solicitou que ela esclarecesse o significado de cada uma daquelas bolinhas em relação aos grãos de suco que ela havia espalhado sobre a mesa, pensando no nível submicroscópico:

**S3:** *É como se... Eu acho que não tem nada aqui dentro (aponta para o grão de suco). Só uma bolinha. E essa bolinha... a bolinha já tem o gosto. Já é próprio dela de ter esse gosto.*

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** Então, cada bolinha dessa (aponta para a figura 7.25b) corresponderia a um grãozinho desse (aponta para um grão sobre a mesa)?

**S3:** Não sei! Eu não sei te explicar, porque se tivesse alguma coisa aqui dentro, teria que ter algo limitando, mas para o giz nós chegamos que o limite é ele mesmo. Só que, no suco, para ele mesmo ser o limite, eu estou sem saber se tem mais alguma coisa, ou se uma bolinha dessa (aponta para um grão sobre a mesa) é a bolinha (se refere à partícula) e pronto! No submicro, entendeu?

**P:** Você enxerga uma coisinha dessa (aponta para o grão de suco), não é? Quando enxergamos algo, estamos falando do nível macro ou do submicro?

**S3:** No macro... Entendi! Vendo no micro têm várias aqui, porque se juntar várias eu posso ver isso (mostrando o grão de suco na ponta do seu dedo). Se fosse uma só, não eu ia estar enxergando, porque as partículas são submicroscópicas!

Esse insight levou S3 a reformular sua representação (figura 7.31).



Figura 7.31. Representação reformulada do grão de suco antes da mistura, elaborada por S3.

Uma nova discussão ocorreu, mas agora em torno do fenômeno observado na mistura do suco e água e uma representação reformulada foi elaborada por S3 (figura 7.32a e 7.32b):

**P:** O que você disse que acontece quando você coloca isso (aponta para o suco) misturado nisso (aponta para a água)?

**S3:** O suco na água? Eles misturam. A água e as partículas do suco, elas se misturam. Ficam lá um em volta do outro. Aí, quando elas juntam fica com a cor, sabor, cheiro.

**P:** E elas juntam como?

**S3:** É... elas se juntam... Tipo, acho que eu já tinha explicado isso, que ela... ela (a partícula de água) fica em volta, ela meio que envolve (EER reação meso)... Mas não sei se é assim ou se elas combinam.

**P:** Como assim?

**S3:** Eles combinarem? Porque igual, uma que não combina com a outra eles se repelem, não é? E o outro que combina fica.

**P:** Mostra para mim como é que é esse "ficar"?

**S3:** *Colado um no outro lá, duas bolinhas coladas (faz o desenho da figura 7.32b). Uma bolinha é a partícula da água e a outra bolinha é a partícula do suco. Ficam coladas!*

(...)

**P:** *Essas coisinhas aqui (aponta para os grãos de suco sobre a mesa), quando colocadas na água, continuaram do jeito que elas estão aqui?*

**S3:** *Não, elas dissolvem!*

**P:** *E o que é o dissolver para você?*

**S3:** *Elas... Elas (bolinhas) vão dispersar e os componentes dele, as partículas, vão meio que ficar junto com as da água (**EER união física submicro**).*

**P:** *Mas antes você tinha falado e representado aqui (mostra a figura 7.25b) que a partícula de suco iria para dentro da de água, a de água ia englobar a de suco, e agora (mostra a figura 7.32b) você representou uma do lado da outra. Qual das representações é mais coerente para você agora?*

**S3:** *Essa (aponta para a representação 7.32b).*

**P:** *Por quê?*

**S3:** *É porque antes eu estava pensando no suco, nesse que a gente fez aqui (aponta para o sistema), mas agora estou pensando nas partículas do suco e da água, aí não tem jeito de englobar.*

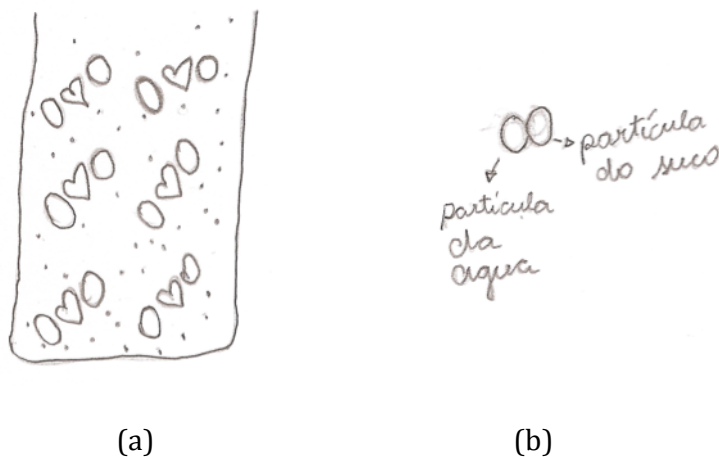


Figura 7.32. Representação reformulada da mistura de suco e água (a) e da união entre as partículas em detalhe (b) elaborada por S3.

Essa última justificativa nos parece evidenciar, mais uma vez, que houve progresso em sua distinção entre os níveis macroscópico e submicroscópico, uma vez que ela foi capaz de distingui-los em suas próprias representações, relacionando-os coerentemente em suas explicações. Através destas, ela demonstrou também passar da mobilização de um **EER reação meso** atrelado quase que exclusivamente a aspectos perceptuais a de um **EER união física submicro** mais elaborado, uma vez que atrelado a uma representação submicroscópica da matéria.

A pesquisadora, percebendo que S3 havia feito algumas modificações significativas em suas explicações e representações, pediu que ela estabelecesse uma comparação para o processo que havia acabado de explicar.

**S3:** *Quando a partícula do suco uniu com a da água é tipo o açúcar unindo com a água! Eu fui lá, taquei o açúcar lá no recipiente com a água. Aí a partícula do açúcar se uniu com a partícula da água, do mesmo jeito que no suco. Só que as substâncias são diferentes, mas se unem do mesmo jeito! Tipo aquilo lá quando você vai, por exemplo, fechar o colar. Aquele ganchinho.*

**P:** *E, no caso desse ganchinho, o que teria de semelhante e o que ele teria de diferente do processo que ocorre quando colocamos o suco na água?*

**S3:** *Tá! De semelhante ele vai ter é... que as duas partículas vão ficar unidas e de diferente vai ter... o modo de como eles vão se unir.*

**P:** *Como assim?*

**S3:** *Com o ganchinho, as partes do colar vão ficar presas, porque a pessoa coloca. As partículas, já é mais de um modo sem saber (parece querer dizer involuntário). Na medida em que elas vão caindo na água, elas vão se juntando com a partícula da água.*

É possível notar que também ocorreu uma certa evolução na comparação de S3, o qual tentou selecionar um domínio análogo que compartilhasse semelhanças com o comportamento submicroscópico imaginado para o sistema de acordo com seu modelo mental atual. Ela inicialmente comparou o comportamento das partículas do suco e da água com o comportamento das partículas do açúcar e da água. Podemos considerar essa comparação uma similaridade literal, uma vez que, a partir da propriedade descritiva homogeneidade dos sistemas comparados, S3 mapeou a relação imaginada como comum aos domínios: união física de suas partículas afins. Isso fica ainda mais claro na formulação da similaridade literal subsequente (as partículas do soluto e as do solvente se unem como as partes de um colar), na qual a mesma relação foi colocada em evidência por ela para completar ou esclarecer o sentido da primeira. Essas comparações também vêm confirmar sua evolução para um **EER união física submicro**.

Na atividade seguinte (Atividade 3 – Anexo 2), ao observar a mistura do suco em água sem agitação, S3 forneceu a seguinte descrição:

**S3:** *Tem algumas partes que estão azuis. Embaixo tem muito mais mancha, está muito mais escuro. Em cima está meio degradé. (...) Aos poucos ele está... ficando escuro. Ele está misturando, sem mexer!*

A discussão entre a pesquisadora e S3 continuou com a solicitação de uma explicação para o fato de a mistura se tornar cada vez mais uniforme, sem a necessidade de agitação:

**P:** *E por que você acha que está “misturando sem mexer”?*

**S3:** *As partículas de suco e de água estão se movimentando aqui. As do suco estão indo para cima e... as de água também estão movimentando.*

**P:** *E por que uma partícula de suco sai daqui do fundo e vai pra cima?*

**S3:** *Eu acho que é porque elas estão se movimentando, mas se deixar muito tempo parado aqui, bem quietinho, elas voltam pro fundo.*

**P:** *Observe o suco que nós preparamos ontem. O que aconteceu com ele?*

**S3:** *Ficou a mesma coisa. Elas (partículas de suco) não voltaram para baixo.*

**P:** *E como elas se mantiveram assim?*

**S3:** *Ué, então tem que ter alguma coisa fazendo elas ficarem atraídas.*

**P:** *Como assim?*

**S3:** *Igual a atração dos planetas, por exemplo, com o Sol.*

Ao observar a mistura de suco e água sem agitação, provavelmente devido à observação da turbulência provocada pela adição do pó à água, S3 passou a cogitar a movimentação não só das partículas do líquido (como inicialmente fizera), mas também das partículas do sólido. Ao ser solicitada a prestar esclarecimentos sobre suas ideias atuais, ela comparou espontaneamente a atração entre as partículas do soluto e do solvente com a atração entre corpos celestes, mencionada no início das atividades. Isso pode ser interpretado como uma evidência do começo da mobilização do **EER interação submicro**.

**P:** *E quais seriam as semelhanças nessa comparação?*

**S3:** *Tá! É... do Sol seria que os planetas ficam atraídos, eles sentem atraídos pelo Sol, né? Por isso, eles ficam no eixo deles lá, movimentando.*

**P:** *E o que causa essa atração no caso do Sol e dos planetas?*

**S3:** *A gravidade... A massa, né?*

**P:** *A massa. E no caso do suco?*

**S3:** *Seriam as partículas de água atraindo as de suco.*

**P:** *E o que causa essa atração entre elas?*

**S3:** *Não sei.*

Nesse momento, a pesquisadora retomou as representações de S3 para as partículas de água (figura 7.28b), discutindo com ela o significado de seus códigos de representação (círculos e corações) e procurando relacioná-los ao modelo atômico de Bohr, no que se refere à sua constituição: partículas subatômicas dotadas de cargas elétricas de sinais opostos. Essa discussão foi fundamental para que S3

compreendesse a natureza eletrostática da interação entre as partículas, como pode ser observado no trecho a seguir:

**P:** *Agora vamos olhar aqui (aponta a representação da água figura 7.28b). O que mantém esses átomos de hidrogênio e oxigênio próximos na partícula de água?*

**S3:** *Um ser positivo e o outro ser negativo!*

**P:** *Então, pensando nas partículas da água e do suco como constituídas de átomos, qual seria a causa da atração entre as partículas de água e de suco?*

**S3:** *Por causa das cargas elétricas!*

**P:** *E como você imagina essa atração?*

**S3:** *Ah! Eu acho que é tipo... uma joga... manda um raio elétrico pra outra e aí a outra corresponde... sei lá! É tipo isso. É como se fosse um sinal, sabe? A partícula que está aqui é da água e chega a do suco, aí quando elas fossem se aproximando uma fosse mandando para a outra, até que... unissem!*

A pesquisadora retomou a comparação anterior estabelecida entre o Sol e os planetas e entre as partículas de suco e água e, novamente, pediu para que S3 destacasse as semelhanças e diferenças. Então, ela foi capaz de reconhecer que, embora em ambos os sistemas existisse força de atração, enquanto no primeiro sistema ela era causada pelas massas dos corpos, no segundo, ela era devida às cargas das partículas. Isto confirmou que S3 lançava mão de um **EER interação submicro** em elaboração.

Como S3 já concebia a dissolução como um fenômeno eletrostático, a pesquisadora retomou o fenômeno da não dissolução do giz para que ela tentasse explicá-lo nesses mesmos termos:

**S3:** *Porque... vamos supor, se jogar areia aqui ele não vai ficar... assim igual ao suco, ela vai ficar no fundo.*

**P:** *Por quê?*

**S3:** *Porque ela não tem... carga?!*

**P:** *Quando a gente colocou o giz na água, o que ocorreu com ele foi igual ou diferente ao que ocorreu com o suco?*

**S3:** *Diferente! Ele ficou diferente, porque ele não dissolveu. A partícula do giz não misturou com a da água.*

**P:** *E quando você falou da areia, disse que ela não dissolve, porque não tem carga.*

**S3:** *Isso!*

**P:** *A gente poderia pensar a mesma coisa para o giz, que ele não dissolve porque não tem carga?*

**S3:** *É, acho que sim.*

**P:** *Voltando na representação sua do giz (figura 7.27). Cada bolinha dessa aí, estrelinha e coraçãozinho, seria o quê?*

**S3:** *Os componentes, as partículas do giz.*

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** *E essas partículas são constituídas de quê?*

**S3:** *De átomos, de vários átomos juntos.*

**P:** *E o que faz os átomos se manterem juntos?*

**S3:** *Eles têm cargas, aí se atraem.*

**P:** *E o que faz as partículas se manterem juntas, como você representou aqui (aponta para a figura 7.27)?*

**S3:** *Atração!*

**P:** *E o que causa essa atração?*

**S3:** *Ah, entendi! A carga elétrica!*

**P:** *Então, por que não acontece a mesma coisa que aconteceu com o suco aqui no giz, já que as partículas dele e as de água têm cargas?*

**S3:** *Aqui (aponta para o suco), é uma positiva e outra negativa. Porque se aqui for uma positiva e outra negativa, aí elas se atraem. E se aqui as duas forem positivas, tanto a do giz como a da água, ou então negativas, elas não se atraem.*

**P:** *Se imaginarmos os átomos como no modelo de Bohr, que tipo de carga eles teriam? Cada um deles.*

**S3:** *Positiva e negativa, porque tem o núcleo que é positivo e os elétrons que são negativos.*

**P:** *A gente discutiu que as partículas de água (aponta para a representação da figura 7.28) são constituídas de átomos. Então como seriam as partículas, em termos de cargas?*

**S3:** *Em cada partícula dessa tem átomos com carga positiva e negativa.*

**P:** *E nas partículas de giz?*

**S3:** *Acho que é a mesma coisa.*

**P:** *E por que tendo positivo e negativo na água e positivo e negativo no giz, não acontece igual no suco?*

**S3:** *Uai... é... Realmente!*

Para que a questão da intensidade das forças emergisse da discussão, a pesquisadora pediu a S3 que recapitulasse o processo que ocorreu na mistura suco e água:

**P:** *No suco, o que aconteceu com as partículas de água e suco?*

**S3:** *Elas se atraíram.*

**P:** *Elas se atraíram. Como é que estavam as partículas do suco antes de eu colocar na água?*

**S3:** *Elas estavam juntas lá, né? Uma atraindo a outra.*

**P:** *E quando a gente pôs o suco na água?*

**S3:** *Elas se separaram, porque as da água atraíram elas.*

**P:** *Mas elas não estavam uma atraindo a outra?*

**S3:** *É que a da água deve ser mais forte!*

**P:** *Como assim?*

**S3:** *A atração das partículas da água com as do suco foi maior; isso fez as de suco irem pra perto das de água!*

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** *E as partículas de água entre si?*

**S3:** *Elas se atraíam também, mas menos do que elas atraíam as de suco.*

**P:** *E, partindo dessas ideias e retomando para o caso do giz, como você me explica ele não se dissolve na água?*

**S3:** *Que a do giz é mais forte do que da água.*

**P:** *Me explica melhor isso.*

**S3:** *A atração das partículas do giz é mais forte que a atração da água com o giz. Então, não vai permitir a dissolução dele, entendeu?*

S3 parece ter sido capaz de adicionar um novo elemento ao seu modelo mental, percebendo a dissolução como um fenômeno eletrostático que depende da intensidade das interações entre as partículas submicroscópicas do soluto e do solvente (**EER interação submicro**). Essa compreensão ficou ainda mais explícita na comparação por ela elaborada:

**P:** *E você poderia fazer uma comparação para me explicar isso?*

**S3:** *Tipo pessoa com pessoa. Vamos supor, a minha atração é mais forte com a minha mãe do que a minha com você. Tem atração entre nós todas, mas a que eu tenho com a minha mãe, entre nós duas, é maior do que a que nós temos com você.*

**P:** *Quais seriam as semelhanças e quais as diferenças do giz na água?*

**S3:** *A atração que eu tenho com minha mãe, o sentimento que eu tenho por ela, é semelhante à atração do giz com o giz. E a sua com seu marido, por exemplo, seria semelhante a da água com a água. E a nossa com vocês seria semelhante a do giz com a água, porque não é tão forte quanto a do giz com o giz. Entendeu?*

**P:** *E no caso do suco na água?*

**S3:** *Pode ser a mesma comparação, só que aí, a atração das partículas do suco com a água ia ser tipo a minha com a minha mãe quando todo mundo tivesse junto, misturado no mesmo lugar.*

**P:** *Entendi. Você citou as semelhanças. E quais seriam as diferenças?*

**S3:** *A gente está falando de pessoas e de partículas e isso já é uma diferença. A outra é que a atração entre as partículas é de... carga de elétrica e com a gente é de sentimento.*

Ao elaborar e explicar a sua comparação, S3 foi capaz de colocar em correspondência as pessoas e as partículas e de relacionar os sentimentos diferenciados que as pessoas podem sentir com as diferenças de intensidades das interações entre as partículas. Assim novamente ela estabeleceu uma analogia mapeando aspectos significativos da estrutura relacional de ambos os domínios, o que pode ser indicativo de uma evolução no entendimento do conceito.

Outras possíveis evidências de que S3 foi capaz de lançar mão do **EER interação submicro** podem ser as respostas fornecidas às questões da Atividade 4

(Anexo 2). Como relação à não dissolução do óleo em água, ela justificou dizendo que os fatos de a atração eletrostática das partículas de óleo entre si e de a atração eletrostática das partículas de água entre si serem maiores do que aquela que poderia existir entre as de óleo e de água “*faz com que eles não se misturem e o óleo não se dissolva*”. Já no caso de água e vinagre, esses se dissolveriam, pois a atração eletrostática entre as partículas de água e de vinagre seriam maiores do que a das partículas de água entre si e as de vinagre entre si. É possível notar que os termos misturar e dissolver ainda eram utilizados como sinônimos por S3.

Para finalizar, apresentamos o quadro 7.5, que contém alguns dos conceitos-em-ação, teoremas-em-ação e os indícios de sua fundamentação identificados a partir da análise das condutas de S3 vivenciando as atividades de modelagem e o quadro 7.6, que contém os esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados e associados às situações da modelagem.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Matéria	1- A matéria líquida é contínua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão da dissolução do giz pela água.</li> <li>• Estabelecimento das diferenças entre previsto e observado.</li> <li>• Representação da mistura giz e água (figura 7.24).</li> </ul>
	2- Pó ou grão e gota são as unidades fundamentais da matéria sólida e líquida, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação do giz (figura 7.22a), do suco (figura 7.25b) e da água como pequenas gotas (figura 7.23).</li> </ul>
	3- Não existem espaços vazios na matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação da entrada de água nos “espaços vazios” de giz e saída de bolhas de ar.</li> <li>• Distinção entre as características do suco e do giz na explicação da figura 7.25.</li> <li>• Comparação com a toalha mergulhada em água.</li> </ul>
	4- A matéria pode ser formada por um conjunto <i>compactado</i> ou <i>descompactado</i> de partículas (pó, grão ou gota).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representação do giz (figura 7.22a) e do suco (figura 7.25b).</li> <li>• Representação e descrição da água (figura 7.23).</li> <li>• Representação e descrição dos três estados físico na figura 7.30.</li> </ul>
	5- A matéria em pó apresenta um estado físico particular.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinção entre as características do suco e do giz na explicação da figura 7.25.</li> </ul>
	6- O movimento das partículas depende do estado físico da matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação para a representação da figura 7.23.</li> <li>• Apontamento da agitação como necessária para eficiência do processo.</li> <li>• Explicação para a delimitação do giz na figura 7.24.</li> <li>• Explicação para a representação da figura 7.29.</li> </ul>

Quadro 7.5. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à condução de S3 e os indícios de sua fundamentação.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Matéria	7- As partículas da matéria são dotadas de movimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recapitulação de seus conhecimentos sobre o modelo cinético-molecular.</li> <li>Explicação para a uniformidade gradual da mistura de suco e água, sem agitação.</li> </ul>
	8- A matéria é constituída por partículas submicroscópicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Novas representações do giz (figura 7.27), da água (figura 7.28) e do suco (figura 7.22a e 7.32b).</li> </ul>
Interação	1- A interação depende da resistência/fragilidade de um material em relação ao outro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Previsão para o comportamento do sistema 'giz e água' e esclarecimento do significado do termo dissolver.</li> <li>Explicação desse sistema no nível submicro e representação do processo (figura 7.24).</li> <li>Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'toalha e água'.</li> </ul>
	2- As partículas das diferentes substâncias interagem por afinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraste entre a dissolução do suco e a não dissolução do giz em água na identificação das diferenças entre o previsto e observado.</li> </ul>
	3- A interação entre partículas é algo físico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparação com a corda (figura 7.22b e 7.22c) que une as partículas de giz.</li> <li>Representação da interação entre partículas diferentes no giz (figura 7.22a – parte superior).</li> <li>Representação da união entre o oxigênio e hidrogênio na água (figura 7.28).</li> </ul>
	4- A interação entre as partículas é eletrostática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comparação dos sistemas 'suco e água' e 'Sol e planetas'.</li> </ul>

Quadro 7.5. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S3 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Dissolução	1- A dissolução é um processo de dispersão das partículas do soluto no solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação do pó de giz deixado na mão.</li> <li>• Gesto de afastamento e espalhamento dos componentes do giz (figura 7.21).</li> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'toalha e água'.</li> </ul>
	2- A dissolução é uma reação; um processo de transmutação de partículas de substâncias, com afinidade entre si, em outras partículas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação da mudança de cor e de gosto da água como evidência da nova substância: o suco.</li> </ul>
	3- A quantidade de soluto que se dissolve depende da quantidade de solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação de que parte do suco se decantou durante o preparo da mistura.</li> </ul>
	4- A dissolução é um processo de união física entre as partículas de soluto e solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre a união de partes de um colar por um ganchinho e a união entre as partículas do soluto e do solvente.</li> </ul>
	5- A dissolução é um fenômeno que envolve interações eletrostáticas entre as partículas do soluto e do solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre os sistemas 'suco e água' e 'Sol e planetas.'</li> <li>• Comparação entre relações interpessoais de diferentes intensidades e os fenômenos observados.</li> </ul>
	6- A dissolução ou não de uma substância em outra depende da intensidade das interações estabelecidas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre relações interpessoais de diferentes intensidades e os fenômenos observados.</li> </ul>

Quadro 7.5. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S3 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Prever o comportamento do giz em água (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz solta pó em contato com as mãos, ele também o soltará em contato com a água.	O dado experimental saliente (liberação de pó na mão) deve ser transportado para a situação prevista (dissolução do giz).	Relacionar a fragilidade do giz ao seu comportamento em água.	Matéria (1), (2), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (1)
Descrição do comportamento observado para o sistema 1.	Espalhamento meso	Se estão saindo bolhas de ar, a água expulsa o ar dos “espaços vazios” do giz, mas não é capaz de “desfazê-lo”.	Os dados experimentais salientes (liberação de bolhas e não dissolução) devem ser conciliados na explicação.	Relacionar os dados experimentais salientes: liberação de bolhas e não dissolução.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (1)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz não se “desfaz”, libera bolhas e afunda, a água não é capaz de dispersar suas partículas, ele não é “maciço”, e ficou mais pesado com a entrada de água. Se o processo que ocorre com o suco em água é contrário ao que ocorre com o giz, as partículas da água têm “afinidade” pelas de suco, mas não pelas de giz.	Os dados experimentais salientes (liberação de bolhas, não dissolução e submersão do giz) devem ser conciliados na justificativa para as diferenças identificadas. O conhecimento prévio sobre o comportamento do suco em pó em água deve ser usado e contrastado com a não dissolução do giz.	Justificar a não dissolução e a submersão do giz.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (6) Interação (1) e (2) <sup>64</sup> Dissolução (2)
Explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se o giz não se “desfaz” em água e libera bolhas de ar, suas partículas-pó não se dispersam pela ação da água e esta ocupa o “espaço vazio” do ar entre as partículas-pó.	Um processo contrário à situação prevista deve ser explicado e conjugado com a explicação para saída de bolhas.	Explicar os dados experimentais salientes: liberação de bolhas e a não dissolução do giz.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (1)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se o giz não se “desfaz” em água e uma toalha também não e se ambos liberam bolhas, suas estruturas e os processos que ocorrem com suas partículas são similares. Se a toalha libera mais bolhas em água do que o giz, existem mais “espaços vazios” de ar entre suas partículas e os sistemas são diferentes neste aspecto.	As semelhanças mais salientes entre os sistemas devem ser a liberação de bolhas e a integridade física de seus componentes sólidos em água. A diferença deve ser o volume de bolhas liberado após a adição dos componentes sólidos em água.	Ilustrar os dados experimentais salientes: liberação de bolhas e a não dissolução do giz.	Matéria (2), (3), (4) e (6) Interação (1) Dissolução (1)
Prever o comportamento do suco em água (sistema 2).	Reação meso	Se as partículas-gota de água têm “afinidade” pelas partículas-pó do suco, elas se “encaixam”; as partículas-grão se desfazem; e ambas se transmutam em “partículas de suco”.	Os conhecimentos prévios sobre o desaparecimento do pó do suco em água e a mudança de cor desta devem ser considerados.	Explicar as alterações macroscópicas previstas: o desaparecimento do soluto e a mudança de cor da água.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (2)

Quadro 7.6. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S3.

<sup>64</sup> A mobilização do teorema-em-ação interação (2) (as partículas das diferentes substâncias interagem por afinidade) por S3 ocorreu devido ao contraste que ela estabeleceu entre o processo de dissolução do giz e o do suco. No entanto, sua explicação para a não dissolução do giz permaneceu essencialmente fundamentada no teorema-em-ação interação (1) (a interação depende da resistência/fragilidade dos materiais, um em relação ao outro).

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Descrição do comportamento observado para o sistema 2	Reação meso	Se a água muda de cor e de gosto quando o suco é adicionado, as partículas-gota da água se juntam às partículas-grão do suco e formam um “novo elemento”.	Os dados experimentais salientes da mudança de cor e de sabor da água devem ser considerados na explicação.	Relacionar os dados experimentais salientes.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (2)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 2) <sup>65</sup> .	Reação meso	Se as partículas-grão do suco decantam, não há partículas-gota da água suficiente.	O dado experimental saliente da formação de precipitado deve ser explicado.	Explicar a formação de precipitado.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (2), (3)
Explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se a água muda de cor e de sabor com a adição de suco, as partículas-grão do suco entram no interior das partículas-gota da água e se transmutam em uma nova substância. Se as partículas-grão do suco se encontram mais afastadas do que as partículas-pó do giz e não há ar em seu interior, elas se organizam de maneira diferente.	Os dados experimentais salientes do “desaparecimento” dos grãos de suco e da mudança de cor da água devem ser considerados na explicação do comportamento dos componentes. O estabelecimento da diferença quanto ao “estado físico” dos solutos suco e giz é necessário.	Explicar as alterações macroscópicas percebidas na água: mudança de cor, sabor e desaparecimento do soluto; e as diferenças macroscópicas entre os solutos observados.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (2) e (3)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se a Fanta® apresenta corpo de chão como o sistema 2, eles são similares no englobamento das partículas-pó pelas partículas-gota e na decantação daquelas por insuficiência destas. Se o soluto de um sistema é o pó do suco e o do outro é o pó da Fanta®, eles são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a presença de precipitado. A diferença deve ser a composição dos solutos.	Ilustrar um sistema com a presença de precipitado como uma característica saliente.	Matéria (2), (4), (5) e (6) Interação (2) Dissolução (2) e (3)
Rever as representações do sistema 1.	União física submicro	Se o giz é formado em toda a sua extensão por partículas submicroscópicas e não se dissolve em água, sua delimitação é constituída por suas próprias partículas e elas se mantêm unidas fisicamente em água. Se entre as partículas da matéria sólida existe vazio e o giz é um sólido, entre suas partículas existe vazio e o ar se encontra entre grupos delas.	A presença de pó na superfície do giz e o fato de ele ser sólido, devem ser considerados na sua representação. A forte união física das partículas do giz deve ser considerada na explicação de sua não dissolução.	Re-representar os limites do giz e seus espaços e explicar a não dispersão das suas partículas em água.	Matéria (6) e (8) Interação (1) e (3) Dissolução (1)
Elaborar uma analogia para o sistema 1, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se uma corda pode unir as coisas sem deixar que elas se dispersem e se as partículas de giz se encontram unidas, mesmo em água, os sistemas são similares neste aspecto. <sup>66</sup>	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a forte união física entre as partes que dificulta sua separação.	Explicar a não separação das partículas de giz pelas de água.	Matéria (6) e (8) Interação (1) e (3) Dissolução (4)

Quadro 7.6. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S3 (continuação).

<sup>65</sup> Nenhuma diferença foi identificada por S3. Em lugar disso, ela desenvolveu uma ideia sobre a decantação do excesso de soluto.

<sup>66</sup> S3 não explicitou as diferenças entre os domínios comparados.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Rever as representações do sistema 2.	União física submicro	Se as partículas-grão do suco em água se fragmentam em pequenas partículas e as partículas da água também são pequenas, não pode haver englobamento entre elas.	A dimensão das partículas e sua união física devem ser consideradas na explicação.	Explicar a dissolução considerando as dimensões das partículas.	Matéria (6) e (8) Interação (2) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para o sistema 2, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se as partículas do açúcar, como as de suco, se unem fisicamente às de água e se uma parte do colar é unida à outra por um gancho, os processos são similares neste aspecto. Se o soluto de um sistema é o pó do suco e o do outro o açúcar, e se as partes de um colar são conectadas por alguém enquanto as partículas se unem involuntariamente, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser o processo de união física entre partes. As diferenças devem ser a composição dos solutos e a voluntariedade da união.	Explicar a união entre partículas de soluto e solvente.	Matéria (6) e (8) Interação (2) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para explicar a dissolução sem agitação.	Interação submicro	Se o Sol atrai os planetas que se movimentam à sua volta e se as partículas de suco e de água em movimento se atraem, os sistemas são similares nestes aspectos. Se a atração no sistema 'Sol e planetas' é causada por suas massas e no sistema 'suco e água' pelas cargas das partículas, os sistemas são diferentes neste aspecto.	As semelhanças entre os sistemas comparados devem ser a atração entre partículas e a existência de movimento. A diferença deve ser a natureza das forças.	Explicar a não decantação das partículas de suco, após a dissolução.	Matéria (7) e (8) Interação (4) Dissolução (5)
Contrastar os processos de dissolução do suco e de não dissolução do giz usando as analogias.	Interação submicro	Se todas as partículas da matéria possuem carga, elas podem interagir. Se pessoas estabelecem laços afetivos de intensidades diferentes e se as partículas de soluto e solvente podem se atrair com intensidades diferentes, os processos são similares neste aspecto. Se os sentimentos advêm de pessoas e a atração eletrostática das partículas atômicas, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A natureza das interações e a diferença de intensidade devem ser consideradas. A diferença deve ser a natureza das interações.	Explicar a diferença de intensidade das interações.	Matéria (7) e (8) Interação (4) Dissolução (5) e (6)
Estender as possíveis inferências a outras situações relacionadas aos processos 1 e 2.	Interação submicro	Se o óleo não se "mistura" em água como o giz, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar. Se o vinagre se dissolve em água como o suco, o comportamento das partículas de soluto e de solvente nos dois sistemas é similar.	As intensidades das interações eletrostáticas soluto-solvente e das demais interações (soluto-soluto e solvente-solvente) devem ser consideradas em qualquer processo de dissolução (ou não dissolução).	Relacionar o comportamento das partículas dos novos sistemas aos anteriores.	Matéria (7) e (8) Interação (4) Dissolução (5) e (6)

Quadro 7.6. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S3 (continuação).

#### 7.4. Estudo de caso 4

S4 tinha 15 anos, havia sido reprovado na 9ª série e a repetia no mesmo colégio. Ele se declarava muito interessado com relação aos estudos de Química, até mesmo ao longo do ano em que foi reprovado, e participou ativamente de todas as atividades propostas.

As atividades relacionadas aos sistemas 'giz e água' e 'suco e água' se iniciaram com a descrição do giz por **S4**:

**S4:** *Ele é sólido, é muito frágil também. Pode passar o dedo e ele começa a soltar o pó, o cal.*

Em seguida, a pesquisadora pediu a S4 que previsse o que ocorreria quando o giz fosse adicionado à água:

**S4:** *Eu acho que não vai acontecer nada.*

**P:** *Como assim?*

**S4:** *Ele vai continuar sólido, mas ele vai se desfazendo aos poucos.*

**P:** *É? E desfazendo como? Descreve isso pra mim.*

**S4:** *Cada partícula de pó dele vai se soltando e vai se misturando na água. Eles se soltam na água e vão se dissolver nela. A água vai ficar branca. Branca não, transparente. Vai continuar... vai ficar meio branca, meio transparente.*

Apesar de demonstrar certa hesitação entre a não dissolução (“*Eu acho que não vai acontecer nada.*”) e a dissolução do giz (“*Eles se soltam e vão se dissolver nela.*”), S4 previu que parte do giz se dissolveria em água, baseando-se na percepção de que este soltava pó no contato com as mãos. O processo ocorreria lentamente, com a liberação de pequena quantidade de partículas-pó e sua posterior fusão em água (**EER espalhamento meso**). A hesitação de S4 pareceu também ser confirmada na caracterização da cor da água em “*transparente*” ou branca, terminando por descrevê-la como uma coloração intermediária, provavelmente por imaginar que a dissolução ocorresse em pequenas proporções.

Ao adicionar o giz em água, S4 descreveu o processo e identificou aquilo que ele considerava como diferenças entre o previsto e o observado:

**P:** *O que você está observando?*

**S4:** *Tá soltando bolhas e continua normal (o giz).*

**P:** *Foi igual ou diferente do que você tinha previsto?*

**S4:** *Diferente.*

**P:** *Em que foi diferente?*

NILMARA BRAGA MOZZER

**S4:** *As partículas dele soltando na água. Elas não soltaram. E eu pensei que ele ia ficar boiando e ele afundou e começou a soltar bolhas.*

**P:** *E por que você acha que aconteceram essas coisas diferentes do que você tinha previsto?*

**S4:** *Porque eu acho que o cal é impermeável, porque a água não dissolve ele. E ele afundou, porque ele é cheio de poros e a água entrou nesses poros, pesando ele e fazendo ele ir para baixo. Aí, por isso, que as bolhas saem. Porque ela (a água) entra, enquanto isso vai enchendo esses poros e a bolha vai saindo. Aí é o ar saindo pela água.*

Após observar a não dissolução do giz, S4 a justificou através da impermeabilidade do material à água, ou seja, as partículas-pó do giz não se deixavam atravessar pela água e, então, não se espalhavam nem se “fundiam”, como previsto (**EER espalhamento meso**). Na tentativa de explicar o fenômeno da liberação de bolhas pelo giz, S4 afirmou que o ar contido nos seus poros seria retirado pela entrada de água, ocasionando o aumento de peso do material.

Ao ser solicitado a descrever o suco antes da mistura, S4 o fez da seguinte maneira:

**S4:** *É um suco artificial. Ele é um pó, que... que tem um pouco de polpa de fruta e corante artificial. E é sólido, só que com grãos muito pequenos.*

E previu seu comportamento em água:

**S4:** *Algumas partículas do suco vão ser dissolvidas na água, vão se misturar pra dar o suco, dando a cor do suco pra água, e outras vão descer e ficar no fundo, sem dissolver.*

**P:** *E por que você acha que isso vai acontecer?*

**S4:** *Porque a água vai ir e começar a dissolver uma certa quantidade de partículas, mas algumas ela não vai conseguir dissolver. Aí, algumas vão ficar no fundo do jarro e, aos poucos, elas vão se dissolvendo.*

Para S4, o suco sólido já se encontrava fragmentado em suas unidades constituintes, as partículas-grão. Tal afirmativa é evidenciada pelo fato de que S4 utilizava os termos partículas e grãos como sinônimos nas citações precedentes. A dissolução, por sua vez, pareceu ser concebida como o processo em que essas partículas do suco e da água se transmutavam no suco (“vão se misturar pra dar o suco, dando a cor do suco pra água”), ocasionando a mudança de cor da água (**EER reação meso**). Ao ser solicitado a justificar sua previsão, S4 se contentou em descrever o aspecto gradual do processo de dissolução. Assim, neste momento da entrevista, ele não nos forneceu muitos indícios para apoiar nossa suposição sobre a mobilização do EER reação meso, mas esta foi sustentada em etapas posteriores.

Dando prosseguimento à atividade, a pesquisadora solicitou que S4 adicionasse um pouco de suco à água, que observasse e descrevesse o que ocorreu com o sistema após a agitação.

**P:** *E aí, o que você observou?*

**S4:** *Ficou da cor do pó, ainda tem umas partículas indo para baixo e as retidas, já estão dissolvidas. Espera aí...*

S4 agitou novamente o sistema com o auxílio da colher e a discussão prosseguiu com a pesquisadora solicitando que ele explicasse tal procedimento. Em seguida, solicitou também que ele identificasse e explicasse as diferenças entre o previsto e o observado:

**S4:** *Agora todas as partículas estão dissolvidas.*

**P:** *E foi igual ou diferente ao que você tinha imaginado?*

**S4:** *Foi diferente.*

**P:** *Em quê?*

**S4:** *Eu pensei que ia ficar umas partículas no frasco, só que não ficou. Dissolveram todas.*

**P:** *E, por que você acha que aconteceu diferente?*

**S4:** *Porque o pó, quando você agita, as partículas vão se mexendo muito e nisso elas vão se juntando com as de água e virando suco. E aí, fica mais fácil delas dissolverem.*

É interessante notar que, como S2 e S3, S4 atribuiu o movimento das partículas do suco em pó à agitação mecânica. Isso não é surpreendente se considerarmos que todos eles, inicialmente, representavam as partículas-grão como as unidades imóveis constituintes da matéria suco. Por outro lado, as descrições dinâmicas de S4 sobre o papel da água em ambas as misturas nos dão indícios de que ele atribuía movimento a suas partículas-gota. Por exemplo: para o sistema 'giz e água': "*Porque ela (a água) entra, enquanto isso vai enchendo esses poros e a bolha vai saindo.*"; para o sistema 'suco e água': "*Porque a água vai ir e começar a dissolver uma certa quantidade de partículas, mas algumas ela não vai conseguir dissolver.*" Portanto, para S4, a presença ou ausência de movimento das partículas constituintes da matéria parecia depender do estado físico em esta se encontrava.

Finalizada essa etapa, na Atividade 2 (Anexo 2), a pesquisadora esclareceu as diferenças entre os níveis de representação macro, micro e submicroscópico, solicitando, em seguida, que S4 utilizasse os materiais fornecidos para representar o processo ocorrido em cada um dos sistemas no nível submicro. S4 elaborou os

NILMARA BRAGA MOZZER

desenhos apresentados na figura 7.33a e 7.33b, que se diferenciam quanto à representação das partículas de água:

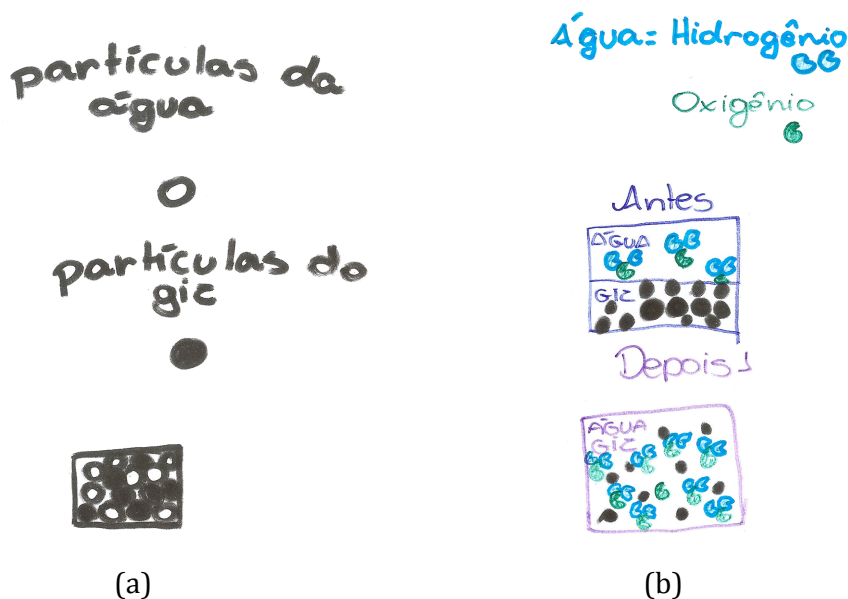


Figura 7.33. Representação dos componentes do sistema 'giz e água' antes da mistura (parte superior das figuras (a) e (b)) e após a mistura (parte inferior das figuras (a) e (b)) elaborada por S4.

Para verificar se S4 imaginava a substância água como formada por uma partícula única – uma vez que ele a representou por um círculo único (parte superior da figura 7.33a) – ou por várias delas, a pesquisadora o questionou sobre como ele imaginava a constituição da água antes da mistura. Ele compreendeu esse questionamento como uma solicitação de detalhamento sobre a constituição de cada partícula de água e, após afirmar que elas seriam constituídas por duas partículas de hidrogênio e uma de oxigênio, elaborou a representação que consta na figura 7.33b.

A partir de suas representações iniciais, S4 formulou a seguinte explicação para os processos de dissolução e de não dissolução:

**S4:** *As partículas da água são as duas partículas de hidrogênio e uma de oxigênio juntas. Elas (partículas de água) ficam unidas, antes de misturar as da água com as do giz. O giz é sólido e (suas partículas) ficam todas unidas também. Aí, quando colocou a água no giz, as partículas do giz e da água ficaram juntas, só que sem as de água conseguir separar as de giz (**EER espalhamento meso**).*

**P:** *E quando dissolve, o que acontece?*

**S4:** *Acontece que uma vai se... que uma vai envolver a outra (entrelaça os dedos das mãos – figura 7.34). Se a água dissolvesse o giz, as de água iam vir até as partículas dele, e, por exemplo, ela ia se abrir, aí a de giz ia entrar nela, ela ia envolver a de giz e fechar com a de giz dentro. Aí, a água ia como se fosse pegar*

NILMARA BRAGA MOZZER

*as propriedades delas, vamos dizer, ficar com a aparência, essas coisas. Ia, como se fosse, se misturando (EER reação meso).*

**P:** *E por que isso ia acontecer com a água se o giz se dissolvesse?*

**S4:** *Porque eu acho que ia ser tipo que a água ia reconhecer as partículas dele e, aí, ia ter facilidade de englobar.*



Figura 7.34. Representação gestual do processo de dissolução elaborada por S4.

**P:** *Você falou pra mim que o giz não dissolve em água. Então, neste caso, como é que fica?*

**S4:** *As da água chegam, ficam em volta das de giz, só que não consegue separar e dissolver elas. Elas continuam lá. As de água não iam abrir. Tem essas daqui do giz (pega algumas bolinhas pequenas de isopor e as coloca próximas sobre a mesa – figura 7.35), aí as partícula da água (bola maior na figura 7.35) iam vir e ficar em volta delas, por exemplo, assim.*

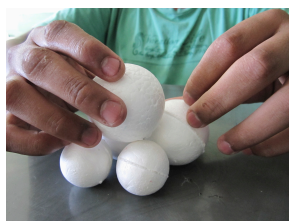


Figura 7.35. Representação da não dissolução do giz elaborada por S4.

Apesar de representar cada partícula de água como constituída de partículas de hidrogênio e oxigênio, S4, ao explicar os processos, manteve uma representação mesoscópica das partículas de água como partículas-gota capazes ou não de separar e “envolver” as partículas do soluto. É provável que isso tenha ocorrido pelo fato de esta representação da água, naquele momento, fazer mais sentido para ele na construção de uma explicação para o processo do que a representação científica. Além disso, ele novamente relacionou aspectos dinâmicos ao comportamento das partículas-gota da água e estáticos ao comportamento das partículas do soluto (por exemplo: “As (partículas) da água chegam, ficam em volta das de giz, só que não consegue separar e

*dissolver elas.*”). Isto reforça nossa suposição de que S4 concebia as primeiras como dotadas de movimento e as segundas como imóveis.

Outra suposição que foi reforçada nesse detalhamento de ideias por S4 é a de que ele fazia uso do **EER reação meso** para explicar o processo de dissolução. Tal como os demais sujeitos, ele demonstrou conceber o processo como um “englobamento” das partículas-pó (ou partículas-grão) de soluto pelas partículas-gota de água que teriam “afinidade” umas pelas outras, resultando na transmutação da água em algo com novas propriedades.

No caso da não dissolução, o **EER espalhamento meso** foi mobilizado, como evidencia os trechos da entrevista analisados anteriormente. No entanto, no desenho da figura 7.33b, S4 parecia ter representado a dispersão de partículas-pó de giz em água, o que poderia caracterizar um processo de dissolução e contrariaria suas explicações sobre a não dissolução do giz.

Nesse sentido, o modelo concreto elaborado por S4 para representar o sistema ‘giz e água’ (figura 7.35) parecia ser diferente daquele da figura 7.33b, o que levou a pesquisadora a solicitar que ele os comparasse:

**P:** *Esse desenho que você fez aqui (aponta para a figura 7.33b) representa a mesma coisa que você me explicou usando as bolinhas de isopor?*

**S4:** *Eu acho que não, porque eu coloquei as de giz separadas (aponta para a figura 7.33b). Elas tinham que ficar juntas e as de água em volta delas.*

**P:** *E por que você mudou de representação?*

**S4:** *É porque... depois é que eu vi que era só elas (partículas de água) ficarem assim, em volta mesmo (das partículas de giz). Elas (partículas de água) ficavam só em volta. Aí, eu coloquei como se fosse elas todas juntas, um monte de partículas de giz e as de água em volta delas. Podia ter só uma ou outra (partícula de água) lá no meio, igual aqui (aponta para a figura 7.33a).*

Neste momento, S4 faz o desenho da figura 7.36 a seguir:



Figura 7.36. Representação reformulada da mistura de giz e água elaborada por S4.

A representação reformulada do sistema 'giz e água' (figura 7.36), associada à explicação de S4 de que as partículas do giz, ainda concebidas como partículas-pó, não se dispersariam em água, mas se manteriam "juntas", evidenciam que ele imaginava um processo de não dissolução do material e que mobilizava o **EER espalhamento meso**. É interessante notar que, embora S4 tenha verbalizado a possibilidade de algumas partículas de água se localizarem entre as partículas-pó, ele não as representou em seu modelo reformulado. Isso parece indicar o distanciamento entre a representação mental do sujeito e aquilo que ele expressava, como comentado também no caso de S2. Vale ressaltar ainda que, o fato de S4 não ter fornecido nenhuma explicação causal para sua afirmação de que as partículas de giz se manteriam juntas parece estar associado à ideia de que elas apenas mantinham sua compactação inicial e não à existência de forças atrativas entre elas.

Essas ideias também podem ser evidenciadas a partir da comparação elaborada por S4, quando solicitado pela pesquisadora:

**P:** *Que comparação você faria para explicar isso que aconteceu com as partículas do giz e com as partículas da água, quando você colocou o giz na água?*

**S4:** *Eu compararia com água e óleo. Quando você pega a água e coloca em um recipiente com óleo, eles não vão se misturar. As partículas da água e do óleo vão ficar separadas. Elas não vão se envolver, não vão se misturar. Então, vai ser como se fosse o giz. O giz é sólido, aí não tem como a água entrar nas partículas, por causa delas estarem muito juntas. As partículas da água não conseguem atravessar elas (partículas do giz), nem mover; e as do óleo e da água, a mesma coisa. As partículas do óleo e nem as da água não conseguem se envolver uma com a outra, aí elas ficam separadas.*

**P:** *E as semelhanças e diferenças?*

**S4:** *As semelhanças são que as duas não vão se... se absorver, se dissolver. As diferenças é a questão da água e do óleo serem dois líquidos, e da água e do giz serem um líquido e um sólido.*

S4 elaborou uma comparação de mera aparência, com base na similaridade que, para ele, era saliente aos sistemas 'óleo e água' e 'giz e água': o aspecto bifásico. S4 colocou em correspondência a impenetrabilidade das partículas-pó/partículas-gota dos solutos pela água e diferenciou os sistemas quanto aos estados físicos dos solutos. No caso do giz, ele ainda mencionou o fato de a água não conseguir "mover" suas partículas-pó compactadas, o que impediria sua dispersão pelo sistema (**EER espalhamento meso**).

Solicitado a elaborar uma representação para o processo que ocorreu entre o suco e a água, S4 fez o desenho da figura 7.37 e, em seguida, o explicou através do **EER reação meso** utilizado anteriormente para a dissolução hipotética do giz:

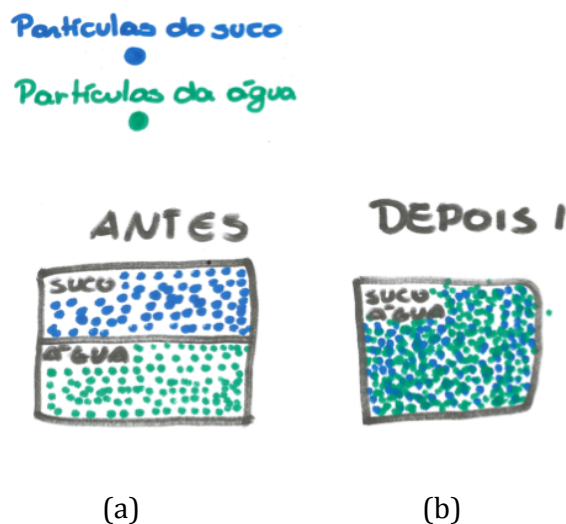


Figura 7.37. Representação dos componentes do sistema 'suco e água' antes (a) e após (b) a mistura elaborada por S4.

**S4:** *Antes as partículas do suco com as de suco e as da água com as de água ficavam juntas. Mas as da água ficam um pouco mais separadas por causa de ser líquido, e as do suco ficam todas juntas, por serem sólidos. Aí, quando misturaram as duas, elas envolveram.*

**P:** *E por que isso acontece?*

**S4:** *Acho que é por causa das de água conseguirem combinar com as de suco, tipo isso... pra elas ficarem todas misturadas. (...) Aí, a água pegou as propriedades das partículas do suco: a cor, o cheiro, o sabor.*

Na sequência, a pesquisadora pediu a S4 que elaborasse uma comparação para o processo no nível submicroscópico, como ilustra a citação a seguir:

**P:** *Se você fosse fazer uma comparação para o que aconteceu com as partículas da água e as partículas do suco, como você faria?*

**S4:** *Eu ia comparar com duas tintas de cores diferentes. Por exemplo: se seu pegar uma tinta vermelha e uma azul, e colocar elas em um mesmo recipiente. As partículas delas vão se envolver e vão fazer uma nova cor. Vão pegar as cores que já tinham, vão misturar nas delas e vão fazer uma cor nova.*

**P:** *Em que é semelhante e em que é diferente?*

**S4:** *As semelhanças são que uma vai... uma partícula vai envolver a outra, pegando a cor, as propriedades dela. Também vão... a mesma coisa, vão se misturando. Agora, as diferenças são que a água, por ela ser transparente, ela não tem como misturar a cor dela com a cor do suco. Aí a água vai ficar da cor que for das partículas do suco. Agora as tintas, por uma ter uma cor e a outra ter outra, as cores vão se misturar e fazer outras cores.*

Devido ao fato de estar atrelado ao fenomenismo perceptual, S4 tentou transportar as mudanças observadas no nível macro – como o desaparecimento gradual dos grãos de suco; as esteiras deixadas por eles na água e a mudança de cor, sabor e cheiro da água – para o nível das partículas (ainda representadas em um nível mesoscópico). Isso justifica o fato de ele ter estabelecido uma comparação com a mistura de tintas tomando por base a propriedade descritiva da fusão de cores e associando-a ao fato de uma partícula “envolver” a outra. Sendo assim, também nesse caso S4 estabeleceu uma comparação de mera aparência (**EER reação meso**).

Antes de solicitar que S4 revisse suas representações anteriores para o giz, o suco e a água, a pesquisadora solicitou que ele representasse, no nível submicroscópico, uma mesma matéria em três estados físicos diferentes – sólido, líquido e gasoso – e explicasse sua representação. S4 elaborou o desenho da figura 7.38.



Figura 7.38. Representação dos três estados físicos da matéria elaborada por S4.

**S4:** *Os sólidos de uma substância, eles vão ficar sempre unidos.*

**P:** *O que é cada pontinho desse que você desenhou na primeira representação?*

**S4:** *É uma partícula. Elas ficariam todas juntas, todas unidas no sólido. No líquido, elas ficariam um pouco mais separadas. Agora, no gasoso, elas ficariam totalmente dispersas.*

**P:** *E com relação ao movimento, como estariam as partículas da matéria em cada um desses estados físicos de acordo com o que você estudou em suas aulas de Química?*

**S4:** *No sólido elas movimentam pouco, no líquido mais ou menos e no gasoso muito mais.*

É interessante notar que nenhuma menção havia sido feita por S4 ao movimento das partículas da matéria no estado sólido (salvo, pela agitação) antes da solicitação da pesquisadora de que ele recapitulasse seus conhecimentos escolares.

Após obter essas explicações, a pesquisadora o questionou sobre a existência de espaços vazios no sólido e sobre a diferença na dimensão das partículas de uma mesma matéria no estado sólido e líquido. Com relação ao primeiro questionamento, S4 esclareceu que haveria espaço, “*mas são muito pequenos*”. Com relação ao segundo, ele afirmou que sua intenção era somente a de representar mais espaços entre as partículas, mas sabia que deveria representá-las do mesmo tamanho. Logo após esses esclarecimentos, a representação para o sistema ‘giz e água’ (figura 7.36) foi retomada e novos esclarecimentos foram solicitados, como ilustra a citação a seguir:

**P:** *E o que você observou quando você colocou o giz aqui na água?*

**S4:** *Que soltou bolhas.*

**P:** *E por que saíram bolhas?*

**S4:** *Porque a água penetrou nos poros que tinha, nos espaços vazios que tinha do sólido, tirando o ar dele. Como tinha água em volta, o ar tinha que sair. Aí foi que formou as bolhas.*

**P:** *Então esses espaços que você disse que existem entre uma partícula e a outra (aponta para a representação da figura 7.38), contêm ar?*

**S4:** *Sim.*

**P:** *Esses espaços aqui são os poros que você falou? (Aponta para a representação da matéria sólida na figura 7.38).*

**S4:** *Acho que sim.*

Essa citação demonstra que S4, como S1 e S3, parecia não conceber a existência do vazio e, por isso, afirmou que a água entraria nos “espaços vazios” do giz e retiraria deles o ar que lá existia. Além disso, devido à sua confusão entre os níveis de representação macro e submicroscópico, ele associava os poros do giz aos espaços vazios de uma representação submicroscópica da matéria.

Percebendo essas confusões, a pesquisadora solicitou que S4 observasse novamente o giz na extremidade não polida e descreve suas observações. Como ele afirmou que conseguia observar pequenos buraquinhos em sua superfície, a pesquisadora o questionou sobre a escala dessa observação e utilizou o recurso imaginativo da “visão de raios X do Super-homem”, o que fez com que ele refletisse sobre seu modelo do giz:

**S4:** *Eu estou vendo um monte de buraquinhos no giz.*

**P:** *Se você está conseguindo observá-los, estamos falando de algo no macro ou no submicro?*

**S4:** *No macro.*

**P:** *E quando você representou a matéria aqui (aponta para a figura 7.38), em qual escala estava representando?*

**S4:** *No submicro.*

**P:** *Então, pensando no submicro como se você tivesse o poder de enxergar com uma visão de raios X igual a do Super-homem, como você imagina cada pozinho que o giz soltou na sua mão?*

**S4:** *Teria várias dessa daqui (aponta para a representação da matéria sólida na figura 7.38).*

**P:** *Então no caso do giz, onde esse ar está?*

**S4:** *Nos buraquinhos do giz, nos espaços que tem entre um monte de pozinhos desse que têm um monte dessas partículas aqui (aponta para a representação da matéria sólida na figura 7.38).*

**P:** *E entre elas (aponta para os círculos da figura 7.38), o haveria?*

**S4:** *Nada. É só o espaço entre elas mesmo.*

A partir dessas discussões, S4 foi solicitado a rever sua representação para o processo entre o giz e a água e elaborou o desenho da figura 7.39 a seguir e o explicou:



Figura 7.39. Representação reformulada da mistura giz e água elaborada por S4.

**S4:** *Pensei que... As partículas da água, elas ficam um pouco mais separadas e as do giz ficaram mais unidas já que ele é sólido. Elas ficam unidas, tipo coladas, porque a água não consegue separar, mas entre muitas delas pode ter espaços maiores que é onde o ar ficava e a água entrou. As partículas da água, como é líquida, ficam mais separadas; um pouco mais separadas umas das outras.*

Os esclarecimentos fornecidos por S4 sobre como imaginava a constituição dos pozinhos de giz no nível submicroscópico – cada um deles seria formado por várias das partículas que ele representou na figura 7.39 – e sua explicação de que essas partículas estariam “tipo coladas” nos fornecem indícios da mobilização do **EER união física submicro**. Além disso, ele foi capaz de diferenciar os espaços vazios entre as partículas submicroscópicas dos espaços macroscópicos ocupados pelo ar no giz.

Uma revisão da representação do sistema ‘suco e água’ (figura 7.37) foi solicitada nos mesmos termos da anterior:

**P:** *A partir do que a gente discutiu, fala pra mim o que você vê de coerente e de incoerente; ou se está tudo coerente nesta representação (figura 7.37).*

**S4:** *As do suco, eu acho que tá coerente, porque no início elas estão próximas e depois se separam. Agora, as da água achei que ficou um pouquinho incoerente, porque elas estão muito juntas pra ser um líquido. Eu poderia ter espaçado mais.*

Como a única incoerência identificada por S4 na figura 7.37 foi a necessidade de mais espaço entre as partículas de água, ele não elaborou uma nova representação. Ele também esclareceu que cada um dos grãos de suco corresponderia a inúmeras das partículas azuis representadas naquela figura, caracterizando, como no caso do giz, o início de uma representação do sistema no nível submicroscópico.

Ao ser questionado sobre o “englobamento” das partículas de suco pelas de água, S4 explicou:

**S4:** *Eu estava pensando assim: por exemplo, uma partícula de uma substância X, o suco, aí vem uma molécula da substância Y, da água, e ela tipo absorve a molécula X e vai fazer... aí vai assumindo as propriedades dela (elabora o desenho da figura 7.40a). Mas agora eu pensei assim: como a partícula do suco é muito pequena e a da água também, então não tem jeito mais de englobar (constituição do **EER união física submicro**).*

**P:** *Então, como vai acontecer?*

**S4:** *Aí é que eu não sei!*

A discussão continuou no sentido de recapitular seus conhecimentos sobre o significado de uma reação química e de favorecer a diferenciação entre esta e o fenômeno de dissolução. A citação a seguir ilustra essa etapa:

**P:** *Como você representaria a reação química entre partículas de  $H_2$  e de  $O_2$  para formar a água,  $H_2O$ ?*

**S4:** *(Elabora o desenho da figura 7.40b). Os átomos de hidrogênio e de oxigênio vão ter que separar e pra depois juntar pra formar a água,  $H_2O$ .*

**P:** *Então, como poderíamos imaginar uma reação química, no geral?*

**S4:** *Os átomos se separam e depois unem. Aí forma uma nova composição para as moléculas; uma modificação delas.*

**P:** *E quando adicionamos o suco na água, você acha que os átomos dela se separam e se unem com os átomos do suco?*

**S4:** *Não.*

**P:** *O que acontece, então?*

**S4:** *As moléculas de água se juntaram com as partículas de suco (aponta para a figura 7.37), só juntaram, sem mudar a composição.*

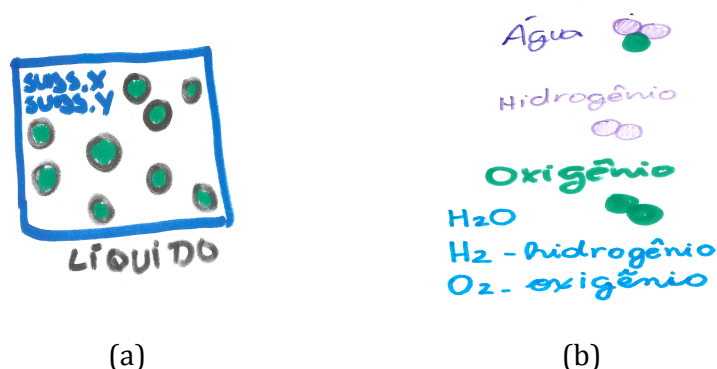


Figura 7.40. Representação para a dissolução do suco como “englobamento” de partículas (a); e da reação química como rearranjo de átomos (b) elaboradas por S4.

Essa discussão evidencia que o conhecimento escolar prévio de S4 lhe possibilitou uma diferenciação entre os processos a partir de ideias mais coerentes com os modelos curriculares que os representam. Em seguida, e com base nessas ideias, S4 foi solicitado a estabelecer comparações para ambos os processos. Com relação ao suco, ele propôs a seguinte:

**S4:** *Deixa eu ver... Acho que foi isso mesmo. As partículas do suco, elas já estavam unidas. Estavam no pó. E quando a partícula da água veio se unir com elas, elas só se separaram mesmo e se juntaram com as de água.*

**P:** *E que comparação você faria para esse processo?*

**S4:** *Uma pessoa que, por exemplo, ela está com um grupo de amigos dela. Aí ela vê uma pessoa que ela gosta. Ela se separa dos amigos dela e se... aí ela começa a se juntar mais com a outra pessoa.*

**P:** *Então, em que seria semelhante e em que seria diferente a isso daqui (aponta para o sistema ‘suco e água’)?*

**S4:** *Semelhante na separação. Que a pessoa se separa dos amigos pra ficar com outra pessoa que ela tem mais afinidade, que ela gosta mais. E as moléculas (de suco) se separam das outras moléculas pra se unir com as da água. E as diferenças são que... Eu acho que é porque a pessoa, ela tem aquela consciência de que ela vai fazer isso. Agora as moléculas não; elas vão por afinidade.*

**P:** *Como assim? Explica pra mim essa questão da afinidade.*

**S4:** *Por exemplo, as partículas da água vem e as partículas do suco algumas são atraídas pelas partículas da água por causa da afinidade. Elas se atraem e se unem. Com as pessoas é quase isso, só que as pessoas sentem atração, mas ela pode decidir, se quer ir ou se quer ficar.*

**P:** *E, no caso das partículas do suco e da água, o que causa essa “afinidade”?*

**S4:** *O tipo de partícula de cada substância. As de água têm afinidade com as de suco, mas não têm com as de giz. Aí elas vão se unir (as partículas de água e de suco).*

**P:** *Se unir como?*

**S4:** *A afinidade que elas têm faz elas ficarem coladas uma na outra. Encostadas, mas sem englobar.*

Na similaridade literal elaborada, S4 colocou em correspondência a relação entre o comportamento de pessoas que se aproximam por afinidade, ou seja, atraídas por laços sentimentais, e o das partículas de suco e de água, que se aproximam devido a uma “afinidade” como uma tendência combinatória característica do material. Ele também relacionou a separação entre pessoas de um grupo e a separação das partículas do soluto. Além das relações, a propriedade descritiva “união física” foi destacada para o domínio alvo, apesar de não ter sido diretamente combinada a nenhum aspecto do domínio análogo. Assim, essa comparação, juntamente com as explicações de S4 fornecidas na discussão precedente, nos permitem caracterizar a mobilização do **EER união física submicro** por ele.

Na sequência, S4 estabeleceu a seguinte comparação para explicar o comportamento do giz em água:

**P:** *Entendi. E no caso do giz? Qual a comparação que você poderia estabelecer?*

**S4:** *O do giz é como se fosse, por exemplo, uma outra pessoa está com um grupo de amigos assim, aí chegou outra pessoa. E essa pessoa não sente atração nenhuma pela outra pessoa. É como se fosse o giz com a água. As partículas da água chegam e as do giz estão lá. É como se elas não tivessem afinidade, elas não vão se unir.*

**P:** *E quais seriam as semelhanças e as diferenças?*

**S4:** *Que das pessoas, elas também podem escolher se elas querem ou não querem ir. Agora as do giz e da água, as moléculas, elas não escolhem é pura afinidade.*

Como o processo da não dissolução do giz foi percebido por S4 como contrário ao da dissolução do suco, ele estabeleceu uma similaridade literal a partir do mesmo domínio análogo, uma vez que este lhe permitia estabelecer relações contrárias àquelas que foram estabelecidas com o domínio alvo anterior (comportamento do sistema ‘suco e água’). Neste caso também, S4 mobilizou o **EER união física submicro**.

Na Atividade 3 (Anexo 2), S4 descreveu o processo sem agitação da seguinte maneira:

**P:** *O que você está observando?*

**S4:** *Que continua com aquela cor meio... meio roxa, transparente da água. Só que... tem como se fosse umas linhas azuis. E o sólido dele (do suco) desceu quase todo pro fundo. (...) A maioria não dissolveu e uma parte sim.*

A pesquisadora solicitou que S4 observasse por mais alguns instantes e, em seguida, solicitou que ele explicasse a causa do escurecimento gradual do suco:

NILMARA BRAGA MOZZER

**P:** *O que está acontecendo com a coloração desta parte de cima aqui (aponta para a parte superior do frasco)?*

**S4:** *A parte de cima vai ficando mais roxa. Daqui a um tempo tudo vai se dissolver; as partículas vão se unir.*

**P:** *E por que isso acontece? Quer dizer: como esta parte de cima está ficando mais escura sem a gente agitar?*

**S4:** *É como eu te disse, porque as partículas de suco que estão na parte de baixo estão se unindo com as de água.*

**P:** *Mas, elas estão fazendo isso sem que a gente agite o sistema? Como assim?*

**S4:** *É, elas estão se atraindo.*

**P:** *E o que causa essa atração das partículas?*

**S4:** *É como se tivesse... uma tivesse com uma carga e a outra tivesse a carga oposta a ela. Como se uma tivesse a carga diferente da outra. Aí as duas se atraem.*

**P:** *E o que te levou a pensar nisso, da atração de uma com a outra?*

**S4:** *Porque... eu pensei assim: se o suco, sem agitar, ele vai ficar quase todo lá no fundo e algumas outras (partículas de suco) vão... vão dar a cor pra água, vão ser dissolvidas na água. As partículas do suco que estão lá no fundo, que ainda não estão dissolvidas, à medida que vai passando as moléculas de água, elas vão atraindo as de suco e vai modificando mais um pouco, vai ficando mais escuro.*

**P:** *Entendi. E depois? Por exemplo, se a gente deixasse esse suco aqui de hoje para amanhã, essas partículas de suco que estão aqui em cima iriam pra baixo?*

**S4:** *Não. Elas iam continuar aqui em cima!*

**P:** *Por quê?*

**S4:** *Por causa da força de atração que elas têm.*

Uma vez que S4 passou a explicar a união das partículas submicroscópicas de suco e de água não mais pelo contato físico entre elas, mas devido à atração eletrostática entre essas partículas (**EER interação submicro**), ele foi capaz de prever que o suco dissolvido não se decantaria. A pesquisadora solicitou, então, que uma comparação fosse estabelecida para explicar o processo com base nessas ideias:

**P:** *A partir do que a gente discutiu aqui, com o que você poderia comparar esse processo?*

**S4:** *Eu ia usar a mesma comparação de antes, porque é praticamente a mesma coisa. Só que eu ia modificar um pouco. Por exemplo: Eu posso imaginar que se tem um grupo de pessoas aqui, aí vem um outro grupo de pessoas, algumas pessoas desse grupo vão indo pro outro e do outro vão vindo para esse; pra se unirem, porque elas se gostam. Até que todas as pessoas tenham se misturado. Só que nas partículas do suco e da água, isso vai ser por causa da força de atração que eu te falei que vem das cargas.*

Através da reformulação de sua comparação anterior, S4 foi capaz elaborar uma analogia na qual colocou em correspondência três relações entre os domínios comparados, a saber: a atração sentimental das pessoas e a atração eletrostática das

partículas; a mobilidade de pessoas e a de partículas; e a mutualidade dos sentimentos e das forças atrativas (**EER interação submicro**). Ele ainda identificou, espontaneamente, uma diferença entre os domínios (a natureza das interações), o que pareceu indicar certo progresso na compreensão do processo de elaboração de analogias com propósitos científicos.

Uma comparação com base nas novas ideias também foi espontaneamente estabelecida por ele para o sistema 'giz e água':

**S4:** *É como eu tinha explicado: se tem um grupo de pessoas aqui (mostra uma das mãos fechadas) e tem um outro grupo aqui (mostra a outra mão), essas pessoas podem não querer ir para os grupos diferentes, porque elas não gostam das pessoas do outro grupo e vice-versa. Mas, elas é que decidem. E no giz e na água, isso acontece, porque não tem força de atração entre elas (partículas). Elas se "repulsam" porque têm a mesma carga, como se cada uma tivesse uma carga positiva.*

A analogia estabelecida por S4 para o sistema 'giz e água' também coloca em correspondência os laços sentimentais que podem existir entre as pessoas – o fato de elas não se gostarem – com a interação eletrostática entre as partículas do soluto e do solvente (**EER interação submicro**). No entanto, ele associava a não interação entre as partículas à repulsão entre cargas de mesmo sinal sem notar a incoerência de se propor que partículas de mesmo sinal se mantivessem unidas em grupos na constituição do giz.

A percepção de tal incoerência levou a pesquisadora a promover uma discussão sobre a constituição elétrica das partículas da matéria, que pode ser ilustrada através do trecho a seguir:

**P:** *Uma partícula de água, como você representou aqui (aponta para a figura 7.33b), é formada por átomos de hidrogênio e oxigênio. Se a gente pensar nesses átomos como no modelo de Bohr, quais são as partículas presentes nesses átomos?*

**S4:** *Os prótons, os nêutrons e os elétrons.*

**P:** *E qual a carga do próton?*

**S4:** *Positiva.*

**P:** *E dos elétrons?*

**S4:** *Negativa.*

**P:** *E como os átomos de hidrogênio e oxigênio se encontram na molécula de água?*

**S4:** *Estão unidos, atraídos um pelo outro.*

**P:** *Então, eu poderia dizer que em cada um desses átomos têm tanto cargas positivas quanto negativas?*

**S4:** *Pode!*

**P:** *E nas partículas de giz?*

**S4:** *É a mesma coisa que nas de água. Tem átomos com cargas positivas e negativas.*

**P:** *E pensando nisso, como cada partícula do giz pode atrair outra de giz?*

**S4:** *Sim, porque como ela tem as duas cargas, as positivas de uma podem atrair as negativas da outra, e as negativas atrair as positivas, tipo assim oh (elabora a representação da figura 7.41, na qual um par de bolinhas representa o giz e o outro a água. As regiões coloridas de azul e vermelho em cada bolinha representam as cargas positiva e negativa de cada uma delas).*



Figura 7.41. Representação da atração entre as cargas opostas das partículas de cada um dos componentes do sistema 'giz e água' elaborada por S4.

**P:** *E as de água, se atraem?*

**S4:** *Do mesmo jeito (aponta para o par de bolinhas à esquerda da figura 7.41)!*

**P:** *Então, como você explicaria que as de giz não atraem as de água e vice-versa?*

**S4:** *Pensando assim, eu não sei explicar.*

Uma nova inconsistência foi percebida por S4, nas explicações que ele construiu com auxílio da pesquisadora. Ela se relacionava à possibilidade da existência de forças atrativas entre partículas do soluto e do solvente e à inexistência de união efetiva entre elas. Neste momento, o foco da discussão se voltou para a diferença de intensidade entre as forças presentes nos diferentes sistemas observados:

**P:** *Você acha que todos os tipos de atração têm a mesma intensidade, a mesma "força"?*

**S4:** *Não, acho que tem umas fortes e outras fracas.*

**P:** *Se você fosse comparar a atração entre as partículas de suco e as de água, ela seria maior ou menor que entre as partículas de suco com as de suco?*

**S4:** *Seria maior.*

**P:** *Por que ela seria maior?*

**S4:** *Porque ela se mistura com as da água.*

**P:** *Agora vamos avaliar as da água entre si. Se você fosse compará-las com essa da água com o suco, qual seria maior, água-suco ou água-água?*

NILMARA BRAGA MOZZER

**S4:** *Água-suco.*

**P:** *Por quê?*

**S4:** *Porque as de água também saíram e foram se unir com as de suco.*

**P:** *Agora vamos para o giz. Se a gente pensasse nas atrações entre as partículas de giz, como é que você raciocinaria em termos de qual a força de atração menos intensa?*

**S4:** *A do giz com a água, porque as partículas do giz não unem com as da água, nem as da água unem com as do giz. Então as da água só unem com as da água e as do giz só unem com as do giz, porque elas são mais fortes.*

S4 parece ter sido capaz de entender que os processos da dissolução ou não de uma substância em outra devem ser analisados como um conjunto de interações e não como simples interações duais entre partículas diferentes. A partir desse nível de discussão, aspectos como a estabilidade do sistema resultante poderiam ser introduzidos. Entretanto, tais aspectos não integram nossas atividades, uma vez que estas têm como alvo a compreensão da natureza elétrica das interações entre partículas e a diferença de intensidade dessas interações.

Tal compreensão parece ter sido alcançada por S4, pois ele foi capaz de reformular suas analogias anteriores de maneira a contemplar esses aspectos (a natureza elétrica e a diferença de intensidade das interações, além da consideração destas na análise do sistema como um todo) (**EER interação submicro**), como evidencia a citação a seguir:

**P:** *E no caso da comparação com as pessoas, como é que você explicaria isso?*

**S4:** *Por exemplo: tem um grupo de pessoas aqui (mostra uma mão fechada) e outro aqui (mostra a outra mão também fechada), aí tem pessoas aqui querendo entrar cada uma para o grupo da outra, pra elas se unirem. Só que os grupos dessas pessoas estão atraindo muito elas. Por isso, elas não vão se unir. Elas vão continuar no seu grupo. Agora se os sentimentos entre as pessoas de grupos diferentes forem mais fortes, elas vão deixando seus grupos originais e formando outros grupos.*

**P:** *E no caso das partículas, o faz elas permanecerem no mesmo grupo ou mudarem?*

**S4:** *A atração entre as cargas delas que pode ser mais forte ou mais fraca.*

Na realização da Atividade 4 (Anexo 2), ao ser solicitado a utilizar suas analogias anteriores para explicar o fato de o óleo não se dissolver em água, ao contrário do vinagre, S4 foi o único dentre os sujeitos entrevistados que fez uso daquelas:

**S4:** *Bem, eu coloquei assim: o óleo não se dissolve na água, porque a força de atração das partículas de óleo entre si e das de água entre si não deixa a partícula de um se unir com a do outro. E aqui a analogia: um grupo de pessoas 1*

NILMARA BRAGA MOZZER

*e a pessoa 1 e aqui o grupo de pessoas 2 e a pessoa 2. A pessoa 1 quer se unir com a pessoa 2, mas a sua vontade de se unir com o grupo 1 é mais... é maior, impedindo que ela vá. E ocorre o mesmo com a pessoa 2; ela quer se unir com a pessoa 1, mas a vontade dela de se unir ao grupo 2 é muito maior. Aí, elas não vão se unir, a pessoa 1 com a pessoa 2 e todas as outras do grupo 1 e do 2.*

*Na segunda, eu escrevi que a força de atração da água e do vinagre permite que elas (as partículas) se unam. Aí eu coloquei a analogia: a pessoa 1, com o grupo 1 e a pessoa 2, com o grupo 2. A pessoa 1 se une com o grupo 1, mas o sentimento que ela tem de se unir com outras pessoas do grupo 2 é maior. Aí as pessoas 1 e 2 se unem. O mesmo acontece com as outras pessoas do grupo 2 com as outras do grupo 1.*

As últimas analogias reelaboradas por S4 relacionam, simultaneamente, a causa das atrações entre os diferentes domínios comparados e as diferenças de intensidades entre essas atrações (**EER interação submicro**). O fato de ele ter sido capaz de adaptar o domínio análogo para satisfazer as exigências do alvo pode justificar o fato de, ao contrário dos demais sujeitos, ele ter se sentido à vontade em utilizar suas comparações, demonstrando transitar com certa segurança entre os dois domínios.

A partir dos dados deste estudo de caso, elaboramos o quadro 7.7. Ele contém alguns dos conceitos-em-ação, teoremas-em-ação e os indícios de sua fundamentação identificados a partir da análise das condutas de S4 ao vivenciar as atividades de modelagem. Elaboramos também o quadro 7.8, onde apresentamos os esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados e associados às situações da modelagem.

Conceitos-em-ação	Teoremas-em-ação	Indícios dos invariantes
Matéria	1- A matéria líquida é contínua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão da dissolução do giz pela água.</li> <li>• Estabelecimento das diferenças entre previsto e observado.</li> </ul>
	2- Pó ou grão e gota são as unidades fundamentais da matéria sólida e líquida, respectivamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização do termo “<i>partícula de pó</i>” para as unidades do giz.</li> <li>• Utilização dos termos partícula e grão como sinônimos das unidades do suco.</li> </ul>
	3- Não existem espaços vazios na matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação da entrada de água nos “espaços vazios” (poros) de giz e saída de bolhas de ar.</li> <li>• Confusão entre os poros e os espaços submicroscópicos da matéria.</li> </ul>
	4- A matéria pode ser formada por um conjunto “compactado” ou “descompactado” de partículas (pó, grão ou gota).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descrição da água na explicação inicial da suposta dissolução do giz.</li> <li>• Representação do giz (figuras 7.33b e 7.36) e representação do suco (figura 7.37).</li> <li>• Representação e descrição dos três estados físico na figura 7.38.</li> <li>• Descrição do giz na comparação entre os sistemas ‘giz e água’ e ‘óleo e água’.</li> </ul>
	5- O movimento das partículas depende do estado físico da matéria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimento das partículas do sólido possibilitado somente por agitação.</li> <li>• Papel dinâmico atribuído à água nos dois sistemas em contraste com os solutos.</li> </ul>
	6- As partículas da matéria são dotadas de movimento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recapitulação de seus conhecimentos sobre o modelo cinético-molecular.</li> <li>• Analogia entre a união mútua de pessoas entre si e partículas entre si.</li> </ul>

Quadro 7.7. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S4 e os indícios de sua fundamentação.

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Matéria	7- A matéria é constituída por partículas submicroscópicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nova representação do giz (figura 7.39); reinterpretação da representação do sistema 'suco e água' na figura 7.37.</li> </ul>
Interação	1- A interação depende da resistência/fragilidade de um material em relação ao outro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão da dissolução do giz.</li> <li>• Identificação das diferenças entre o previsto e o observado.</li> <li>• Explicação para a não dissolução do giz.</li> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'óleo e água'.</li> </ul>
	2- As partículas das diferentes substâncias interagem por afinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação para uma dissolução hipotética do giz.</li> <li>• Explicação da figura 7.37.</li> </ul>
	3- A interação entre partículas é algo físico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nova representação do giz (figura 7.39); reinterpretação da representação do sistema 'suco e água' na figura 7.37.</li> <li>• Comparação da interação entre pessoas e partículas nos sistemas 'giz e água' e 'suco e água'.</li> </ul>
	4- A interação entre as partículas é eletrostática.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação do sistema 'suco e água' com o intercâmbio de pessoas de dois grupos diferentes.</li> <li>• Representação da interação entre partículas (figura 40).</li> <li>• Comparação reformulada dos sistemas 'suco e água' e 'giz e água' e o intercâmbio de pessoas.</li> </ul>
Dissolução	1- A dissolução é um processo de dispersão das partículas do soluto no solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação da liberação de pó de giz na mão e associação com a fragilidade do material.</li> <li>• Representações das figuras 7.33a, 7.33b e 7.36.</li> <li>• Comparação entre os sistemas 'giz e água' e 'óleo e água'.</li> </ul>

Quadro 7.7. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S4 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

<b>Conceitos-em-ação</b>	<b>Teoremas-em-ação</b>	<b>Indícios dos invariantes</b>
Dissolução	2- A dissolução é uma reação; um processo de transmutação das partículas do soluto e do solvente, que têm afinidade, em um tipo diferente de partícula.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicação para uma dissolução hipotética do giz.</li> <li>• Representação gestual do processo de “englobamento” das partículas de soluto pelas de água (figura 7.34).</li> <li>• Comparação entre o sistema ‘suco e água’ e a mistura de tintas.</li> <li>• Comparação entre os sistemas ‘giz e água’ e ‘óleo e água’.</li> <li>• Representação do processo de “englobamento” (figura 7.40a).</li> </ul>
	3- A “entrada” do soluto no solvente é facilitada pela agitação por um agente externo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação de que todo o suco se dissolveu após agitação do sistema com uma colher.</li> </ul>
	4- A dissolução é um processo de união física entre as partículas do soluto e do solvente que têm afinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação da interação entre pessoas e partículas dos sistemas ‘giz e água’ e ‘suco e água’.</li> </ul>
	5- A dissolução é um fenômeno que envolve interações eletrostáticas entre as partículas do soluto e do solvente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação do sistema ‘suco e água’ com o intercâmbio de pessoas entre dois grupos diferentes.</li> <li>• Comparação do sistema ‘giz e água’ com a ausência de intercâmbio de pessoas entre dois grupos diferentes.</li> </ul>
	6- A dissolução ou não de uma substância em outra depende da intensidade das interações estabelecidas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparação entre relações interpessoais de diferentes intensidades e os fenômenos observados.</li> </ul>

Quadro 7.7. Conceitos-em-ação e teoremas-em-ação referentes à conduta de S4 e os indícios de sua fundamentação (continuação).

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Prever o comportamento do giz em água (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz solta pó em contato com as mãos, ele também o soltará em contato com a água. Se a água fica branca, o pó se solta e se funde nela.	O dado experimental saliente (liberação de pó na mão) deve ser transportado para a situação prevista (dissolução do giz).	Relacionar a fragilidade do giz ao seu comportamento em água.	Matéria (1), (2), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Descrição do comportamento observado para o sistema 1.	Espalhamento meso	Se estão saindo bolhas de ar do giz e se o giz não diminui de tamanho, a água é capaz de expulsar o ar, mas não de fazer com que as partículas do giz se soltem.	O papel da água deve ser relacionado aos dados experimentais salientes: saída de bolhas e não dissolução do giz.	Relacionar os dados experimentais salientes.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 1).	Espalhamento meso	Se o giz não diminui de tamanho quando em água, libera bolhas, flutua e posteriormente afunda, as partículas-pó não são permeáveis à água, o “espaço vazio” <sup>67</sup> do ar é ocupado pela água e ele se torna mais pesado.	Os dados experimentais salientes (não dissolução, liberação de bolhas e submersão do giz) devem ser conciliados na justificativa das diferenças identificadas	Formular uma explicação para a não dissolução do giz que conjugasse todos os dados experimentais salientes.	Matéria (1), (2), (3), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se o giz não libera pó e se a água continua incolor, as partículas-gota da água se dispõem junto às partículas-pó sem englobá-las e as partículas-pó mantêm sua compactação.	Um processo contrário à situação prevista deve ser explicado.	Explicar a constância de certas características físicas do sistema.	Matéria (2), (3), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 1 no nível submicro.	Espalhamento meso	Se o óleo não se dissolve em água como o giz não se dissolve, a água não consegue penetrar as partículas do soluto para envolvê-las e, os sistemas são similares neste aspecto. Se o óleo é líquido e o giz é sólido, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas deve ser seu aspecto bifásico. A diferença deve ser o estado físico dos solutos.	Ilustrar o aspecto bifásico do sistema.	Matéria (2), (3), (4) e (5) Interação (1) Dissolução (1)
Prever o comportamento do suco em água (sistema 2).	Reação meso	Se parte das partículas-grão de suco se juntarão com as partículas-gota de água, a cor daquelas partículas passará para a água ao formar o suco e a parte que não se junta, decantará.	O conhecimento prévio sobre dissolução de suco em pó deve ser transportado para a situação prevista.	Destacar as possíveis alterações macroscópicas da água: mudança de cor e decantação de parte do soluto.	Matéria (2), (4) e (5) Interação (2) Dissolução (2)
Descrição do comportamento observado para o sistema 2.	Reação meso	Se algumas partículas-grão do suco ficam “retidas” e outras decantam, as primeiras se juntam com as partículas-gota e formam o suco, e as segundas não.	A mudança de cor da água e a decantação de parte do soluto devem ser conciliadas na explicação.	Explicar as alterações macroscópicas previstas.	Matéria (2), (4) e (5) Interação (2) Dissolução (2)

Quadro 7.8. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S4.

<sup>67</sup> A ideia de “espaço vazio” preenchido com ar, implícita no estabelecimento das diferenças entre o previsto e o observado, foi explicitada por S4 quando ele explicou sua representação para a matéria no estado sólido.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Estabelecer as diferenças entre o previsto e o observado (sistema 2).	Reação meso	Se as partículas-grão são imóveis e se o pó decantado se dissolve ao agitar o sistema, a agitação das partículas-grão facilita seu encontro com as partículas-gota para junção e formação do suco.	Uma agitação adicional deve promover a dissolução da parte decantada. <sup>68</sup>	Explicar o papel da agitação na dissolução.	Matéria (2), (4) e (5) Interação (2) Dissolução (2), (3)
Explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se a água muda de cor, de cheiro e de gosto, as partículas-gota englobam as partículas-grão, devido à afinidade entre elas, e se transmutam em suco.	A aquisição das propriedades do pó pela água deve ser explicada.	Explicar os aspectos macroscópicos: mudança de cor, cheiro e gosto da água.	Matéria (2), (4) e (5) Interação (2) Dissolução (2)
Elaborar uma analogia para explicar o comportamento do sistema 2 no nível submicro.	Reação meso	Se tintas de cores diferentes, ao serem misturadas, alteram sua cor inicial pelo “envolvimento” de uma partícula na outra e se isso também ocorre com as partículas-pó do suco e as partículas-gota da água, os sistemas são similares neste aspecto. Se ambas as tintas apresentam uma coloração e se no caso do sistema ‘suco e água’ só o primeiro possui cor, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a mudança de cor. A diferença deve ser a presença ou ausência de coloração dos componentes.	Ilustrar a mudança de cor do solvente pela adição de um soluto de outra cor.	Matéria (2), (4) e (5) Interação (2) Dissolução (2)
Rever as representações do sistema 1.	União física submicro	Se os pozzinhos de giz e seus poros são vistos a olho nu, no nível submicro esses pozzinhos são formados por inúmeras partículas unidas por contato e os poros são espaços entre conjuntos dessas partículas.	Os pozzinhos e os poros devem ser imaginados em uma escala muito pequena.	Re-representar no submicro as partículas-pó e os poros do giz.	Matéria (5) e (7) Interação (1) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para o sistema 1, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se as pessoas podem não se unir devido aos seus sentimentos e se as partículas do giz não se unem com as de água por ausência de afinidade, os processos são similares neste aspecto. Se as pessoas são conscientes de seus sentimentos e as partículas não são conscientes de sua tendência combinatória, os processos são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas deve ser a não união entre suas partes por ausência de afinidade. As diferenças devem ser a consciência da união e a natureza da afinidade.	Explicar a não união das partículas de giz com as de água.	Matéria (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (4)
Rever as representações do sistema 2.	União física submicro	Se os grãos do suco são constituídos de inúmeras partículas submicroscópicas, em água, elas se separam e se unem fisicamente com as partículas de água.	A ideia de que não pode haver englobamento entre partículas muito pequenas deve ser considerada na explicação.	Explicar um processo percebido como contrário ao do giz.	Matéria (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (4)

Quadro 7.8. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S4 (continuação).

<sup>68</sup> Esse procedimento foi espontaneamente realizado por S4.

Situação da modelagem	EER	Elementos do esboço de esquema de representação			
		Inferências	Regras de ação, de coleta de informação e de controle	Objetivo principal	Invariantes operatórios
Elaborar uma analogia para o sistema 2, considerando as revisões dos modelos.	União física submicro	Se pessoas podem se unir por laços afetivos e se as partículas de suco se unem às de água por afinidade, os processos são similares neste aspecto. Se as pessoas são conscientes de sua união e as partículas não, e se as primeiras se unem devido a laços sentimentais enquanto as segundas se unem devido a uma tendência combinatória, os processos são diferentes nestes aspectos.	A semelhança mais saliente entre os sistemas deve ser o processo de união entre os componentes que têm afinidade. As diferenças devem ser a consciência da união e a natureza da afinidade.	Explicar a união entre partículas de soluto e solvente na dissolução.	Matéria (5) e (7) Interação (2) e (3) Dissolução (4)
Elaborar uma analogia para explicar a dissolução sem agitação.	Interação submicro	Se pessoas de grupos diferentes podem se cambiar e se unir por laços de sentimentos e se as partículas de suco e de água em movimento no sistema se unem por atração das cargas, os processos são similares neste aspecto. Se as pessoas interagem por seus sentimentos e as partículas por suas cargas, os sistemas são diferentes neste aspecto.	As semelhanças mais salientes entre os domínios comparados devem ser: a atração, a mutualidade desta, e a mobilidade dos componentes. A diferença deve ser a natureza das interações.	Explicar o escurecimento gradual da parte superior do sistema 2, sem agitação.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5)
Contrastar os processos de dissolução do suco e de não dissolução do giz usando as analogias.	Interação submicro	Se pessoas estabelecem laços afetivos de intensidades diferentes e se as partículas de soluto e solvente podem se atrair com intensidades diferentes, os processos são similares neste aspecto. Se as pessoas interagem por seus sentimentos e as partículas por suas cargas, os sistemas são diferentes neste aspecto.	A semelhança mais saliente entre os sistemas comparados deve ser a diferença de intensidade das interações. A diferença deve ser a natureza das interações.	Explicar a diferença de comportamento dos sistemas com base nas interações entre partículas carregadas.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)
Estender as possíveis inferências a outras situações relacionadas aos processos 1 e 2 <sup>69</sup> .	Interação submicro	Se pessoas de grupos diferentes estabelecem laços afetivos de intensidades diferentes e se as partículas de óleo e vinagre se atraem com intensidade diferente da que atraem as partículas de água em relação às suas próprias partículas, os processos são similares neste aspecto.	As intensidades das interações eletrostáticas soluto-solvente e das demais interações (soluto-soluto e solvente-solvente) devem ser consideradas em qualquer processo de dissolução (ou não dissolução).	Apoiar as explicações sobre o comportamento das partículas dos novos sistemas nas comparações elaboradas.	Matéria (6) e (7) Interação (4) Dissolução (5) e (6)

Quadro 7.8. Situações, esboços de esquema de representação e seus elementos constituintes identificados a partir do estudo de caso de S4 (continuação).

<sup>69</sup> S4 foi o único sujeito pesquisado a utilizar suas analogias para explicar o comportamento do óleo e do vinagre em água.

## CAPÍTULO 8. CONCLUSÕES

### 8.1. A identificação dos esquemas de representação na modelagem da dissolução

Nossa análise foi realizada com base em categorias que emergiram dos dados, as quais denominamos *esboços de esquemas de representação*. Como comentado no Capítulo 6, tal denominação se deve ao fato de, por si só, essas categorias não possuírem a mesma amplitude dos esquemas, definidos por Vergnaud na TCC como *formas invariantes de organização da atividade dos sujeitos para uma classe de situações*. Isso porque a caracterização dos EER foi embasada na organização da atividade pelos sujeitos em *cada* situação da modelagem vivenciada por eles.

Nossa hipótese era a de que a caracterização dessas categorias a partir de seus elementos constituintes (inferências; regras de ação, de coleta de informação e de controle; objetivos; e invariantes) seria uma ferramenta que nos possibilitaria a identificação dos esquemas de representação mobilizados pelos sujeitos nas classes de situações da modelagem vivenciadas: *produção, expressão, teste e avaliação de modelos*. Como mencionado no capítulo 5, *esquemas de representação* são assumidos neste trabalho como sendo as diferentes ações dos sujeitos de elaboração e refino de modelos (representações) integradas entre si de modos diversos para interpretar e explicar a entidade modelada (o processo de dissolução).

Considerando essa noção específica de esquemas de representação e o construto de esquemas como formas invariantes de organização da atividade assumidos neste trabalho, procedemos à fase de identificação dos esquemas de representação do processo de dissolução que constitui a terceira subetapa de análise. Essa subetapa foi realizada a partir da análise coletiva e comparativa dos estudos de caso, embasada na descrição e nos quadros mais amplos apresentados ao final de cada um deles. Nessa análise buscamos identificar os aspectos invariantes nas ações de cada sujeito, como também as similaridades e diferenças nessas ações entre os diferentes sujeitos.

Neste capítulo, passamos a utilizar a denominação *esquemas de representação*, e não mais esboços de esquemas de representação, para nos referir aos produtos dessa análise. A identificação e a caracterização dos esquemas se encontram no

quadro 8.1 e a discussão destas é parte da resposta à nossa segunda questão de pesquisa, tratada na próxima seção.

Classe de situação	Esquema de representação	Características dos esquemas	
		Específica	Geral
Produção	Espalhamento meso	<u>Sistema giz e água</u> Foco na fragilidade/resistência do soluto ao solvente e na sua granulometria. Tentativa de relacioná-las ao dado experimental saliente da liberação de bolhas.	Dimensão essencialmente perceptiva superficial, oportunista e sistemática: representações construídas, principalmente, a partir de aspectos perceptivos salientes e superficiais, mantidas para dados da mesma natureza.
	Reação meso	<u>Sistema suco e água</u> Foco na granulometria e desaparecimento do soluto e na mudança de cor do solvente. Tentativa de relacionar esses dados experimentais salientes.	
Expressão	Espalhamento meso	<u>Sistema giz e água</u> Foco na integridade física do soluto e na liberação de bolhas. Tentativa de relacionar esses dados experimentais salientes.	Dimensão essencialmente perceptiva superficial, oportunista e sistemática: gestos, modelos concretos, desenhos e analogias fundamentados em aspectos perceptivos salientes e superficiais, mantidos para dados da mesma natureza.
	Reação meso	<u>Sistema suco e água</u> Foco na granulometria e desaparecimento do soluto; nas mudanças de cor, de sabor e de cheiro do solvente; e na precipitação de parte do soluto. Tentativa de relacionar esses dados experimentais salientes.	
Teste	União física submicro	<u>Sistema giz e água</u> Focos na integridade física do soluto, na representação esférica das partículas, e na relação entre o aspecto macroscópico da conservação da forma do soluto e o aspecto submicroscópico da conservação da união entre as partículas do soluto em presença do solvente.	Transição de uma preponderância perceptiva superficial para uma relacional: gestos, modelos concretos, desenhos e analogias fundamentados em uma representação submicroscópica das partículas da matéria.
		<u>Sistema suco e água</u> Focos na mudança de cor do solvente, na representação esférica das partículas e na relação entre o aspecto macroscópico da mudança de cor do solvente e o aspecto submicroscópico da união entre as partículas do soluto e do solvente.	
	Interação submicro	Foco na relação entre o aspecto macroscópico da mudança de cor do solvente sem agitação e os aspectos submicroscópicos do movimento e da atração eletrostática das partículas do soluto e do solvente. Foco na relação entre o aspecto macroscópico da dissolução ou não de um material em outro e o aspecto submicroscópico das diferenças de intensidades das interações eletrostáticas entre as partículas do sistema.	Preponderância relacional: gestos, modelos concretos, desenhos e analogias fundamentados em uma representação submicroscópica das interações no sistema.
Avaliação	Interação submicro	Foco da similaridade do comportamento dos sistemas, no nível submicroscópico.	Preponderância relacional: Mapeamento das similaridades relacionais entre domínios comparados.

Quadro 8.1. Caracterização dos esquemas identificados em cada uma das classes de situações da modelagem vivenciadas pelos sujeitos.

## 8.2. A modificação dos esquemas de representação na modelagem da dissolução

### 8.2.1. Aspectos invariantes dos esquemas de representação

Face à classe de situações “Produção”, os sujeitos mobilizaram esquemas de representação diferentes de acordo com os sistemas: *espalhamento meso* para o sistema ‘giz e água’ (sistema 1) e *reação meso* para o sistema ‘suco e água’ (sistema 2). O mesmo ocorreu no enfrentamento da classe de situações “Expressão”.

O raciocínio dos sujeitos na elaboração de seus modelos explicativos estava essencialmente fundamentado em aspectos perceptivos salientes e superficiais (fenomenismo) como a granulometria dos solutos; a fragilidade/resistência do soluto ao solvente; e as mudanças de coloração, sabor e odor do solvente. Assim, suas inferências eram estabelecidas com base em variáveis de situação e invariantes relacionados às propriedades descritivas e superficiais sobre a aparência dos solutos e seu comportamento em presença do solvente, o que justifica a mobilização de esquemas de representação diferentes para explicar um mesmo fenômeno.

Por exemplo, enquanto a previsão de dissolução do giz através do espalhamento de suas partículas-pó em água (*espalhamento meso*) foi estabelecida com base, principalmente, no fato de os sujeitos observarem que o giz liberava pó quando em contato com as mãos; a dissolução do suco pelo englobamento das partículas-gota (*reação meso*) foi prevista com base na observação dos grãos de suco e no conhecimento prévio dos sujeitos sobre o desaparecimento dos grãos e a mudança de coloração da água no preparo deste tipo de mistura.

Nas classes de situações “Produção” e “Expressão”, podemos identificar simultaneamente as características oportunista e sistemática dos esquemas de representação dos sujeitos. Por exemplo, os sujeitos previram a dissolução do giz em água e a explicaram a partir da ideia de espalhamento das partículas-pó do giz pela ação da água. Quando se deparavam com a manutenção de sua forma e tamanho, na tentativa de explicar esse dado experimental saliente, eles lançavam mão do mesmo esquema de representação (característica sistemática). Por outro lado, eles reformulavam as explicações de base deste esquema, seja para que as mesmas satisfizessem um processo contrário ao previsto (a não dissolução é devida à resistência das partículas-pó compactadas à ação da água), seja para que elas

justificassem suas previsões (o processo de dissolução é lento) (característica oportunista).

A transição de uma preponderância perceptiva superficial na fundamentação dos modelos explicativos para o estabelecimento de relações estruturais e/ou funcionais ocorreu gradualmente nas situações iniciais da classe “Teste”. Ela foi possibilitada pela intervenção da pesquisadora em diferentes momentos, a qual ocorria de acordo com o estado de desenvolvimento das ideias do sujeito naquele momento – o que, por sua vez, estava fortemente atrelado ao seu conhecimento prévio.

Neste sentido, múltiplos eventos discrepantes foram propostos pela pesquisadora nesta fase, baseados nas ideias explicitadas pelos sujeitos. Tal intervenção permitiu a transição da mobilização de esquemas de representação mesoscópicos diferentes para o processo de dissolução, para um esquema de representação submicroscópica único, no qual a dissolução era concebida como a união por contato físico entre partículas diminutas de soluto e solvente (*união física submicro*). Apesar da mobilização de um esquema único, as explicações para a causa do processo ainda eram diferenciadas de acordo com o sistema observado, devido ao foco em características perceptuais superficiais. No caso do sistema ‘giz e água’, a associação entre a integridade física do soluto e a representação das partículas como esferas fornecia a base para a explicação de que a não dissolução seria causada pela resistência de partículas “coladas” de giz à ação da água. No caso do sistema ‘suco e água’, a associação entre a mudança de cor do solvente e a representação das partículas esféricas fundamentava a explicação de que dissolução seria causada pela afinidade entre as partículas de soluto e solvente.

Dentre vários outros exemplos que ressaltam os importantes aspectos da intervenção que auxiliaram os sujeitos na reformulação de suas representações, podemos citar o caso de S1. Na fase de revisão dos modelos, a pesquisadora utilizou aquilo que ele reconhecia como a unidade formadora da matéria suco (o grão) e da matéria giz (o pó) como a base para a solicitação de uma revisão a partir do recurso imaginativo da visão de raios-X do Super-homem. Como consequência dessa solicitação, S1 re-representou o grão de suco como formado por partículas submicroscópicas. Tal representação e a diferenciação entre processos físicos e químicos foram fundamentais para uma reformulação global no seu modelo explicativo, na busca de S1 pela consistência de todos os dados. De um processo concebido como o englobamento de partículas de soluto pelas de solvente e com

formação das novas partículas coloridas de suco, a dissolução passou a ser concebida como um processo no qual a mudança de cor do sistema apoiava a ideia de união física entre partículas diminutas e afins de soluto e de solvente.

A re-representação do pó como formado por partículas submicroscópicas feita por S1 possibilitou novas solicitações da pesquisadora no sentido de proporcionar reformulações de novos elementos de seu modelo. O contraste estabelecido pela pesquisadora entre a afirmação de S1 de que a água entraria nos espaços entre as partículas submicroscópicas do giz e sua explicação para a dissolução do suco a partir desta mesma ideia favoreceu uma nova reformulação no modelo explicativo de S1: as partículas da água estariam situadas próximas a grupos de partículas de giz, ambas submicroscópicas.

Para certificar-se de que os sujeitos compreendiam o significado de suas re-representações para os sistema 1 e 2 nos níveis macro e submicroscópico, a pesquisadora solicitava o estabelecimento de correspondências entre certos aspectos das representações dos sujeitos nos dois níveis. No caso de S1, por exemplo, ela solicitou que ele colocasse em correspondência a localização das partículas de água em sua representação submicroscópica (figura 7.8) e sua localização em sua representação macroscópica do sistema giz e água. Esse movimento de “vai e volta” de um nível de representação a outro, que possibilitava aos sujeitos transitar entre representações diferentes para as mesmas entidades, parece ter sido um fator essencial da intervenção para a consideração de relações, especialmente aquelas relacionadas aos aspectos estruturais.

Na segunda parte da fase de “Testes”, que se iniciou com a observação do sistema suco e água sem agitação, os modelos explicativos reformulados dos sujeitos nos forneceram indícios de uma preponderância de aspectos relacionais, se comparados aos aspectos perceptivos salientes e superficiais de seus modelos iniciais. Também nesta fase, a preponderância dos aspectos relacionais foi possibilitada pelo auxílio da pesquisadora às elaborações dos sujeitos, fazendo com que eles pensassem nos códigos de representação e/ou a partir deles e propondo questões geradoras.

Os sujeitos re-representaram as partículas da matéria: de esferas dotadas de superfície delimitadora, cuja única possibilidade de interação seria o contato físico entre elas, eles passaram a representá-las como partículas separadas por espaços vazios, dotadas de cargas e movimento e que podem se atrair à distância. A partir dessas ideias, eles foram capazes de mobilizar um esquema de representação no qual a

dissolução foi concebida como um processo derivado de interações que variam de intensidade e que ocorrem entre partículas submicroscópicas e móveis de soluto e solvente (*interação submicro*).

O importante papel da intervenção da pesquisadora nesse processo pode ser ilustrado pelo caso de S2. Esta, depois da observação do efeito da turbulência na dissolução do suco sem agitação e da discussão com a pesquisadora sobre o fato de o suco, após dissolvido, não decantar (questão geradora), deu indícios da consideração do movimento das partículas na matéria sólida e da atração entre as partículas de soluto e solvente, propondo espontaneamente uma comparação entre os sistemas 'suco e água' e 'Sol e planetas'. Além disso, o relacionamento solicitado pela pesquisadora entre os códigos de representação de S2 para as partículas da água e o modelo atômico de Bohr, possibilitou a S2 a consideração das partículas subatômicas dotadas de carga e, a partir daí, a consideração da atração eletrostática tanto no sistema 'suco e água' quanto no sistema 'giz e água'. Em consequência, a discussão sobre a diferença de intensidade entre as forças pôde ser guiada a partir do próprio fato observado: a dissolução de apenas um dos componentes.

Na classe de situações "Avaliação", a mobilização do esquema de representação interação submicro para explicar o comportamento dos novos sistemas propostos ('óleo e água' e 'vinagre e água') evidenciou o mapeamento de relações de similaridade com o comportamento submicroscópico dos sistemas 'giz e água' e 'suco e água', nos fornecendo mais uma evidência da preponderância dos aspectos relacionais sobre os preceptivos superficiais nas explicações elaboradas para a dissolução naquela fase.

Para acompanhar a dinâmica da modificação dos esquemas de representação com relação à sua parte mais epistêmica – os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação – elaboramos a representação da figura 8.1. Nesta representação os conceitos-em-ação analisados se encontram enunciados na parte inferior, enquanto os círculos de diferentes tamanhos representam os teoremas-em-ação que os compõem.

Como um conceito-em-ação é formado por inúmeros teoremas-em-ação, os representamos por um número de círculos maior do que o correspondente ao número de teoremas-em-ação identificados/inferidos nas situações de modelagem vivenciadas pelos sujeitos neste trabalho. Isso ressalta também a possível continuidade no desenvolvimento dos esquemas de representação pelo enfrentamento de outras situações relacionadas ao processo de dissolução. Além disso, procuramos destacar a evolução gradual e qualitativa dos teoremas identificados/inferidos, através de uma

diferenciação no tamanho e na concentração dos círculos e identificar a ideia central presente neles, através dos rótulos (escritos em amarelo).

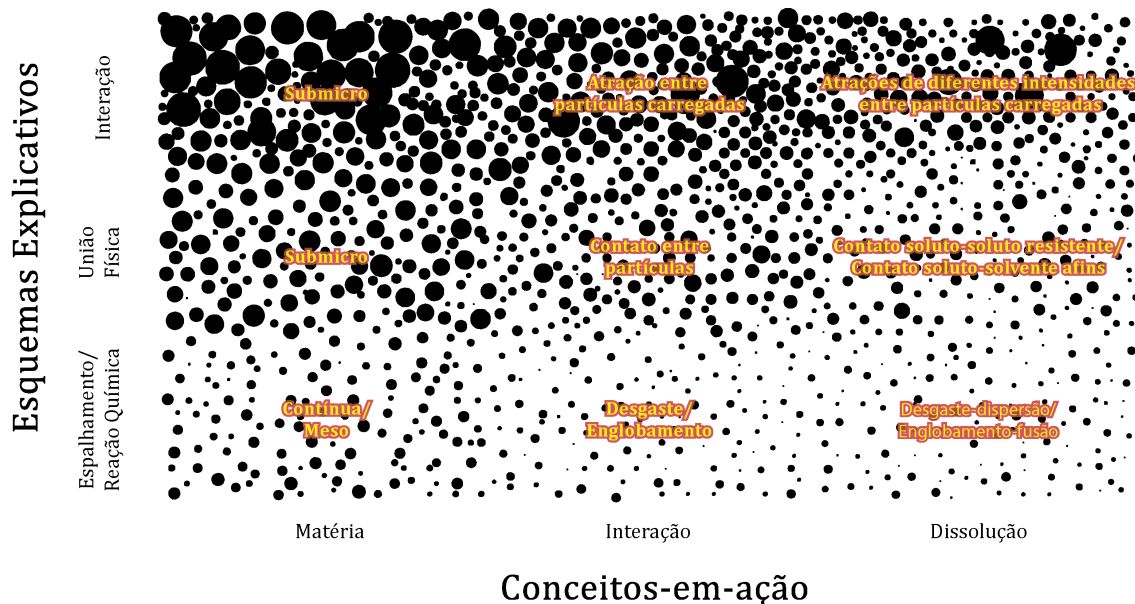


Figura 8.1. Representação da dinâmica de modificação dos esquemas de representação com relação aos invariantes operatórios.

Nossa análise nos permite afirmar que entre os teoremas-em-ação prévios dos sujeitos que compunham os conceitos-em-ação “matéria”, “interação” e “dissolução” em seus esquemas de representação iniciais, aqueles referentes ao conceito-em-ação “matéria” eram compostos por um número um pouco maior de teoremas-em-ação, e relativamente mais desenvolvidos se comparados aos demais. O fato de os sujeitos já terem sido expostos a um maior número de situações, principalmente as escolares, que exigiam deles a elaboração de modelos explicativos para representar a matéria pode ter sido o fator preponderante no desenvolvimento desses conhecimentos, apesar de seu distanciamento, ainda grande, do modelo curricular.

Outra evidência possibilitada por nossa análise foi a de que o desenvolvimento progressivo dos conhecimentos-em-ação do sujeito sobre a matéria auxiliou no desenvolvimento, também progressivo, de seus conhecimentos-em-ação sobre a interação e a dissolução. Isso foi viabilizado tanto pelas interações entre os sujeitos e os objetos do conhecimento (mentais e materiais), quanto entre os sujeitos e a pesquisadora. Esse aspecto foi representado na figura 8.1 pelo aumento progressivo em tamanho e em concentração dos círculos referentes aos teoremas-em-ação

relacionados ao conceito-em-ação “matéria” e pelo acompanhamento destes aumentos nos círculos referentes aos demais conceitos-em-ação.

Os teoremas-em-ação mobilizados pelos sujeitos na elaboração de seus modelos explicativos se mostraram altamente dependentes da situação e dos objetivos da explicação.

A matéria foi representada como *contínua* e/ou como constituída de partículas, as quais denominamos “*mesoscópicas*” porque o sujeito imaginava representar, no nível submicroscópico, algo que, na realidade, existe nos níveis macroscópico ou mesoscópico. No caso da representação contínua, por exemplo, ela foi mobilizada quando o objetivo dos sujeitos na situação inicial de previsão era o de explicar a ação da água líquida no *desgaste* (ou não) de um sólido (*esquema espalhamento meso*). A água era representada como contínua e móvel e o sólido como constituído de partículas mesoscópicas imóveis (como exemplo, ver figura 7.24). Por outro lado, quando o objetivo era o de explicar o *englobamento* de uma partícula pela outra (*esquema reação meso*), ambos, soluto e solvente, eram representados a partir de partículas mesoscópicas de tamanhos diferentes (como exemplo, ver figura 7.25), mas a mobilidade continuava sendo atribuída somente ao solvente líquido. Assim mesmo, não significa que o conceito “matéria” dos sujeitos naquele estágio inicial não fosse constituído também por alguns teoremas-em-ação de representação submicroscópica da matéria (mesmo que menos desenvolvidos), mas que as situações não eram percebidas como exigindo tal representação. Ao contrário, as situações da modelagem vivenciadas posteriormente, exigiram deles um foco no nível *submicro* e, a partir delas os sujeitos passaram a mobilizar e a desenvolver os teoremas relacionados a esse nível de representação. Tal desenvolvimento ocorreu à medida que eles foram sendo solicitados a imaginar e a elaborar em um nível de representação inacessível à percepção imediata e superficial e a conciliar suas representações neste nível com seus conhecimentos prévios escolares. Por conseguinte, passaram a raciocinar com foco na representação de partículas diminutas que não mais se englobavam, mas se encontravam e entravam em *contato* por afinidade (*esquema união submicro* na representação do sistema ‘suco e água’); e a partir de partículas também diminutas e em contato, mas “coladas” tão fortemente que resistiriam à ação erosiva das partículas da água em movimento (*esquema união submicro* na representação do sistema ‘giz e água’). Nestes esquemas de representação, a mobilidade ainda era atribuída somente ao solvente líquido.

Ainda como consequência da avaliação, pelos sujeitos, das características e exigências das situações por eles enfrentadas (eventos discrepantes, questões geradora e as discussões guiadas), as partículas submicroscópicas passaram a ser representadas como dotadas de cargas e movimento. Assim sendo, possibilitava a *atração eletrostática* entre elas, cuja intensidade variava de acordo com a natureza dos materiais (*esquema interação submicro*).

Assim, como uma conjugação dessas representações (e condicionados por elas) os modelos explicativos da dissolução foram sendo (re)construídos. Da dissolução como um processo de desgaste do soluto mesoscópico pelo solvente contínuo ou mesoscópico e subsequente dispersão das partículas daquele neste, ou como um processo de englobamento das partículas mesoscópicas e afins de soluto e solvente; passando pela dissolução concebida como um processo em que as partículas esféricas e submicroscópicas do soluto e do solvente entravam em contato por afinidade ou mantinham o contato entre as partículas do mesmo gênero, devido à ineficiência do solvente diante da resistência à separação das partículas do soluto; até a dissolução como um processo dependente do balanço das intensidades das interações eletrostáticas estabelecidas pelas partículas submicroscópicas do soluto e do solvente no sistema.

Podemos atribuir a alguns fatores uma forte influência nessa organização invariante da representação do processo de dissolução pelos sujeitos. Entre eles estão os fatos de os sujeitos estarem inseridos em um mesmo contexto de ensino e, por isso, vivenciarem situações de ensino e aprendizagem similares naquele contexto; de os sujeitos terem experiências cotidianas com os sistemas utilizados neste estudo similares, uma vez que todos se mostraram familiarizados com os mesmos; de os sujeitos terem sido guiados/orientados na realização das atividades de maneira similar pela pesquisadora; e de os fenômenos observados exibirem mudanças atraentes aos sentidos (como a coloração intensa assumida pela água na dissolução do suco e a liberação de bolhas pelo giz em água). Por outro lado, como discutido no Capítulo 5, o aspecto invariante dos esquemas se refere à organização e não à própria atividade do sujeito e, assim, na próxima seção, discutimos também alguns aspectos específicos às atividades dos sujeitos na elaboração de seus modelos explicativos.

### 8.2.2. Aspectos específicos das atividades dos sujeitos

Algumas especificidades nas atividades dos sujeitos podem ser notadas a partir dos próprios teoremas-em-ação identificados/inferidos em nossa análise. Por exemplo:

- ao contrário de S2, os sujeitos S1, S3 e S4 não concebiam a existência de espaços vazios em suas representações da matéria;
- S1, S2 e S3 representavam a partir de modelos estruturais diferentes a matéria sólida, como o giz, e sólidos granulares como o suco, diferentemente de S4;
- no início das atividades, somente S1 explicitou a ideia de que a água seria capaz de dissolver todos os tipos de materiais;
- S2 e S3 representaram a dissolução do soluto como dependente da quantidade de solvente, mas não os demais;
- para S4, a “entrada” do soluto (partículas-grão) no solvente (partículas-gota) seria facilitada pela agitação.

Outras especificidades podem ser identificadas até mesmo dentro de um único teorema-em-ação. Por exemplo, o teorema-em-ação referente ao conceito-em-ação “dissolução” – enunciado em nossa análise como “A dissolução é um processo de dispersão das partículas do soluto no solvente.” – pode estar baseado em uma representação da dissolução como um processo de espalhamento das partículas-pó no solvente (como manifestado por S1 e S3), ou na continuidade desse processo com uma fusão posterior das partículas do soluto (como manifestado por S2 e S4).

Especificidades mais amplas podem ser observadas na maneira como os sujeitos conduzem a construção de seus esquemas de representação. Por exemplo, na elaboração do esquema de representação espalhamento meso para explicar o comportamento do giz em água S2, como os demais, previu a dissolução do giz em água com base na fragilidade do material em contato com as mãos. Entretanto, ela atribuiu uma maior confiança a este dado perceptual superficial. Assim, mesmo após a observação do comportamento do sistema, ela procurou incorporar a ideia de dispersão das partículas-pó pela água em seu modelo explicativo. Isso justificou a antecipação da etapa de “Testes” pela pesquisadora – como pode ser observado pela diferenciação na distribuição de cores do quadro 7.4 – em relação ao que foi proposto aos demais sujeitos.

No caso de S4, esse mesmo tipo de especificidade pode ser observado durante a construção de dois dos seus esquemas de representação: união física submicro e interação submicro. No primeiro, como os demais sujeitos, inicialmente S4 atribuía a causa da não dissolução do giz em água à resistência das partículas do soluto à ação de dispersão do solvente. No entanto, diferentemente dos demais, face à situação de elaborar uma comparação para explicar o comportamento do ‘sistema giz e água’, a causa do mesmo foi atribuída à “afinidade”. Como as entidades do domínio análogo acessado/criado por ele eram pessoas, ao mapear as relações entre este domínio e o alvo, S4 colocou em correspondência os laços sentimentais difíceis de serem rompidos entre pessoas afins com a forte “afinidade” entre as partículas do giz.

No segundo esquema, como S4 tinha uma experiência mais ampla que os demais no enfrentamento de situações escolares que exigiam a representação do processo de dissolução<sup>70</sup>, o estado de desenvolvimento de seus conhecimentos lhe possibilitaram reformulações que lhe permitiram representar, a partir de suas últimas analogias, a dissolução como um processo global, dependente do conjunto de interações entre todas as partículas do sistema. Este aspecto sistêmico não foi explicitado nas comparações dos demais sujeitos.

Exemplos como esses, referentes à especificidades das atividades dos sujeitos, evidenciam o fato de que os esquemas mobilizados/construídos por eles não constituem estereótipos de suas condutas (Vergnaud, 1996). Isso seria algo muito pouco provável se considerarmos as características específicas que cada situação assume para os sujeitos. Estas são determinadas pela forma como as variáveis de situação são percebidas por eles o que, por sua vez, depende dos seus conhecimentos anteriores e em construção.

### **8.3. O papel das comparações na dinâmica das elaborações dos sujeitos**

Orientadas pela distinção que Gentner (1983, 1989; 1997) faz entre os tipos de comparações, ao longo de nossa análise, categorizamos as comparações elaboradas pelos sujeitos de acordo com o tipo de mapeamento. Assim, tais comparações foram categorizadas como *comparações de mera aparência*, quando o mapeamento se restringia a propriedades físicas descritivas como cor, tamanho, forma; *similaridades literais*, quando o mapeamento incluía também as relações entre os domínios

---

<sup>70</sup> S4 estava repetindo a nona série naquela mesma escola.

comparados; e *analogias*, quando o mapeamento era restrito às relações entre os domínios comparados.

Apesar de cada uma dessas comparações possuir seu papel no entendimento conceitual dos sujeitos, consideramos também que existe uma evolução progressiva no raciocínio analógico das comparações de mera aparência às analogias (Mozzer & Justi, 2012). Tal evolução pôde ser observada com os sujeitos vivenciando as atividades de modelagem propostas neste trabalho e corrobora as ideias de Goldstone e Barsalou (1998) de que similaridades são adaptadas à categoria ou à tarefa a que se destinam.

Como definido no Capítulo 4, um *modelo analógico* é a representação elaborada pelo sujeito a partir dos mapeamentos que ele realiza em suas comparações, independentemente do tipo destas. Sendo assim, uma evolução nas comparações, como a que observamos neste trabalho, é indicativa da evolução na maneira pela qual os sujeitos representam as entidades modeladas e, portanto, da evolução dos esquemas de representação mobilizados.

Ao longo das atividades de modelagem, sob orientação da pesquisadora, os sujeitos passaram de comparações de mera aparência guiadas por propriedades descritivas – como a liberação de bolhas nos sistemas ‘giz e água’ e ‘toalha e água’ ou a decantação do soluto e a mudança de cor do solvente nos sistemas ‘suco e água’ e ‘soluto da Fanta® e água’ (S3) – às similaridades literais focadas em certos aspectos relacionais, mas ainda conjugados a propriedades descritivas – como a representação dos constituintes do sistema ‘giz e água’ a partir de esferas submicroscópicas, mas que se unem fisicamente como as ‘partes de um carro’ (S1) – e dessas às analogias, nas quais o foco estava, preponderantemente, nos aspectos relacionais – como a representação dos constituintes do sistemas ‘suco e água’ a partir de partículas diminutas e móveis, interagindo pela ação de suas cargas elétricas como as pessoas que se interagem por laços afetivos (S1, S3 e S4).

É importante ressaltar que a preponderância dos aspectos relacionais nas analogias não significa que os sujeitos baniram de seus modelos explicativos os aspectos perceptivos. Ao contrário, é a partir da percepção das alterações macroscópicas nos sistemas ou até da inalterabilidade em certos componentes e do relacionamento entre estas percepções e o nível de representação submicroscópica que eles foram capazes de estabelecer relações cada vez mais profundas. Sendo assim, a evolução na elaboração das comparações e, portanto, dos esquemas de

representação, ocorreu através de uma mudança no foco exclusivo sobre aspectos perceptivos superficiais para o foco na relação entre aspectos perceptivos e sua representação a partir de conceitos abstratos da química, como átomos, elétrons, interação etc. Isso realça a diferenciação que Goldstone e Barsalou (1998) fazem entre o “perceptivo” e o “superficial” na elaboração dos conceitos.

Para explicar um processo em um nível de representação desconhecido ou pouco conhecido para eles – o submicroscópico – os sujeitos criaram e, como uma exigência das atividades de modelagem, reformularam domínios análogos que lhes possibilitavam declarar as afirmações de similaridade (hipóteses, nos termos de Giere (1988)) percebidas por eles entre seus modelos mentais e as entidades modeladas. Um exemplo disto é a criação, por S1, do domínio análogo “carro circundado por pessoas” e o mapeamento das propriedades descritivas integridade física do carro para a do giz; aparência delimitada desses componentes; e volumes relativos dos componentes nos sistemas (água: pessoas; giz: carro). Com o desenvolvimento das atividades e sob solicitação e orientação da pesquisadora na etapa de “Teste”, S1 foi capaz de reformular esse domínio de forma a atender às novas exigências de representação de um domínio alvo mais elaborado para ele. As partes unidas do carro foram mapeadas para os grupos de partículas submicro unidas fisicamente no giz, assim como a não desagregação dessas partes/grupos por ação do outro componente e a saída de ar pela ocupação das pessoas/água.

A análise dessas comparações indica que o fato de S1 ter selecionado como análogo um carro imóvel com pessoas se movimentando em torno dele advém de uma representação mental das partículas do soluto sólido como imóveis e do solvente líquido como dotadas de movimento. Além de, simultaneamente, restringir a estas partículas as hipóteses de movimento de S1. Isso é consonante com as ideias de Nersessian (1999) e Coll (2005), de que um domínio análogo criado ou selecionado pelo sujeito serve como fonte de restrições que atuam em conjunto com as próprias restrições da representação do alvo. Deste modo, porque, de acordo com Nersessian (2008b), representações externas e internas formam um “sistema acoplado” no qual se influenciam mutuamente. Daí advém a importância da etapa de “Teste” em atividades de ensino fundamentadas na modelagem como as que propomos neste trabalho. Nelas os sujeitos são guiados no sentido de criticar seus modelos, o que pode levá-los à reformulação ou até ao abandono de tais modelos, algo que raramente eles o fazem por si só (como ocorre com suas comparações (Mozzer & Justi, 2012)).

Quando a crítica de uma comparação é realizada pelo próprio sujeito, ela pode ser indicativa do desenvolvimento dessa habilidade processual na elaboração de analogias com propósitos científicos, pois, como destacado por Coll (2005), uma das diferenças entre os cientistas e alunos ou pessoas pouco experientes quanto ao processo de modelagem é a consciência das limitações dos modelos. Nas atividades propostas neste trabalho, S4 nos forneceu indícios dessa evolução quando realizou, durante as discussões com a pesquisadora, reformulações espontâneas em suas comparações entre os domínios ‘pessoas’ e ‘partículas de suco e água’ de forma a contemplar aspectos não representados anteriormente como a interação eletrostática entre as partículas e a diferença na intensidade das interações. Ele também foi capaz de identificar, espontaneamente, a principal diferença entre os domínios comparados: a natureza das interações estabelecidas.

O processo de elaboração, reformulação e crítica de comparações também pode levar a generalizações (Clement, 2008a). Neste trabalho, todos os sujeitos foram capazes de explicar a dissolução do vinagre em água e a não dissolução do óleo em água através dos mapeamentos mentais entre as similaridades dos processos submicroscópicos que ocorriam nestes sistemas e naqueles para os quais estabeleceram suas comparações. Porém, apesar de solicitados, somente S4 utilizou suas últimas analogias para explicar o comportamento dos novos sistemas. Isso pode ter ocorrido pelo fato de os sujeitos já não perceberem esta tarefa como suficientemente exigente para que eles recorressem ao auxílio de suas analogias (Duit & Glynn, 1996), ao passo que S4, apesar dessa mesma percepção, se sentia confortável com a expressão de suas ideias através de suas analogias.

Finalmente, é importante salientar que a elaboração de comparações pelos próprios sujeitos abre a possibilidade de eles expressarem suas ideias, fazendo uso de uma linguagem a partir da qual se sentem à vontade e seguros. Neste sentido, a linguagem cotidiana pode ser vista como ponte para uma linguagem científica formal em desenvolvimento. S3, por exemplo, inicialmente propôs uma comparação entre os sistemas ‘suco e água’ e ‘açúcar e água’ com base na homogeneidade da mistura e na união física entre partículas afins, mas julgou que a forma como essa união ocorria precisava ser melhor explicitada. Fazendo uso de comparações múltiplas, ela criou um novo análogo – ‘partes de um colar’ – para que o contato físico entre as partes fosse realçado. Numa fase de revisões posterior, o domínio alvo foi re-representado de forma a considerar a atração eletrostática entre as partículas. Logo, a partir de um

análogo que compartilhava quase que exclusivamente similaridades superficiais, S3 foi capaz de evoluir para o estabelecimento de uma analogia com o sistema solar de forma a contemplar a relação da atração à distância.

Assim, é exatamente pelos fatos de ser necessário explicitar os mapeamentos entre o análogo selecionado/criado e o alvo que ele representa, pela crítica constante de suas representações e pela inexistência de uma relação hierárquica entre os domínios comparados (Hesse, 1966), que a representação do alvo e – portanto – o uso da linguagem científica têm o potencial de se desenvolver a partir das comparações elaboradas através deste tipo de atividade.

#### **8.4. O entendimento conceitual na modelagem sob a perspectiva da TCC**

“É pela ação que começa o pensamento: mais precisamente e mais plenamente pela ação, pela coleta de informações sobre o ambiente, pelo controle dos efeitos da ação e pela eventual revisão da organização da conduta.” (Vergnaud, 1996, p.1)

Vinculada a esta visão de ação, a qual vai muito além da manipulação de objetos concretos – embora a inclua – está a representação dos objetos de conhecimento inseridos nas situações, das suas propriedades, das suas relações (entre si e com a ação) e das suas transformações, ou seja, a conceitualização (Vergnaud, 1996).

Nas situações de ensino fundamentadas no Diagrama Modelo de Modelagem, a ação dos sujeitos se dá pela elaboração, expressão, crítica e reformulação de modelos explicativos (representações) para a entidade modelada. Nesse processo, os modelos elaborados – tratados em nossa investigação como “estruturas temporárias construídas na memória funcional para uma tarefa de raciocínio específico” (Nersessian, 1999, p. 11)<sup>71</sup> – atuam como *meio e fonte* de conhecimento (Morrison & Morgan, 1999).

Ao vivenciarem as situações de “Produção” e “Expressão” dos modelos explicativos iniciais, os sujeitos se atêm aos aspectos perceptivos salientes e superficiais, mobilizando esquemas de representação oportunistas que dependem largamente do contexto e do conhecimento prévio daqueles sujeitos. O objetivo

---

<sup>71</sup> Tal como Nersessian, diferenciamos esse tratamento de modelos daqueles dado por investigações que os reconhecem como estruturas armazenadas na memória de longo prazo e ativados durante o raciocínio.

principal para eles é o de elaborar modelos explicativos coerentes com tais aspectos perceptivos.

A partir das múltiplas intervenções, revisões e novas expressões e da experiência de novas ações durante as situações de “Teste” dos modelos explicativos elaborados, os sujeitos adaptam seus esquemas de representação. Neste processo, novas variáveis de situação são inseridas/percebidas, as quais engendram novos objetivos, inferências, regras de ação, de coleta de informação e de controle. Disso resulta que teoremas-em-ação se sobrepõem, perdem e ganham força, se recompõem, devido à mudança no foco das explicações de aspectos preponderantemente perceptivos superficiais para os aspectos relacionais. A percepção é parte essencial dessa adaptação dos esquemas de representação, porém ela agora age de forma que certas características são selecionadas, enquanto outras, as superficiais, são ignoradas. O objetivo principal dos sujeitos se desloca para o de elaborar modelos explicativos coerentes com as relações analógicas que eles podem estabelecer com a entidade modelada. Isso caracteriza uma evolução no entendimento conceitual dos sujeitos.

Essa evolução no entendimento, que ocorre a partir da participação guiada nas atividades de modelagem, é gradual e lenta. Nestas, a autenticidade pessoal nos modelos elaborados é mantida, uma vez que uma evolução no entendimento não significa a extinção e substituição de ideias pelos sujeitos, mas o desenvolvimento adaptativo de seus esquemas de representação que inclui mudança e ampliação dos conhecimentos-em-ação na medida em que eles enfrentam situações múltiplas. Tal processo lento e gradual é coerente com a própria construção do conhecimento científico, como ilustra o desenvolvimento dos modelos explicativos para o processo de dissolução, apresentados no Capítulo 3.

Nas situações de “Avaliação” dos modelos explicativos reformulados, estes têm suas abrangência e limitações julgadas pela contraposição com seus objetivos iniciais e pela tentativa de usá-los em outros contextos. A partir desse processo, os esquemas de representação adaptados, dos quais aqueles modelos fazem parte, podem ser generalizados para as situações percebidas pelos sujeitos como similares àquelas vivenciadas.

Três fatores, dentre outros possíveis, se mostram de extrema importância na evolução do entendimento conceitual a partir da modelagem como vivenciada pelos sujeitos neste estudo:

- (i) *a multiplicidade de situações vivenciadas*, que favorecem que os esquemas de representação dos sujeitos evoluam à medida novas ações relacionadas à elaboração de explicações, nas quais seus modelos são requisitados, são enfrentadas por eles.
- (ii) *a disponibilidade de múltiplos modos de representação* (modelos concretos, gestos, comparações, desenhos), o que oferece aos sujeitos a oportunidade de explicitar suas ideias e de transitar entre os diferentes modos. Isso pode auxiliá-los na (re)elaboração de suas representações internas, uma vez que as restrições impostas por um modo de representação (Boulter & Buckley, 2000) podem ser, de certa forma, minimizadas pela expressão em outros. Além do que, permite aos sujeitos desenvolver o entendimento da possibilidade de existirem múltiplos modelos para representar uma mesma entidade, os quais se diferem quanto ao atributo (propriedade e/ou relação) representado.
- (iii) *a mediação pelo outro*, que fomenta a reflexão, a discussão e a argumentação e, por essa razão, favorece o estabelecimento das relações analógicas que permitem ao sujeito evoluir de seus esquemas de representação iniciais a esquemas de representação fundamentados em ideias mais coerentes com o modelo curricular (o que inclui o desenvolvimento da linguagem própria ao domínio). Essa evolução dos esquemas de representação pela mediação, por sua vez, pode favorecer a compreensão dos sujeitos sobre o papel dos modelos no desenvolvimento e teste de ideias. Além disso, essa evolução pela mediação também pode favorecer o desenvolvimento de habilidades processuais especializadas, como a crítica das representações, presente no uso que cientistas fazem de seus modelos.

Com relação a este último fator, consideramos que 'o outro' no contexto da sala de aula inclui tanto o professor quanto os colegas de classe. Ambos participam da co-construção do conhecimento em atividades de modelagem e, embora a mediação pelos pares não tenha sido o foco deste trabalho, o papel desta tem-se mostrado muito relevante na evolução dos modelos elaborados pelos alunos, como evidenciam as investigações anteriores desenvolvidas em nosso grupo de pesquisa, (Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2010; Mozzer, et al., 2007; Souza & Justi, 2010), citadas no Capítulo 4.

É exatamente por se engajarem com o outro na atribuição pessoal de significados a um conhecimento formalizado e às práticas de uma comunidade, de

cuja construção os sujeitos não fizeram parte, que seus entendimentos conceitual e processual se desenvolvem. Isso implica num processo que conjuga hesitações, rupturas e filiações, que se realiza através de uma série de etapas pelas quais se (re)constrói as formas de organização da atividade. E, como esse engajamento pressupõe a ação – mental e material – dos sujeitos em situação, tanto no ensino fundamentado em modelagem, quanto na TCC, este referencial fornece meios profícuos para compreender o entendimento conceitual dos sujeitos na vivência das atividades de elaboração, crítica e reformulação de modelos.

## CAPÍTULO 9. IMPLICAÇÕES

### 9.1. Principais contribuições do trabalho

Nossa adoção de uma posição socioconstrutivista na qual a aprendizagem de Ciências envolve processos sociais e individuais implica em apoiarmos a visão de que uma melhor compreensão da maneira pela qual os alunos constroem seus raciocínios mediados pelo outro é essencial para o desenvolvimento e a melhoria da prática do ensino de Ciências. Mas também acreditamos que isso não pode ser realizado a partir de estudos que assumem concepções como unidades estanques de um catálogo.

Nossa abordagem investigativa que conjuga os referenciais TCC e Modelagem possibilita o redirecionamento do foco da pesquisa no ensino de Ciências: da simples *identificação* das ideias (ou representações) dos sujeitos sobre os objetos do conhecimento e da sua polarização em corretas e incorretas para a *elaboração* e *reformulação* dessas representações pelos sujeitos. Em outras palavras, o foco da pesquisa é redirecionado para o estado inicial e o percurso dessas representações num conjunto de situações em que a mediação atua como propulsora da ação mental e material dos sujeitos nessas situações. Isso contribui para diferenciar nossa abordagem dos catálogos de concepções alternativas que têm sido elaborados a partir de revisões e resumos de pesquisas no ensino em Ciências (como as citadas no Capítulo 3); e de investigações com analogias, como algumas das mencionadas no Capítulo 4, que parecem conceber processos de raciocínio criativo como restritos a especialistas, uma vez que representações prontas e acabadas dos domínios comparados, elaboradas por cientistas ou professores, são apresentadas aos sujeitos/alunos, sem que qualquer elaboração adicional, além da identificação das ‘correspondências esperadas’, seja solicitada a eles.

A ação dos sujeitos diante das situações de elaboração de suas próprias representações para as entidades modeladas e de expressão destas através de diferentes modos (entre eles as comparações) permite a obtenção de indícios dos conhecimentos operatórios que eles mobilizam – e que são, em grande parte, implícitos – e das variáveis de situação que favorecem sua mobilização. Devido às várias convenções e limitações inerentes às representações, dificilmente o acesso a tais indícios teria sido possível se as representações dos sujeitos fossem expressas

através de um único modo, por exemplo, se analisássemos os desenhos dos sujeitos sem, no entanto, associá-los à expressão verbal ou escrita das ideias que os fundamentam.

A manipulação das variáveis de situação pelo outro mais experiente sobre a crítica e reformulação das representações iniciais pelos sujeitos, bem como o auxílio necessário a esse processo, que permite aos sujeitos evoluir de conhecimentos implícitos a explícitos, fundamentam ambos os referenciais utilizados neste trabalho. Isso realça a importância que deve ser atribuída à mediação pelo outro por investigações que, como a nossa, se proponham a conjugar a TCC e a Modelagem.

Além disso, Vergnaud (1990b) considera que o processo de conceitualização não é o mesmo para todos os domínios do conhecimento e, por isso, as especificidades desse processo têm sido investigadas por ele e seus colaboradores em diferentes domínios. A maioria dos estudos fundamentados na TCC, no entanto, foram realizados no domínio da Matemática e alguns no domínio da Física (por exemplo, Carvalho Jr. & Aguiar Jr., 2008; Vergnaud, 2009; Well-Barais & Vergnaud, 1990). No ensino de Química, nosso trabalho, desenvolvido desde 2009 com a participação do autor da TCC, é pioneiro.

A especificidade da conceitualização neste domínio, como mencionado no Capítulo 2, se deve à natureza abstrata de suas entidades ontológicas (átomos, elétrons, íons etc.); aos distintos modos e níveis de representação possíveis de serem usados para representar tais entidades; aos conceitos científicos e/ou às relações entre eles que os caracterizam; e às práticas epistemológicas da ciência que necessitam ser compreendidas e/ou vivenciadas pelos alunos como parte do currículo escolar. Isso exige deles, como adverte Clement (2008a), uma aprendizagem por execução e construção crítica. Por isso a análise desse processo necessita de um referencial que satisfaça às hesitações, rupturas e filiações inerentes a esse tipo de conceitualização.

Assumindo os esquemas como a unidade adaptativa que nos permite pensar nas relações entre conhecimento na ação e conhecimento teórico, a TCC atende a essas necessidades. Ela nos permite acompanhar o entendimento/desenvolvimento dos conceitos (e processos) atrelados às situações-problema da modelagem em Química de forma integrada e progressiva, desde suas formas iniciais menos sofisticadas – o que inclui conhecimentos operatórios que seriam considerados “falsos” do ponto de vista lógico ou do conhecimento curricular – até suas formas mais abstratas.

Assim, porque os esquemas mobilizados pelos sujeitos se adaptam às situações vivenciadas, sua análise nas atividades de modelagem favorece um exame mais detalhado e profundo e, por isso, mais fidedigno das involuções e evoluções no entendimento conceitual (e processual) nessas atividades, o qual não havia sido realizado antes no ensino de Química.

Neste trabalho, a identificação dos esquemas de representação e a análise da modificação dos mesmos durante as atividades de modelagem foram possibilitadas pela proposição de uma nova unidade de análise: o *esboço de esquema de representação* (EER). O diferencial dessa unidade de análise está em seu alcance mais local em relação aos esquemas de representação. Sua utilização possibilita o exame pormenorizado das ações dos sujeitos em cada situação, o qual é necessário em estudos exploratórios como o que realizamos, mas não restrita a eles. Esse exame, por sua vez, possibilita, por análise comparativa, a identificação tanto dos aspectos invariantes da organização da atividade para classes de situações (esquemas, propriamente ditos) quanto dos aspectos específicos às ações dos sujeitos nessas situações. Ambos os aspectos são relevantes para a compreensão mais ampla de como os sujeitos constroem seus entendimentos.

## 9.2. Implicações para o ensino

A identificação e análise dos esquemas de representação mobilizados pelos sujeitos em situações investigativas como as de modelagem fornece uma estrutura útil para entender os problemas de compreensão e as dificuldades de aprendizagem enfrentadas pelos alunos em domínios específicos de conteúdo. Tal entendimento compreende aspectos invariantes e específicos da cognição dos sujeitos. Por isso, entre outros benefícios, isto pode fornecer subsídios para o planejamento e a condução de atividades investigativas em grupo, nas quais se solicita dos alunos a (re)construção de seus conhecimentos e que podem levar a ganhos nos seus entendimentos conceitual e processual. Tanto no planejamento quanto na condução desse tipo de atividade, os professores precisam ter em mente algumas das possíveis trajetórias de raciocínio dos alunos e das representações pré-conceituais destes para auxiliá-los na elaboração de representações 'aceitáveis' do conhecimento, ou seja, coerentes com as ideias curriculares, mas que mantenham a autenticidade pessoal dos alunos em suas representações próprias. Para que suas ações de ensino tenham maior

probabilidade de sucesso, os professores não podem ser prescritivos, e, neste sentido, conhecimentos sobre os esquemas de representação como os investigados neste trabalho podem auxiliá-los.

De maneira mais ampla, o conhecimento possibilitado pela análise dos esquemas de representação em situações didáticas no ensino de Ciências também pode auxiliar no planejamento curricular da área, pois através de tal análise torna-se possível caracterizar progressões de aprendizagem.

Além disso, o conhecimento de atividades investigativas de modelagem no ensino de Ciências, como a que propomos neste trabalho, pode subsidiar os planejamentos mencionados. Nestas atividades, a conjugação de diferentes modos de representação, entre eles, e particularmente, o analógico, pode promover a compreensão dos alunos preconizada no trabalho de Coll (2005) sobre o uso, o valor e o papel das analogias no desenvolvimento de modelos. Isso porque, ao serem solicitados a elaborar e testar suas próprias comparações, os alunos podem:

- evoluir daquelas restritas às propriedades descritivas (mera aparência) para aquelas em que algumas destas propriedades são usadas para acessar relações (analogias);
- compreender que aprender um modelo significa aprender as relações analógicas que ele estabelece com a entidade modelada (Duit & Glynn, 1996);
- desenvolver a habilidade de criticar seus modelos analógicos (R. K. Coll, 2005); e, de maneira geral,
- compreender que o desenvolvimento de um modelo se presta ao desenvolvimento e teste de ideias (Grosslight, et al., 1991).

Se por um lado a compreensão de certos aspectos da cognição viabilizados pela análise dos esquemas de representação e o conhecimento de iniciativas de ensino fundamentado em modelagem podem auxiliar os professores no planejamento e condução de atividades investigativas, por outro, como advertido por Moro (2003), dificilmente um professor que não passou pelo processo construtivo do conhecimento poderia utilizar aqueles conhecimentos de maneira satisfatória. Assim, para que os conhecimentos proporcionados por esta pesquisa auxiliem efetivamente os professores na prática do ensino de Ciências, é necessário que, em contextos de formação inicial e continuada, sejam oferecidas oportunidades para que eles:

- exponham, explorem e (re)elaborem suas próprias concepções;

- discutam pesquisas e iniciativas na área de ensino de Ciências nas quais os alunos participam (inter)ativamente da construção de seus conhecimentos e em que as ideias destes são consideradas pontos de partida para a compreensão das representações curriculares, em lugar de concepções erradas que devem ser banidas do seu repertório;
- pesquisem ferramentas de ensino diversas e estratégias que (como os eventos discrepantes, as questões geradoras e os diferentes modos de expressão das representações) possam lhes auxiliar na (re)elaboração de conhecimentos pelos alunos, com a ajuda individual sendo associada ao manejo grupal;
- participem de discussões sobre modelagem e raciocínio analógico na ciência e no ensino;
- participem de discussões sobre a TCC e sobre pesquisas em diferentes domínios que utilizam esse referencial;
- se valham do conhecimento disponível sobre os esquemas de representação nessas pesquisas para compreender as trajetórias de raciocínio dos alunos;
- vivenciem, planejem, conduzam e analisem atividades autênticas de ensino, como as de modelagem.

Isso vai ao encontro das ideias de Gess-Newsome (2003), quando ela enfatiza que mudanças no conhecimento dos professores podem ser operadas quando eles são expostos a novas ideias e experiências, quando usam determinado conhecimento e quando refletem ativamente sobre ele.

### 9.3. Implicações para a pesquisa

A conjugação dos referenciais TCC e modelagem na pesquisa da área de ensino de Ciências e, em particular, do ensino de Química, abre novas perspectivas de investigação em ambos os campos. Essa abertura pode ser traduzida em algumas possíveis questões de pesquisa específicas e gerais, como as identificadas a seguir.

*No campo da modelagem:*

- Considerando-se uma classe ampla de situações de modelagem, como ocorreria a modificação dos esquemas de representação para o processo de dissolução?
- Como ocorreria a modificação dos esquemas de representação em outros temas da Química?

- Como o conhecimento, pelo professor, dos esquemas de representação mobilizados pelos alunos em diferentes temas poderia auxiliar a co-construção do conhecimento em atividades de modelagem?
- Como (e se) o conhecimento, pelo professor, sobre as trajetórias de raciocínio dos alunos nas atividades de modelagem pode influenciar a prática docente?

*No campo da TCC:*

- Quais as particularidades dos esquemas mobilizados pelos alunos no domínio da Química, quando comparados àqueles mobilizados nos domínios do conhecimento já investigados pela TCC?
- Qual o papel dos EER nas investigações de diferentes temas da Química?
- Qual a aplicabilidade dos EER em investigações realizadas em outras áreas do conhecimento?

A geração dessas questões de pesquisa fecha o texto deste trabalho de Doutorado evidenciando uma de suas importantes características: a possibilidade de produção de conhecimentos além dos aqui apresentados. Tal aspecto, muito além de contribuir para o cumprimento de uma tarefa acadêmica, significa o vislumbrar de novos sonhos a serem trilhados – mesmo que parcialmente – na continuação de nossa vida acadêmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, M. R., Gryzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, A. E. (1992). Understanding and misunderstanding of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Research in Science Teaching*, 29(2), 105-120.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M., & Westbrook, S. L. (1994). Across-age study of the understanding five chemistry concepts. *Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398-418.
- Andersson, B. (1986). The experimental gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85.
- Atkins, P., & Jones, L. (2012). *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Porto Alegre: Bookman.
- Bailer-Jones, D. M. (1999). Tracing the Development of Models in the Philosophy of Science. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 23-40). New York: Kluwer
- Bar, V., Zinn, B., & Goldmuntz, R. (1994). Children's concepts about weight and free fall. *Science Education*, 78(2), 149-169.
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar system project: building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 719-756.
- Barker, V., & Millar, R. (1999). Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 21(6), 645-665.
- Barsalou, L. W. (2008). Situating concepts. In P. Robbins & M. Aydede (Eds.), *Cambridge Handbook of situated cognition* (pp. 236-263). New York: Cambridge University Press.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? . *Journal of Chemical Education*, 12, 213-223.
- Blanchette, I., & Dunbar, K. (2002). Representational change and analogy: how analogical inferences alter target representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 28(4), 672-685.
- 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.
- Boulter, C., & Buckley, B. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 41-57). Dordrecht: Kluwer.
- Brenner, M. E. (2006). Interviewing in educational research. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 357-370). Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter. *Children's learning in science project*. Leeds: University of Leeds.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18(4), 237-261.

- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Bruner, J. S. (1983). Le rôle de l'interaction de tutelle dans la résolution de problème. In J. S. Bruner (Ed.), *Le développement de l'enfant. Savoir faire, savoir dire* (4 ed., pp. 261-280). Paris: PUF.
- Carvalho Jr., G., & Aguiar Jr., O. (2008). Os Campos Conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(2), 207-227.
- Casti, J. (1989). *Paradigms lost: Images of man in the mirror of science*. New York: Morrow.
- Chalmers, A. (1982). *What is this thing called science?* New York: University of Queensland Press.
- Clement, J. (1988). Observed methods for generating analogies in scientific problem solving. *Cognitive Science*, 12, 563-586.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In J. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity: Assessment, Theory and Research* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. (2008a). *Creative Model Construction in Scientists and Students: The role of imagery, analogy and mental simulations*. Dordrecht: Springer.
- Clement, J. (2008b). Creativity and scientific insight in the case study for S2 *Creative Model Construction in Scientists and Students: the role of imagery, analogy and mental simulations* (pp. 97-115). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. (2008c). The role of explanatory models in teaching for conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 417-451). New York and London: Routledge.
- Clement, J. (2008d). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 10-21). Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education* (7 ed.). London and New York: RoutledgeFalmer.
- Coll, C. (1987). As contribuições da psicologia para a educação: Teoria genética e aprendizagem escolar. In L. B. Leite & A. A. Medeiros (Eds.), *Piaget e a Escola de Genebra* (pp. 164-197). São Paulo: Cortez.
- Coll, C. (1997). Piaget, o construtivismo e a educação escolar: Onde está o fio condutor? In A. Teberosky & L. Tolchinsky (Eds.), *Temas fundamentais em Psicologia* (Vol. 1, pp. 145-164). Porto Alegre: Artes Médicas.
- 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.
- Cosgrove, M., & Osborne, R. (1981). *Physical Change (Working Paper No. 26)*. Learning in Science Project, University of Waikato, Hamilton, New Zealand.
- Delval, J. (2002). *Introdução à prática do método clínico - descobrindo o pensamento das crianças*. Porto Alegre: Artmed.
- Devetak, I., Vogrinc, J., & Glažar, S. A. (2009). Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. *Research in Science Education*, 39(2), 157-179.
- Driver, R. (1985). Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 145-169). Milton Keynes: Open University Press.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1999). Construindo conhecimento científico na sala de aula. *Química Nova na Escola*, 9, 31-40.

- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., & Glynn, S. M. (1996). Mental modelling. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe: Current issues and themes* (pp. 166-176). London: Falmer.
- Dunbar, K. (1994). *Scientific discovery heuristics: how current day scientists generate new hypotheses and make scientific discoveries*. Paper presented at the Sixteenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society.
- Ebenezer, J. V. (2001). A hypermedia environment to explore and negotiate students' conceptions: animation of the solution process of table salt. *Journal of Science Education and Technology* 10, 73-91.
- Ebenezer, J. V., & Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: a phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201.
- Echeverría, A. R. (1993). *Dimensão empírico-teórica no processo de ensino-aprendizagem do conceito de solução no ensino médio*. UNICAMP, Campinas.
- Echeverría, A. R. (1996). Como os estudantes concebem a formação de soluções. *Química Nova na Escola*, 3, 15-18.
- Ehrlén, K. (2009). Drawings as representations of children's conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41-57.
- Erickson, F. (2006). Definition and analysis of data from videotape: some research procedures and their rationales. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 177-191). Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Fensham, P., & Fensham, N. (1987). Description and frameworks of solutions and reactions in solutions. *Research in Science Education*, 17(1), 139-148.
- Fernandez, C., & Ribeiro, M. E. M. (2006). Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. *Química Nova na Escola*, 24, 20-24.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155-170.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy. *American Psychologist*, 52(1), 32-34.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45-56.
- Gess-Newsome, J. (2003). *Implications of the Definitions of Knowledge and Beliefs on Research and Practice in Science Teacher Education*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Philadelphia, PA.
- Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert, J. (1993). *Models and Modelling in science education*. Hatfield: The Association for Science Education.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53-66). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J., Boulter, C., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.

- Giusta, A. S. (1990). Epistemologia Genética e Psicogênese: Noções fundamentais para a sua compreensão e uso. *Em Aberto*, 9(48), 25-38.
- Glick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yearny & B. K. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science* (pp. 219-240). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Goldstone, R. L., & Barsalou, L. W. (1998). Reuniting perception and conception. *Cognition*, 65, 231-262.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in Science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Harré, R. (1970). *The Principles of Scientific Thinking*. Chicago: University of Chicago Press.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(2), 1011-1026.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world. In J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, J. H. van Driel & D. F. Treagust (Eds.), *Chemical Education: towards research-based practice* (pp. 189-212). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame Press.
- Hodson, D. (1992). In a search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- Holyoak, K. J., Gentner, D., & Kokinov, B. N. (2001). Introduction: the place of analogy in cognition. In K. J. Holyoak, D. Gentner & B. N. Kokinov (Eds.), *The analogical mind: Perspectives from cognitive science* (pp. 1-19). Cambridge, MA: MIT Press.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-355.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412.
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, part 2: explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1037-1054.
- Johnson, P., & Gott, R. (1996). Constructivism from children's and evidence ideas. *Science Education*, 80(5), 561-577.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Analogy and the exercise of creativity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 313-331). Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *The School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
- Jonassen, D. (2008). Model building for conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 676-693). New York and London: Routledge.
- Justi, R. (2011). Las concepciones de modelo de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias [Students' ideas about models and science learning - A key and complex relationship in science teaching]. In A. Caamaño (Ed.), *Didáctica de la Física e la Química* (pp. 85-104). Barcelona: Editorial Graó.

- Justi, R., & Gilbert, J. (1999). History and philosophy of science through models: The case of chemical kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287-307.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of nature of models in chemistry. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 119-130). Dordrecht: Springer.
- Kabapınar, F., Leach, J., & Scott, P. (2004). The design and evaluation of a teaching-learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635-652.
- Kaufman, D. R., Patel, V. L., & Magder, S. A. (1996). The explanatory role of spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.
- Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2 ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. New York: Cambridge University Press.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142.
- Leach, J., & Scott, P. (2008). Teaching for conceptual understanding: An approach drawing on individual and sociocultural perspectives. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 647-675). New York and London: Routledge.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- Lüdke, M., & André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- March, E. (1894). On the principle of comparison in Physics (T. J. M. Cornack, Trans.) *Popular Scientific Lectures* (4th ed., pp. 236-258). Chicago: The Open Court Publisher.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's analogical reasoning in a third-grade science discussion. *Science Education*, 90(2), 316-329.
- MEC. (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais*. Brasília: SEF.
- MEC. (2002). *Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN+ - Ensino Médio - Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Semtec.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2010). Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41(4), 479-503.
- Mendonça, P. C. C., Justi, R., & 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.
- Moro, M. L. F. (1991). Interações sociais e construção do conhecimento. Reflexões para uma discussão sempre atual. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 7(3), 215-227.
- Moro, M. L. F. (2003). Implicações da epistemologia genética para a educação. In A. A. Mahoney, A. Pino, L. R. Almeida, M. A. Morgado, M. L. F. Moro & S. V. Luna (Eds.), *Psicologia & Educação: Revendo contribuições* (pp. 117-144). São Paulo: Educ.

- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as Mediators: Perspectives on natural and social science* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mozzer, N. B. (2008). *O ato criativo de comparar: um estudo das analogias elaboradas por alunos e professores de ciências*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2009a). *Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem*. Paper presented at the VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciências, Florianópolis, Brasil.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2009b). *O estabelecimento de comparações pelos alunos como veículo de acesso e compreensão de seus modelos mentais*. Paper presented at the Encontro de Pesquisadores em Educação dos Programas de Pós-Graduação em Educação de Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2010). *Concepções de alunos de ciências sobre estrutura atômica e ligação química expressas em suas comparações*. Paper presented at the IV Colóquio Internacional de Educação e Contemporaneidade, Aracaju, Brasil.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2012). Students' pre- and post-teaching analogical reasoning when they draw their analogies. *International Journal of Science Education*, 34(3), 429-458.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2013). Science teachers' analogical reasoning. *Research in Science Education*, 43(4), 1689-1713.
- Mozzer, N. B., Queiroz, A. S., & Justi, R. (2007). *Proposta de ensino para introdução ao tema interações intermoleculares via modelagem*. Paper presented at the VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Florianópolis.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 777-805.
- Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A., & Saglam, Y. (2005). Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 581-612.
- Nersessian, N. J. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- 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: Academic Plenum Publishers.
- Nersessian, N. J. (2008a). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Nersessian, N. J. (2008b). Mental modeling in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 391-416). New York and London: Routledge.
- Nersessian, N. J. (2008c). Representation and reasoning: analogy, imagery, thought experiment *Creating Scientific Concepts* (pp. 131-181). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Mateo, J., & Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 453-470.
- Parrat-Dayán, S. (2003). Psicologia de Piaget aplicada à Educação: Como isto funciona? *Revista Escritos sobre Educação*, 2(2), 33-42.

- Pfundt, H. (1981). The atom - the final link in the division process or the first building block. *Chimica didactica*, 7, 75-94.
- Piaget, J. (1975). *A equilibração das estruturas cognitivas*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Piaget, J. (1986). *Seis estudos de Psicologia* (14 ed.). Rio de Janeiro: Forense-Universitária.
- Piaget, J. (2005). Problemas e métodos *A representação do mundo na criança* (pp. 9-31). Aparecida: Ideias & Letras.
- Piaget, J. (2008). *O nascimento da inteligência na criança* (4 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Piaget, J. (2010). *A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação* (4 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *O Desenvolvimento das Quantidades Físicas na Criança*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (2011). *La psychologie de l'enfant* (2 ed.). Paris: Quadrige/PUF.
- Pittman, K. M. (1999). Student-generated analogies: another way of knowing. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. A. (2005). The embodied nature of implicit theories: The consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23(3), 351-387.
- Prestes, Z. R. (2010). *Quando não é quase a mesma coisa: Análise das traduções de Lev Semionovich Vigotski no Brasil – repercussões no campo educacional*. Universidade de Brasília, Brasília.
- Prieto, T., Blanco, A., & Rodriguez, A. (1989). The ideas of 11 to 14-year-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, 11(4), 451-463.
- Renström, L. (1988). *Conceptions of Matter: A Phenomenography Approach*. PhD dissertation, Gothenburg University Press.
- Renström, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 555-569.
- Rogoff, B. (1991). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. New York: Oxford University Press.
- Roth, W.-M. (1995). *Authentic school science. Knowing and learning in open-inquiry science laboratories*. Dordrecht: Kluwer.
- Ryan, C. (1990). Student teachers' concepts of purity and state of matter. *Research in Science and Technological Education*, 8(2), 171-183.
- Selley, N. J. (1998). Alternative models for dissolution. *School Science Review*, 80(290), 79-83.
- Selley, N. J. (2000). Students' spontaneous use of a particulate model for dissolution. *Research in Science Education*, 30(4), 389-402.
- Séré, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.
- Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher*, 27(2), 4-13.
- She, H. (2004). Facilitating changes in ninth grade students' understanding of dissolution and diffusion through DSLM instruction. *Research in Science Education*, 34(4), 503-525.
- Slone, M., & Bokhurst, F. D. (1992). Children's understanding of sugar water solution. *International Journal of Science Education*, 14(2), 221-235.
- 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). Retrieved from <http://revistas.if.usp.br/rbpec/article/view/4/3>
- Spier-Dance, L., Mayer-Smith, J., Dance, N., & Khan, S. (2005). The role of student-generated analogies in promoting conceptual understanding for undergraduate chemistry students. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 163-178.

- Stake, R. (2000). Case studies. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Handbook of Qualitative Research* (pp. 435-454). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Stavridou, H., & Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: Do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), 83-92.
- Stavy, R. (1988). Children's conceptions of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Stavy, R. (1990). Children's conceptions of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266
- Stavy, R., & Stachel, D. (1985). Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education*, 7(4), 407-421.
- Stevens, S. Y., Shin, N., Delgado, C., Krajcik, J., & Pellegrino, J. (2007). *Developing a learning progression for the nature of matter as it relates to nanoscience*. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, Chicago, IL.
- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1991). Using analogies in secondary chemistry teaching. *Australian Science Teachers Journal*, 37, 10-14.
- Valanides, N. (2000). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* 1(2), 249-262.
- Vergnaud, G. (1977). Invariants quantitatifs, qualitatifs et relationnels. *Bulletin de psychologie*, 30(327), 387-389.
- Vergnaud, G. (1981). Jean Piaget: quels enseignements pour la didactique. *Revue Française de Pédagogie*, 57(57), 7-14.
- Vergnaud, G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget, P. Mounoud & J. P. Bronckart (Eds.), *Psychologie Encyclopédie de la Pléiade* (pp. 821-844). Paris: Gallimard.
- Vergnaud, G. (1990a). Epistemology and psychology of mathematics education. In P. Neshet & J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 14-30). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vergnaud, G. (1990b). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(23), 133-170.
- Vergnaud, G. (1993). Signifiants et signifiés dans une approche psychologique de la représentation. *Les Sciences de l'Éducation*, 1(3), 9-16.
- Vergnaud, G. (1994). Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant: exemples en mathématiques. *Didaskalia*(5), 25-34.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J. M. Barbier (Ed.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 275-292). Paris: PUF.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), 167-181.
- Vergnaud, G. (2004). *Lev Vygotski: Pedagogo e pensador do nosso tempo*. Porto Alegre: GEEMPA.
- Vergnaud, G. (2006). *Représentation et activité: deux concepts étroitement associés*. Paper presented at the Congreso Internacional Lógico-Matemática en Educación Infantil, Madrid, España. 28-30 de abril de 2006. [http://www.waece.org/cdlogicomatematicas/ponencias/geradvernaud\\_pon\\_rances.htm](http://www.waece.org/cdlogicomatematicas/ponencias/geradvernaud_pon_rances.htm)

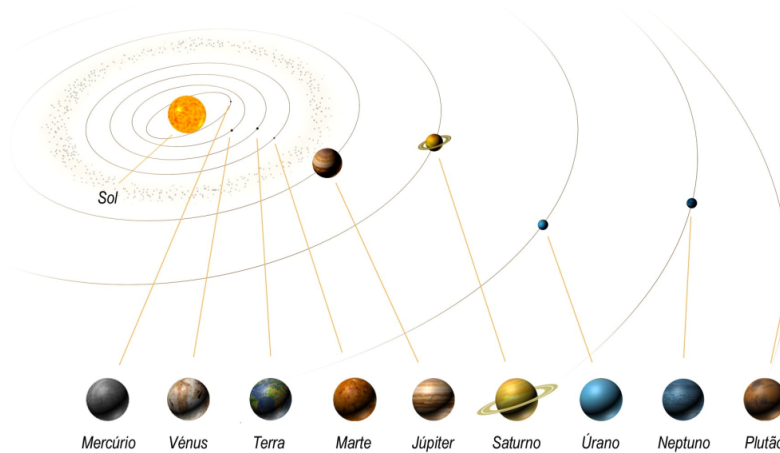
- Vergnaud, G. (2009). *A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar*. Curitiba: UFPR.
- Vergnaud, G. (2010). *La forme opératoire et la forme prédicative de la connaissance*. Paper presented at the IV Colóquio Internacional de Educação e Contemporaneidade, 22-24 de setembro de 2010, Aracaju.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 413-437). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. (2002). Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). New York: Kluwer.
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vygotsky, L. (1991). *A formação social da mente: O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes.
- Vygotsky, L. (2009). *A construção do pensamento e da linguagem* (2 ed.). São Paulo: Martins Fontes.
- Well-Barais, A., & Vergnaud, G. (1990). Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In J. P. Caverni, J. M. Fabre & M. Gonzalez (Eds.), *Cognitive biases* (pp. 69-84). North Holland: Elsevier.
- Wellman, H. M., & Gelman, S. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In D. Kuhn & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: Cognition, perception and language* (5th ed., Vol. 2, pp. 523-573). New York: John Wiley.
- Wertsch, J. V. (1988). *Vygotsky y la formación social de la mente: Cognición y desarrollo humano*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica.
- Wilbers, J., & Duit, R. (2006). Post-festum and heuristic analogies. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 37-49). Dordrecht: Springer.
- Wong, E. D. (1993). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1259-1272.

Não se esqueça de, no final, substituir “paper presented at” por “trabalho apresentado no(a)” em trabalhos de congresso nacionais.

## ANEXOS

### Anexo 1. Atividade de Introdução às Analogias

1. Você já deve ter estudado os modelos atômicos este ano, não é? Descreva para mim o modelo de Bohr.
2. É comum observarmos representações para o sistema planetário como a da figura a seguir. Descreva o que esse modelo representa.



Modelo do sistema solar disponível em:

<http://nautilus.fis.uc.pt/astro/hu/viag/images/imagem24.jpg>

3. É comum também, nos livros e nas aulas de ciências, os autores e os professores compararem o modelo atômico de Bohr com o sistema solar. Em que eles são semelhantes?
4. Das semelhanças apresentadas na questão anterior, as mais importantes em uma analogia que envolve conceitos de ciências são aquelas que comparam as relações entre os sistemas comparados e não os elementos ou as características visuais deles. Por exemplo, nesta comparação entre os modelos de Bohr e do sistema solar, o que seria mais importante: comparar a cor do núcleo do átomo com a cor do Sol ou o fato de ambos atraírem os corpos que giram em torno deles? Sendo assim, quais são as relações mais importantes na analogia entre o modelo de Bohr e o sistema solar?
5. Mas existem também diferenças entre esses modelos, não é mesmo? Em que esses sistemas são diferentes?

## Anexo 2. Atividades de Modelagem

### Atividade 1

OBSERVAÇÃO 1: Cada um dos sistemas a seguir são apresentados separadamente aos entrevistados e todas as questões das atividades são propostas para cada um desses sistemas.

- **SISTEMA 1:** pedaço de giz e recipiente com água.
- **SISTEMA 2:** suco de uva e recipiente com água.

1. Tente prever o que ocorrerá no sistema quando seus constituintes forem misturados. Por que você acha que isso ocorrerá?
2. Misture os constituintes do sistema. Com o auxílio de uma colher (ou bastão de vidro), agite a mistura e observe. Descreva o que você observou.
3. O que você havia previsto foi igual ao que você observou?
  - 3.1. Se não: Por que você acha que ocorreram diferenças?

### Atividade 2

1. Elabore representações (modelos) utilizando o material disponibilizado, com o objetivo de explicar o fenômeno observado **NO NÍVEL SUB-MICROSCÓPICO**. Explique-as.

OBSERVAÇÃO 2: Sempre que julga necessário, neste e em outros momentos das atividades, a pesquisadora introduz a situação imaginativa em que o participante seria dotado da mesma *visão de raios X do super-homem que lhe permitiria ver as partículas invisíveis da matéria* para facilitar a diferenciação entre representações no nível submicroscópico daquelas no nível macroscópico.

2. Agora, elabore analogias com o objetivo de explicar o fenômeno observado, também **NO NÍVEL SUB-MICROSCÓPICO**. Explique-as.
3. Identifique as **SEMELHANÇAS** e **DIFERENÇAS** entre os aspectos que você comparou.

### Atividade 3

1. Solicitação de revisão dos modelos expressos, de acordo com as particularidades identificadas nos modelos de cada sujeito.
2. Aqui estão, novamente, os constituintes do sistema 2 utilizados na Atividade 1.

- **SISTEMA 2:** suco de uva e recipiente com água.

- 2.1. Eu vou adicionar o suco à água **SEM AGITAÇÃO** e gostaria que você observasse o que vai ocorrer. O que você acha que está ocorrendo no sistema? Explique.
- 2.2. Tente me explicar por que isso ocorre por meio de suas representações (modelos concretos, analogias, etc.).

### Atividade 4

Durante as atividades, você elaborou e reformulou representações e analogias para explicar o que acontecia nos dois sistemas que observamos.

1. Agora, **usando sua(s) analogia(s)**, como você explica porque o óleo *não se dissolve* na água?
2. Novamente, **usando sua(s) analogia(s)**, como você explica porque o vinagre *se dissolve* na água?

**Anexo 3. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado à Direção da Escola**

Belo Horizonte, \_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010.

Ilmo(a) Sr.(a)

D.D. Diretor(a)

Prezada Sr.(a),

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de outubro de 2010. Esta pesquisa tem por título “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais” e visa investigar as ideias dos alunos sobre o processo de dissolução, o estabelecimento de analogias e a elaboração de outros modelos por eles, bem como a maneira pela qual eles raciocinam.

Nas atividades de modelagem, o aluno será solicitado a elaborar e modificar modelos materiais sobre o tema químico em estudo. Tais modelos deverão ser registrados em papel e, quando for relevante, também utilizando bolinhas de isopor, massinhas de modelar, fita adesiva e cola. O aluno deverá também apresentar seus modelos e participar de discussões conduzidas pelo pesquisador.

O aluno será solicitado também a expressar suas ideias e suas analogias (comparações estabelecidas entre algo que é familiar e algo que é estranho ao aluno) sobre o tema dissolução após a observação de dois sistemas simples. Ele será

solicitado a expressá-las verbalmente, registrá-las em papel e, quando for relevante, também utilizar-se dos materiais disponibilizados, mencionados anteriormente. Nesse sentido, a pesquisa não oferece riscos para o participante decorrentes das atividades.

Caso o aluno não concorde ou desista de participar da pesquisa, seus dados não serão analisados e não haverá penalização alguma ou prejuízo de sua aprendizagem.

Esse tipo de estratégia de ensino tem sido utilizada por outros professores há alguns anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para os alunos decorrente da participação nesta pesquisa.

Nesta pesquisa, entrevistas individuais serão realizadas. Elas serão filmadas e registradas em áudio. Além disso, todos os materiais escritos produzidos serão recolhidos e todos os modelos concretos produzidos por eles serão fotografados. Esse material coletado será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo as identidades dos participantes reveladas em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Além disso, os dados estarão disponíveis para consulta, isto é, os participantes e seus responsáveis podem ter acesso às gravações, caso queiram.

Caso seja concedida a autorização para a realização da pesquisa, o aluno e seus responsáveis receberão um “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”. Nesses documentos, eles serão explicados sobre os objetivos da pesquisa e sobre seus aspectos metodológicos e serão solicitados a assinar uma autorização para a utilização dos dados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que uma das cópias da autorização em anexo seja preenchida e devolvida assinada.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

NILMARA BRAGA MOZZER

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

\_\_\_\_\_

Profa Dra. Rosária S. Justi  
Pesquisadora responsável

\_\_\_\_\_

Nilmara Braga Mozzer  
Doutoranda

Após ter sido esclarecido(a) sobre os propósitos e condições de realização da pesquisa “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais”, autorizo o desenvolvimento da mesma com os alunos deste estabelecimento de ensino.

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Nome completo do diretor(a): \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

**Anexo 4. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado aos Pais ou outro Responsável pelo Aluno**

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010.

Prezado(a) Sr(a)

Uma das maneiras de contribuímos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de outubro de 2010. Esta pesquisa tem por título “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais” e visa investigar as ideias dos alunos sobre o processo de dissolução, o estabelecimento de analogias e a elaboração de outros modelos por eles, bem como a maneira pela qual eles raciocinam.

Nas atividades de modelagem, o aluno será solicitado a elaborar e modificar modelos materiais sobre o tema químico em estudo. Tais modelos deverão ser registrados em papel e, quando for relevante, também utilizando bolinhas de isopor, massinhas de modelar, fita adesiva e cola. O aluno deverá também apresentar seus modelos e participar de discussões conduzidas pelo pesquisador.

Caso o aluno não concorde ou desista de participar da pesquisa, seus dados não serão analisados e não haverá penalização alguma ou prejuízo de sua aprendizagem.

Esse tipo de estratégia de ensino tem sido utilizada por outros professores há alguns anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para os alunos decorrente da participação nesta pesquisa.

NILMARA BRAGA MOZZER

Nesta pesquisa, entrevistas individuais serão realizadas. Elas serão filmadas e registradas em áudio. Além disso, todos os materiais escritos produzidos serão recolhidos e todos os modelos concretos produzidos por ele serão fotografados. Esse material coletado será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade do participante revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Além disso, os dados estarão disponíveis para consulta, isto é, o participante e seus responsáveis podem ter acesso às gravações, caso queiram.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que uma das cópias da autorização em anexo seja preenchida e devolvida assinada.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

---

Profa Dra. Rosária S. Justi  
Pesquisadora responsável

---

Nilmara Braga Mozzer  
Doutoranda

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais” seus objetivos e metodologia e concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química e do material escrito produzido nessas aulas pelo(a) aluno(a) abaixo identificado(a) para os fins desta pesquisa ou de outras que as pesquisadoras julguem relevantes no futuro.

NILMARA BRAGA MOZZER

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

Nome completo do aluno: \_\_\_\_\_

Nome completo do responsável: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

**Anexo 5. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido Destinado ao Aluno**

Belo Horizonte, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2010.

Prezado(a) aluno(a),

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles aprimorem suas maneiras de ensinar e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de doutorado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de outubro de 2010. Esta pesquisa tem por título “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais” e visa investigar as ideias dos alunos sobre o processo de dissolução, o estabelecimento de analogias e a elaboração de outros modelos por eles, bem como a maneira pela qual eles raciocinam.

Nas atividades de modelagem, você será solicitado a elaborar e modificar modelos materiais sobre o tema químico em estudo. Tais modelos deverão ser registrados em papel e, quando for relevante, também utilizando bolinhas de isopor, massinhas de modelar, fita adesiva e cola. Você deverá também apresentar seus modelos e participar de discussões conduzidas pelo pesquisador.

Caso você não concorde ou desista de participar da pesquisa, seus dados não serão analisados e não haverá penalização alguma ou prejuízo de sua aprendizagem.

Esse tipo de estratégia de ensino tem sido utilizada por outros professores há alguns anos e seus resultados, em termos de aprendizagem dos alunos, têm sido excelentes (conforme evidenciado por pesquisas anteriores realizadas em outras escolas). Nesse sentido, não há nenhum risco para você decorrente da participação nesta pesquisa.

Nesta pesquisa, entrevistas individuais serão realizadas. Elas serão filmadas e registradas em áudio. Além disso, todos os materiais escritos produzidos serão recolhidos e todos os modelos concretos produzidos por você serão fotografados. Esse material coletado será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo sua identidade reveladas em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Além disso, os dados estarão disponíveis para consulta, isto é, você e seus responsáveis podem ter acesso às gravações, caso queiram.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que você preencha, assine e devolva uma das cópias da autorização em anexo.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3409.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3409.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

---

Profa Dra. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

---

Nilmara Braga Mozzer

Doutoranda

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa “A conceitualização do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da teoria de campos conceituais” seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química e do material

NILMARA BRAGA MOZZER

escrito por mim produzido nessas aulas para os fins desta pesquisa ou de outras que as pesquisadoras julguem relevantes no futuro.

Belo Horizonte, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Nome completo do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_