



MODELAGEM ANALÓGICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Analogical Modelling in Science Education

Nilmara Braga Mozzer [nilmara@iceb.ufop.br]

Rosária Justi [rjusti@ufmg.br]

Departamento de Química – Instituto de Ciências Exatas

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil

Resumo

Neste artigo, nos propusemos a investigar: (i) as etapas que podem ser usadas para guiar a proposição e o desenvolvimento de atividades de modelagem analógica no ensino de ciências; e (ii) como atividades de modelagem analógica propostas com base naquelas etapas podem ter contribuído para que os estudantes de ciências vivenciassem os subprocessos do raciocínio analógico. Para atender ao primeiro propósito, adaptamos as etapas apresentadas na literatura para o processo de modelagem de forma que possibilitassem a elaboração, crítica e revisão de modelos e analogias. Para atender ao segundo propósito, realizamos um estudo empírico no qual desenvolvemos uma sequência ensino sobre o tema dissolução, fundamentada na modelagem analógica. A sequência foi desenvolvida em uma turma de Química do primeiro ano do ensino médio e deu origem ao estudo de caso analisado neste artigo. Nossos resultados evidenciaram elementos específicos das atividades de modelagem analógica que favoreceram a ocorrência dos subprocessos de raciocínio analógico, inclusive daqueles identificados como não espontâneos em estudos anteriores. Destacamos como uma das implicações deste estudo, que a descrição proposta para as etapas da modelagem analógica pode orientar professores e pesquisadores na proposição e condução de atividades voltadas para o ensino de ciências, nas quais modelos e analogias são criados, criticados e revisados pelos estudantes, num processo em que os significados vão sendo gradualmente negociados na tentativa de se compreender a entidade modelada.

Palavras-Chave: modelagem analógica; analogias; ensino de ciências.

Abstract

In this paper, we aimed at investigating: (i) the steps that can be used to guide the elaboration and the conduction of analogical modelling activities in science education; and (ii) the way in which the analogical modelling activities based on those steps may have contributed to science students' experience of the sub-processes of analogical reasoning. To address the first purpose, we adapted some stages for modelling found in the educational literature, so that they would make the development, review and revision of models and analogies possible. To address the second purpose, we conducted an empirical study. A teaching sequence about the dissolving process, based on analogical modelling, was produced. The sequence was taught in a first-year high school chemistry class, and the data collected supported the drawing of the case study analysed in this paper. Our results showed that specific elements of analogical modelling activities that supported the occurrence of the analogical reasoning sub-processes, including those identified as not spontaneous in previous studies. One of the implications of this study is that our description for analogical modelling steps can guide teachers and researchers on designing and conducting science teaching activities in which models and analogies could be created, criticised and reviewed by students, in a process in which meanings are being gradually negotiated in an attempt to understand the entity modelled.

Keywords: analogical modelling; analogies; science education.

INTRODUÇÃO

A importância do raciocínio analógico nos processos de construção de modelos (Clement, 2008; Nersessian, 2002a) realça a função criativa das analogias, a partir da qual conhecimento científico é produzido. De acordo com Glynn, Britton, Semrud-Clikeman e Muth (1989), essa função se relaciona com seu uso na solução de problemas, na identificação de novos problemas e na elaboração de hipóteses. Tal função é apontada por pesquisadores como Dagher (1994), Nersessian (1999, 2002a), Oliva (2004) e Oliva e Aragón (2009), entre outros, como a principal contribuição das analogias no desenvolvimento da criatividade, da imaginação, na construção de um pensamento mais interligado e no desenvolvimento de estratégias, habilidades e visões epistemológicas de interesse para a ciência, para os processos de modelagem e para o ensino de ciências.

Para desempenhar uma função criativa, as analogias precisam ser entendidas como comparações de similaridades relacionais entre um domínio familiar (análogo) e outro desconhecido ou pouco conhecido (alvo) (Gentner, 1989). Nessas comparações, *relações de similaridade* (causais, estruturais, funcionais etc.) são colocadas em correspondência nos domínios comparados. Dessas relações, deriva o poder inferencial dessas comparações (Duit & Glynn, 1996).

Segundo Oliva e Aragón (2009) o trabalho com analogias apresenta semelhanças com o uso e a construção de modelos quando conduzido na busca por conexões entre objetos, atributos e relações entre eles e quando pressupõe certa sistematicidade de pensamento, critérios lógicos, argumentação, pensamento crítico e, às vezes, mudança conceitual. Esses mesmos autores ressaltam que, tal como ocorre na ciência, o trabalho com analogias no contexto de ensino deveria ser realizado de forma a desenvolver nos estudantes processos criativos de transformação ou de evolução de suas ideias, que fomentem o desenvolvimento de seu pensamento abstrato e das habilidades imaginativas necessárias para a (re)construção de novos conhecimentos.

A partir das similaridades entre os processos de construção de modelos e analogias identificadas na literatura que busca caracterizar a modelagem científica (Gilbert & Justi, 2016; Justi & Gilbert, 2002) e a modelagem analógica na ciência (Nersessian, 2002a, 2008), neste trabalho, nos propusemos a responder três questões de pesquisa, sendo as duas primeiras: *quais etapas podem ser usadas para guiar a proposição e o desenvolvimento de atividades de modelagem analógica no ensino de ciências?*; e *como descrevê-las?*

Considerando a importância do raciocínio analógico no processo de modelagem (Gilbert & Justi, 2016), nos propusemos também a responder, a partir de um estudo empírico, uma terceira questão de pesquisa, a saber: *como as atividades de modelagem analógica propostas com base naquelas etapas podem contribuir para que os estudantes de ciências vivenciem os subprocessos do raciocínio analógico identificados por Gentner & Holyoak (1997)?*

Os objetivos subjacentes a essas questões de pesquisa mostram-se relevantes quando consideramos a carência de pesquisas sobre a função criativa de analogias no ensino de ciências. A maior parte das pesquisas nacionais e internacionais realizadas nesse contexto tratam da função explicativa das analogias, ou seja, quando as mesmas são utilizadas pelos professores com o objetivo de explicar algum aspecto do domínio alvo por meio das relações de similaridade que este estabelece com um domínio análogo fornecido. Neste processo, as relações de similaridade almejadas pelo professor necessitam ser “adivinhadas” pelo estudante ou expostas diretamente por aquele. Portanto, essa lacuna da literatura e as potencialidades do uso criativo das analogias contempladas pela modelagem analógica justificam nossos propósitos nesse trabalho.

REFERENCIAIS TEÓRICOS

A Relação entre Modelos e Analogias

Modelos podem ser definidos como artefatos que apoiam o pensamento humano, os quais são materializados (expressos) de alguma maneira que favoreça a sua manipulação em diferentes práticas epistêmicas (Knuuttila, 2005a). Entre tais práticas, a autora destaca as de representação: *entendida como atividade mediadora e criativa que envolve objetos, processos e ideias (entidades modeladas)*, às vezes sendo imaginados durante o processo; e as de produção de conhecimento: *atreladas a objetivos específicos e a questões científicas em relação às quais modelos são produzidos*. Sob essa perspectiva, modelos

possibilitam a aprendizagem e a geração de conhecimentos pelo seu uso e manipulação, podendo apoiar a imaginação sobre como objetos podem ser, comportar-se e interagir entre si, independente de sua existência no mundo real.

Sob uma perspectiva diferente, Giere (1988) compreende os modelos como *representações* do real que estabelecem com este relações de *similaridade*. Isso significa que, de acordo com esse autor, modelos são *análogos* às entidades que representam (domínio representado). Ainda sob esse ponto de vista, as relações entre qualquer conjunto de afirmações sobre o domínio representado e o próprio domínio são sempre indiretas, mediadas pelos modelos. Essas relações são representadas na figura 1.

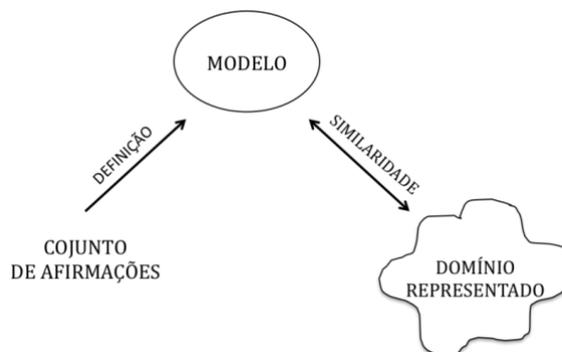


Figura 1 - Representação do relacionamento entre conjunto de afirmações, modelos e aquilo que ele representa, adaptado de Giere (1988, p. 83).

A importância atribuída por Giere (1988) às relações de similaridade na construção de modelos é compartilhada por alguns filósofos da ciência e pesquisadores das ciências cognitivas 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 que faz um modelo ser um modelo é a relação analógica que ele estabelece com o domínio representado. 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.

Essa visão tem recebido críticas, especialmente pelo fato de que assumir os modelos como representação de algo, implica em reconhecer que se conhece suficientemente esse “algo” ao ponto de ser capaz de identificar o seu conteúdo, bem como a maneira de representá-lo. Isso deixa de ser plausível quando se pensa que em alguns domínios da ciência não é possível identificar o que está sendo representado e que modelos são *parcialmente* independentes de teorias e do mundo real (Knuuttila, 2005b; Morrison & Morgan, 1999; Portides, 2011).

Mais recentemente, Giere (2004; 2010) passou a reconhecer o papel dos produtores e dos usuários dos modelos na relação entre modelo e domínio representado: o de especificar as similaridades pretendidas entre o modelo e o domínio representado e as suas finalidades com elas. Neste sentido, um modelo não seria mais uma representação em si mesmo, mas assumiria esse papel a partir de sua produção e/ou uso por um agente. De acordo com Gilbert e Justi (2016), o reconhecimento desse papel tem duas implicações principais para compreensão de modelos como artefatos de pensamento: diferentes modelos, os quais focam em diferentes aspectos do domínio representado, podem ser produzidos (por exemplo: um modelo de bolas e varas pode ser produzido com a intenção de representar as ligações interatômicas e a geometria molecular, enquanto a fórmula molecular pode ser produzida com a intenção de apresentar a constituição e o número de átomos presentes na molécula); e diferentes agentes podem usar um mesmo modelo com diferentes finalidades (no exemplo anterior, o modelo de bolas e varas poderia ser usado com o objetivo de focar em apenas um dos dois aspectos mencionados: ligações interatômicas ou geometria molecular).

Concordamos com as críticas atuais sobre a visão que restringe as relações entre o modelo e a entidade modelada àquelas de similaridade. Mas, como Nersessian (1999, 2002a) e Clement (2008) realçamos a importância do raciocínio analógico como processo cognitivo de produção de modelos. Para Nersessian (1999), raciocínio analógico não necessariamente conduz à elaboração de argumentos indutivos no sentido da lógica, mas, mais importante do que isso, emprega abstração genérica¹ a serviço da

¹ Processo de raciocínio chave na modelagem, a partir do qual informações importantes de domínio específico, elaboradas a partir da correspondência de similaridades relacionais entre os domínios comparados são compreendidos em um nível mais abstrato e integrados na construção ou reformulação de modelos (Nersessian, 2002a).

construção, manipulação e avaliação de modelos. Clement (2008) discute o processo de elaboração de modelos por cientistas e estudantes ressaltando que, nesse processo, as analogias podem ser “fontes de ideias que se tornam elaboradas e modificadas à medida em que são incorporadas no modelo” (p. 271).

Assim, compartilhamos com esses autores o ponto de vista de que as analogias podem ser fontes de modelos, embora um modelo em si não seja uma analogia, nem existam analogias capazes de representar *todas* as relações entre um modelo e a fonte a partir da qual ele é originado (Gilbert & Justi, 2016). Isso nos levou a ampliar nossa visão inicial sobre a natureza analógica dos modelos como representações (Mozzer & Justi, 2015) por considerarmos a coerência da visão filosófica de modelos como artefatos de pensamento na ciência e na aprendizagem de ciências, os quais necessitam ser expressos para a sua manipulação e acesso por outrem.

Ao mesmo tempo, essa visão reforça a nossa perspectiva de consideramos que a elaboração de modelos pode ocorrer a partir da *busca ou criação* de relações de similaridade (analogia) entre um domínio conhecido e outro desconhecido ou pouco conhecido, em lugar da *identificação* de relações de similaridade pré-existentes entre esses domínios. Neste sentido, as analogias também podem ser consideradas artefatos de pensamento, porque aquele que raciocina analogicamente busca ou cria relações na tentativa de gerar e/ou ampliar o seu conhecimento sobre o domínio alvo.

Nesse processo, o *análogo* é um domínio familiar àquele que raciocina analogicamente (por exemplo, uma teoria, um modelo, um conhecimento prévio específico etc.), a partir do qual ele tenta estabelecer relações de similaridade com o alvo, dependendo dos seus objetivos. O *alvo*, por sua vez, é a entidade representada, seja esta um objeto, um evento, um processo, uma ideia etc. Quando analogias são estabelecidas, atributos de objetos (propriedades descritivas como cor, tamanho, forma etc.) de elementos do análogo e do alvo são ignorados em prol das relações de similaridade entre os domínios comparados (Gentner, 1983; 1989). Como resultado da abstração e da integração de informações que ocorrem no raciocínio analógico, um modelo pode ser produzido (Nersessian, 1999). Assim, enquanto os modelos podem ser *produtos* do raciocínio analógico (*processo*) de alguém, as analogias podem ser as *fontes de ideias* para a elaboração desses modelos.

Gilbert e Boulter (1998) e Gilbert e Justi (2016) destacam a função de representação parcial dos modelos quando usados ou elaborados nessa perspectiva epistêmica. Uma consequência disso, é o fato de modelos capacitarem cientistas a focar em aspectos chave do alvo coerentes com seus objetivos, sem se ater a detalhes ou atributos menos importantes como aqueles atrelados a propriedades descritivas. Essa distinção entre aspectos descritivos da aparência física e as relações de similaridade também está no centro da tipologia de comparações de Gentner (1983; 1989). A autora denomina comparações de *mera aparência* aquelas fundamentadas em semelhanças superficiais entre os domínios e as diferencia das *analogias* (comparações relacionais) e das *similaridades literais* (comparações em que há correspondência tanto de propriedades descritivas quanto de relações) pelo seu menor poder inferencial se comparado às demais².

Comparações de mera aparência têm sido destacadas na literatura como comuns entre crianças e estudantes pouco experientes (Mozzer & Justi, 2012; Rattermann & Gentner, 1998). Isso parece refletir os apontamentos de Gosslight, Unger, Jay e Smith (1991) de que estudantes, ao lidar com modelos, tentam “caracterizar uma relação mais imediata entre realidade e modelo” (p. 816) enquanto cientistas, conscientes das relações analógicas que ambos podem estabelecer e, portanto, da possível função de modelos como representações parciais, tendem a vê-los como ferramentas que possibilitam a elaboração e teste de ideias. Tal característica resalta a lacuna entre o tipo de modelagem vivenciada pelos cientistas (Clement, 2008) e os processos espontâneos de elaboração de modelos e comparações vivenciados por estudantes (Wilbers & Duit, 2006).

Raciocínio Analógico e a Modelagem Analógica na Ciência

Devido à sua função na elaboração de modelos, o raciocínio analógico auxilia e/ou promove a descoberta e a criatividade de cientistas na construção do conhecimento (Clement, 2008; Johnson-Laird, 1989; Nersessian, 2008). Por isso, cientistas fazem uso de analogias não só para auxiliá-los na comunicação de conceitos abstratos da ciência, mas também na resolução de problemas, na elaboração de questões e no desenvolvimento de seus modelos em domínios novos para eles (Coll, 2005; Nersessian, 1992; Wilbers & Duit, 2006).

² Para maiores detalhes sobre essas diferenças, ver Mozzer e Justi (2015).

Em seus trabalhos, Nersessian (1992; 2008) cita alguns dentre os inúmeros casos em que analogias desempenharam um papel central na construção do conhecimento científico. Por exemplo: a analogia estabelecida por Newton entre projéteis e a lua ('gravitação universal'); a analogia estabelecida por Darwin entre a reprodução seletiva e a reprodução na natureza ('seleção natural'); e a analogia entre vórtices fluidos e a mecânica de máquinas ('campo eletromagnético') estabelecida por Maxwell. Neste último caso, a autora dedica-se, em diferentes trabalhos, a uma análise profunda do processo de elaboração de analogias (Davies, Nersessian, & Goel, 2005; Nersessian, 1992, 2002b, 2008).

Justi e Gilbert (2006) também apontam exemplos em que a elaboração de analogias levou à produção de novos conhecimentos no domínio da Química, especificamente com relação ao conceito de reação química. Da analogia mecânica estabelecida por Boyle – na qual "afinidade" seria o resultado das formas adequadas de corpúsculos que lhes permitiriam se unir – à analogia estabelecida por Newton – na qual a "afinidade" seria um tipo de força que, independentemente de sua causa, permitiria a união dos corpos – a Química evoluiu para um modelo cinético mais preciso que facilitou as previsões sobre probabilidade de ocorrência e velocidade da reação.

De acordo com Gentner e Holyoak (1997), o processo de raciocínio analógico pode ser decomposto nos seguintes subprocessos básicos:

- *Acesso*: um ou mais análogos relevantes devem ser acessados da memória;
- *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;
- *Inferências*: o resultado do mapeamento permite que inferências sobre o domínio alvo sejam feitas;
- *Avaliação*: as correspondências entre os domínios e as inferências sobre o alvo necessitam ser avaliadas quanto à pertinência das mesmas. Adaptações/reformulações frente aos requerimentos únicos do alvo podem ser necessárias, preenchendo possíveis falhas no entendimento; e às vezes,
- *Generalização*: 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.

De acordo com esses autores, todas as teorias sobre raciocínio analógico lidam com esses subprocessos ou com subconjuntos deles, ainda que se diferenciem quanto à discussão de certas especificidades do processamento desse raciocínio. Por exemplo, discute-se se os objetivos daquele que raciocina analogicamente influenciam apenas no acesso e na avaliação das inferências (Gentner, 1989) ou se permeiam todo o processo de raciocínio analógico (Holyoak & Thagard, 1989). Apesar disso, uma suposição básica, comum a todas as teorias sobre esse processo, é a de que mapeamento analógico envolve a busca por sistemas interconectados de relações de similaridade (causais, estruturais, funcionais etc.) entre os domínios comparados.

A maioria dos trabalhos da literatura da área de ciência cognitiva lida com esses subprocessos em contextos de elaboração de analogias nos quais os análogos são explícita ou implicitamente fornecidos e cujo foco está em encontrar mapeamentos "corretos", isto é, as relações que foram estabelecidas quando a analogia foi originalmente criada. Na ciência, no entanto, o domínio análogo e/ou a analogia apropriada a uma determinada situação são desconhecidos e necessitam ser criados (Nersessian, 2002a).

Dessa forma, negando a impressão de um processo imediatamente bem-sucedido que pode ser gerado por uma descrição sequencial desses subprocessos, a elaboração de uma analogia por parte dos cientistas para explicar um fenômeno complexo envolve inúmeras tentativas e abandonos de ideias. Neste processo, o cientista pode tentar acessar inúmeros análogos e combinações de ideias e, somente a partir do momento em que considera ter encontrado um análogo apropriado, é que a liberdade no mapeamento das informações entre os domínios diminui (Clement, 2008; Johnson-Laird, 1989).

No contexto de produção de analogias na ciência, a partir do estudo de como Maxwell elaborou conhecimentos sobre campo magnético, Nersessian (2002a; 2008) denomina *modelagem analógica* o processo de elaboração, crítica e reformulação de analogias que pode levar à produção de modelos cada vez mais refinados. Considerando o caso estudado por Nersessian, apresentamos uma síntese do complexo processo vivenciado por Maxwell, no sentido de evidenciar os subprocessos do raciocínio

análogo anteriormente mencionados, guardadas as especificidades do contexto de criação de conhecimento.

Maxwell lidou com um conceito completamente desconhecido na época, o de campo eletromagnético, por meio da criação de analogias. Inicialmente, ele criou um análogo constituído de um meio mecânico quasi-material, o éter, girando em vórtices entre os ímãs (*acesso*³). Esses vórtices giravam em uma mesma direção como sistemas de rodas interdependentes em máquinas (*mapeamento*). No entanto, ao avaliar a inferência de que vórtices girando em uma mesma direção teriam seu movimento retardado ou parariam devido a forças de atrito (*inferência e avaliação*), ele propôs, com base em seus conhecimentos sobre mecânica de máquinas, um novo análogo. Neste, ele incluiu “partículas de rodas ociosas” entre os vórtices, girando em direção oposta a eles (*novo acesso*) como as existentes em certos sistemas mecânicos (*novo mapeamento*). Nesse processo, modelos progressivamente mais elaborados foram sendo gerados a partir das inferências e abstrações realizadas e avaliadas por ele com base nas analogias e no seu conhecimento melhorado sobre o alvo, as quais culminaram na derivação das leis matemáticas do campo eletromagnético (*generalização*). As analogias visuais elaboradas por Maxwell também o auxiliaram na comunicação de suas ideias para a comunidade científica (Davies et al., 2005).

O estudo desse caso histórico, possibilitou a Nersessian (2002a, 2008) elaborar uma representação genérica do processo de modelagem analógica (figura 2) e descrever suas etapas gerais. De acordo com ela, informações importantes sobre o domínio análogo e o domínio alvo, como similaridades potenciais e limitações (chamadas *constraints*⁴), interagem, levando à construção de modelos iniciais e seus subsequentes mais refinados. Assim, sob essa perspectiva, as analogias seriam “fontes de *constraints* para a construção de modelos” (Nersessian, 2002a, p. 145).

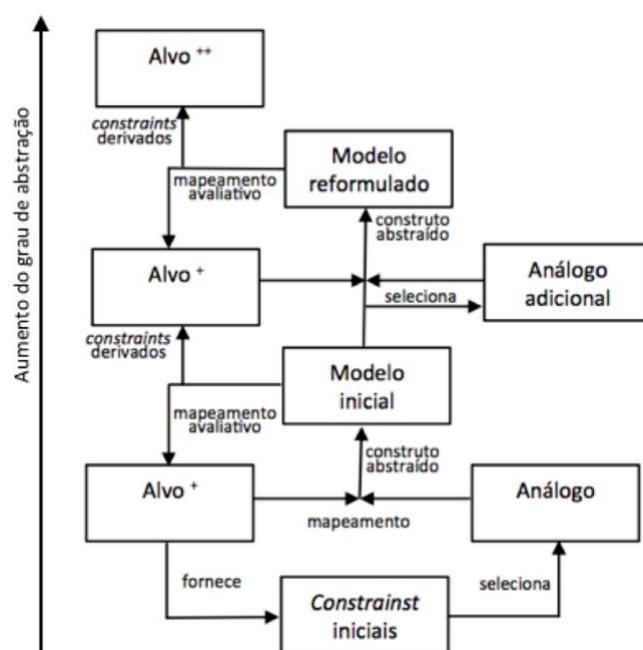


Figura 2 - Representação do processo de modelagem analógica, adaptada de Nersessian (2002a, p. 152).

Um domínio análogo é selecionado ou, na maioria das vezes, criado com base nos *constraints* do alvo percebidos ou conhecidos por aquele que raciocina analogicamente. A partir daí, ambos – *constraints* e abstrações genéricas – guiam a construção e a reformulação de modelos nesse processo. Abstrações genéricas são entendidas como processos nos quais os *constraints* de domínio específico, elaborados a partir do mapeamento entre o análogo e o alvo, são compreendidos em um nível mais abstrato e integrados na construção ou reformulação de modelos (construto abstraído, na figura 2).

A avaliação no processo de modelagem analógica (mapeamento avaliativo, na figura 2) se dá em termos do julgamento de quão bem os *constraints* conhecidos ou criados de um modelo se ajustam aos

³ Entendido aqui como um processo de criação, em lugar de utilização de um recurso armazenado na memória.

⁴ Optamos por não traduzir o termo para o português, por não encontrarmos um termo único adequado ao seu significado.

constraints conhecidos ou criados do alvo. Neste caso, as principais diferenças identificadas entre eles (*constraints* derivados, na figura 2) desempenham um papel central na reformulação do modelo.

De acordo com Nersessian (2002a), conhecimento genuinamente novo pode ser elaborado a partir desse processo (chamado pela autora de mudança conceitual na ciência) e, neste caso, as analogias atuam “não apenas como guias de raciocínio, mas como geradoras dos processos de raciocínio nos quais são empregadas” (p. 147).

Modelagem Científica e suas Semelhanças com a Modelagem Analógica

Com o objetivo de favorecer a caracterização geral do processo de modelagem científica, Gilbert e Justi (2016) elaboraram uma representação, denominada “Modelo de Modelagem” (figura 3). Segundo esses autores, a modelagem, entendida como uma prática científica epistêmica, envolve ciclos recorrentes de *criação*, *expressão*, *testes* e *avaliação* de modelos.

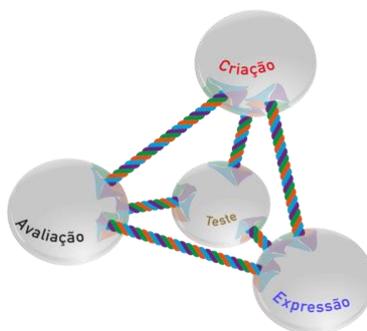


Figura 3 - Modelo de Modelagem (Gilbert & Justi, 2016, p. 32)

Em seu trabalho, Justi e Gilbert (2002) apresentam uma caracterização desses ciclos ou etapas da modelagem científica, sintetizada a seguir:

Na etapa de *elaboração* (ou *criação*), um modelo mental é produzido a partir da integração dinâmica e, por vezes simultânea, das seguintes subetapas: (i) definir os objetivos do modelo ou entender os objetivos propostos para ele; (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.; (iii) selecionar aspectos que serão usados para descrever a entidade modelada, ou seja, a fonte do modelo: definir uma analogia ou modelo matemático para a fundamentar o modelo.

O modelo mental necessita ser materializado de alguma forma para tornar possível a sua manipulação. Isso ocorre na etapa de *expressão*, na qual esse modelo é expresso em quaisquer modalidades representacionais externas: 3D (concreto); 2D (desenhos, diagramas etc.); virtual (programas computacionais); verbal (p. ex., analogias); gestual; matemática, ou qualquer combinação destes.

Esses modelos são testados com relação ao seu poder explicativo, a partir da contraposição do modelo com seus objetivos iniciais e, se necessário, reformulados ou abandonados (ao que se segue a proposição de novos modelos). Nessa etapa, *testes* empíricos e/ou mentais são realizados. A opção por testes empíricos depende do aspecto da entidade alvo modelado e dos recursos materiais disponíveis para sua realização. Por outro lado, as simulações mentais são sempre realizadas com o intuito de possibilitar previsões ou explicações para os comportamentos da entidade modelada.

A etapa de *avaliação* do modelo envolve a identificação da abrangência, ou seja, o âmbito de validade do modelo elaborado, e de suas limitações a partir da tentativa de usá-lo em outros contextos.

Um aspecto importante é o de que, a partir da elaboração de um modelo inicial, não existe uma ordem fixa em que estas etapas ocorrem e o processo é dinâmico. Por exemplo, um modelo pode ser testado antes de ser expresso, um modelo pode ser testado e avaliado simultaneamente etc. Por isso, na figura 3, os autores representaram o processo utilizando um tetraedro, uma vez que essa figura pode ser girada sem alteração na relação entre seus vértices equidistantes.

Ainda em relação à figura 3, as arestas do tetraedro são formadas por cordas constituídas por quatro fios de cores distintas e retorcidos para representar os quatro processos cognitivos que permeiam a

modelagem científica: os experimentos mentais, a argumentação, o uso de representações imagéticas e o raciocínio analógico. Não ignorando a importância dos outros processos, neste artigo destacamos o raciocínio analógico.

Com base nessa caracterização, Justi e Gilbert (2002) propuseram a elaboração de atividades colaborativas de construção, validação e utilização de modelos no ensino de ciências – o chamado ‘ensino fundamentado em modelagem’. Essas atividades podem contribuir para a aprendizagem de conceitos científicos, uma vez que os estudantes se engajam em um processo que, em geral, se inicia com um conjunto de explicações provisoriamente aceitas, as quais evoluem para entendimentos coerentes representados em seus modelos. Neste processo, seus entendimentos influenciam o desenvolvimento de seus modelos e, reciprocamente, os testes de seus modelos fazem aspectos que fundamentam os modelos científicos e sua avaliação em outros contextos influenciam seus entendimentos em desenvolvimento (Barab, Hay, Barnett, & Keating, 2000). Além disso, essas atividades podem contribuir para um ensino de ciências autêntico, no sentido atribuído por Roth (1995), ou seja, de envolverem os estudantes como membros de comunidades de investigação, com o objetivo de promover o desenvolvimento de habilidades e visões epistemológicas coerentes com a ciência, sem que isso signifique a mera imitação de cientistas ou de suas práticas. Pesquisas na área de ensino de ciências em geral (por exemplo, Acher, Arcà, & Sanmartí, 2007; Barab et al., 2000; Clement, 2000; Jonassen, 2008; Mozzer, Queiroz, & Justi, 2007) e de química em particular (Maia & Justi, 2009; Mendonça & Justi, 2010) têm corroborado essas afirmações sobre o ensino fundamentado em modelagem.

Além da proposta de ensino fundamentado em modelagem de Justi e Gilbert (2002) existem outras com propósitos similares como as de Clement (1989) e de Wells, Hestenes e Swackhamer (1995). A proposta de Justi e Gilbert se difere das demais na medida em que introduz novos elementos ao processo de modelagem (por exemplo as etapas de expressão e de avaliação do modelo e os processos envolvidos em todas as etapas) e torna explícita a relação entre todos os elementos desse processo (algo apresentado de forma genérica em ambas as propostas mencionadas). Isto possibilita uma orientação mais eficiente para professores e para elaboradores de currículo.

A comparação entre o processo de modelagem científica tal como caracterizado por Justi e Gilbert (2002); Gilbert e Justi (2016) e o processo de modelagem analógica descrito por Nersessian (2002a, 2008) e discutido na seção anterior torna evidente que ambos são regidos pelas mesmas etapas gerais de criação, expressão, crítica e reformulação de modelos e analogias. Além disso, em ambos os processos, modelos e analogias são artefatos de pensamento e neles as analogias desempenham o papel de fontes de modelos (embora na modelagem científica, estes também possam ser elaborados a partir de outras fontes). Isso demonstra a centralidade do raciocínio analógico como processo cognitivo nas modelagens científica e analógica.

Analogias no Ensino de Ciências

As analogias são ferramentas de pensamento potencialmente úteis também nos processos de ensino e aprendizagem de ciências, os quais envolvem inúmeras ideias abstratas e não familiares aos estudantes. Entre seus possíveis benefícios neste contexto, destacam-se: o entendimento conceitual a partir daquilo que eles já compreendem; o desenvolvimento de novos conhecimentos; a modificação de concepções alternativas; e, como ferramentas de investigação, a proposição de novas questões, relações e hipóteses (Blanchette & Dunbar, 2002; Brown & Clement, 1989; Duit, 1991; Harrison, 2008; Thiele & Treagust, 1991; Wilbers & Duit, 2006).

Apesar desses possíveis benefícios, estudantes pouco experientes comumente se atêm ao “parece com” em termos de similaridades superficiais (Duit, 1991), enquanto cientistas se preocupam com o “funciona/comporta-se como” no estabelecimento de suas comparações. Além disso, estudantes nem sempre vivenciam, de maneira espontânea, subprocessos importantes do raciocínio analógico como o de avaliação, proposição de inferências e generalização quando elaboram suas comparações (Mozzer & Justi, 2012). Isso aponta para a importância de o professor guiar o processo de elaboração de analogias no ensino.

Propostas como o modelo TWA⁵ (“*Teaching with Analogies*”) de Glynn (1991) e o guia FAR⁶ (“*Focus-Action-Reflection*”) de Treagust, Harrison e Venville (1998) foram idealizadas pensando-se no uso

⁵ O TWA consiste de seis operações que os professores tem que seguir: 1. Introduzir o conceito alvo; 2. Recordar com os estudantes o que eles sabem sobre o conceito análogo; 3. Identificar características relevantes do alvo e do análogo; 4. Mapear as similaridade; 5. Tirar conclusões sobre o alvo; e 6. Indicar as limitações da analogia.

⁶ O guia FAR é composto de três estágios que podem conjugar planejamento pelo professor e pesquisa-ação no ensino com analogias:

guiado de analogias no ensino de ciências. Apesar do suporte fornecido por esses modelos aos professores, eles conservam uma característica que os distancia do uso das analogias como artefatos de pensamento: enfatizam o fornecimento de análogos prontos aos estudantes. Nesses contextos, sempre existe a possibilidade de pouca (ou nenhuma) familiaridade do estudante com o análogo ou de este não “despertar” no estudante a ideia adequada sobre o alvo, almejada pelo professor (Duit, 1991); ainda que existam nesses modelos etapas específicas que objetivam contornar tais problemas.

Ademais, um uso exclusivo de analogias prontas no ensino, limita a criatividade e a participação dos estudantes na construção conjunta de significados que deveria ocorrer em salas de aula de ciências. Embora os autores do TWA e do guia FAR mencionem a possibilidade de seus modelos serem usados em situações de criação de analogias pelos estudantes, ainda não encontramos estudos desenvolvidos pelos autores sobre como os estágios propostos naqueles modelos funcionariam ou seriam adaptados para essas situações.

Ainda são relativamente poucos os estudos sobre estudantes utilizando analogias espontaneamente ou elaborando suas próprias analogias (por exemplo, Aragón, Oliva, & Navarrete, 2014b; Clement, 2008; Haglund & Jeppsson, 2012; Mendonça, Justi, & Oliveira, 2006; Mozzer & Justi, 2012; Wong, 1993). Mas os resultados dessas e de outras pesquisas da área, que investigam a função criativa das analogias, fornecem apoio empírico para a nossa crença de que o envolvimento dos estudantes em atividades de criação de analogias pode contribuir, além da aprendizagem conceitual, para o desenvolvimento da criatividade, da imaginação, de um pensamento mais interligado e de estratégias, habilidades e visões epistemológicas coerentes sobre os processos de modelagem e sobre a ciência, apontados pelos diferentes autores citados na introdução deste trabalho.

Diante da necessidade de orientações destinadas aos professores de ciências no sentido de auxiliá-los na mediação do processo de produção de analogias pelos estudantes e das similaridades gerais entre os processos de modelagem científica e de modelagem analógica apontados na seção anterior, consideramos a possibilidade de sistematizar as etapas de elaboração, crítica e reformulação de analogias e modelos com base nas etapas da modelagem como caracterizadas por Justi e Gilbert (2002). Assim, referente ao nosso primeiro objetivo, associado às duas primeiras questões de pesquisa, a metodologia de elaboração da proposta e a descrição das etapas que podem ser usadas para guiar a proposição e o desenvolvimento de atividades de modelagem analógica no ensino de ciências compõem a primeira parte deste trabalho.

Com base nessas etapas, elaboramos uma sequência de atividades e as desenvolvemos em um contexto de ensino (Mozzer & Justi, 2009). Neste trabalho, considerando a importância do raciocínio analógico como processo cognitivo que permeia o processo de modelagem (Gilbert & Justi, 2016), nos propusemos a um segundo objetivo, associado à terceira questão de pesquisa: investigar, a partir desse estudo empírico, os elementos presentes nas atividades de modelagem analógica que podem ter contribuído para que os estudantes de ciências vivenciassem os subprocessos do raciocínio analógico identificados por Gentner & Holyoak (1997). Esse segundo objetivo é discutido na segunda parte deste trabalho.

1ª PARTE: A MODELAGEM ANALÓGICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Metodologia de Elaboração da Proposta Descritiva das Etapas da Modelagem Analógica para o Ensino

Para elaboração de nossa proposta, adaptamos as etapas caracterizadas por Justi e Gilbert (2002) para que possibilitassem a elaboração, crítica e revisão de modelos e analogias, considerando-as etapas gerais que permeiam os processos de modelagem científica e analógica, nos quais modelos e analogias atuam como recursos de pensamento para aqueles que os elaboram. A adaptação das etapas foi realizada pensando-se em um processo a partir do qual a vivência dos subprocessos do raciocínio analógico identificados por Gentner e Holyoak (1997) fosse favorecida pelo professor.

1. Foco: estar certo daquilo que os estudantes sabem e do objetivo do uso da analogia; 2. Ação: assegurar-se de que os estudantes são familiares ao análogo e garantir espaço para a discussão das similaridades e das diferenças entre os domínios; 3. Reflexão: refletir sobre a utilidade da analogia perante os objetivos de ensino e os resultados alcançados.

Ademais, considerando que no contexto do ensino de ciências, tal como ocorre na ciência (Nersessian, 2002a, 2008), a maioria dos conceitos estudados (entidade modelada) são desconhecidos ou novos para os estudantes, entendemos que seja pertinente que os subprocessos de criação de análogos, mapeamento das similaridades e avaliação da coerência das correspondências entre os domínios e das inferências delas derivadas sejam vivenciados pelos estudantes. Acreditamos que isto pode contribuir para um entendimento progressivo da entidade modelada.

Assim, com base nesses pressupostos, três critérios guiaram a nossa proposta de descrever etapas da modelagem analógica destinadas ao ensino de ciências: (i) modelos e analogias são trabalhados como recursos de pensamento na tentativa de compreender a entidade modelada (domínio alvo), os quais necessitam ser expressos para a sua manipulação e acesso por outrem; (ii) a criação, expressão, crítica e revisão (quando necessária) de modelos e analogias são explicitamente solicitadas aos estudantes ao longo das etapas da modelagem analógica; e (iii) os subprocessos do raciocínio analógico são intencionalmente favorecidos pelo professor ao longo dessas etapas. Tais etapas são detalhadas na próxima subseção.

As Etapas da Modelagem Analógica para o Ensino de Ciências

Em contextos de ensino, os objetivos para a elaboração de um modelo e de uma analogia são, geralmente, estabelecidos pelo professor e apresentados aos estudantes (desencadeamento da etapa de *criação*). Posterior ou simultaneamente, os estudantes são estimulados a ter ou recordar experiências com a entidade modelada (domínio alvo), as quais podem advir de observações diretas ou indiretas, de informações disponíveis na literatura ou de suas estruturas cognitivas. Paralelamente, os estudantes devem selecionar um domínio análogo com o qual seja possível estabelecer uma analogia para elaboração de um modelo mental inicial. Essa etapa da modelagem analógica possibilita aos estudantes a vivência do subprocesso de *acesso*, entendido aqui como um processo criativo de elaboração ou seleção de possíveis análogos.

Na *etapa de expressão*, quando os estudantes são solicitados e expressar seus modelos mentais usando quaisquer dos modos de representação, deve haver solicitações explícitas para que eles expressem a partir de analogias e identifiquem as similaridades e as diferenças entre os domínios comparados. O professor precisa orientar os estudantes para que alinhem as partes correspondentes dos domínios comparados e, assim, expressem as correspondências das similaridades estabelecidas. As diferenças entre os domínios – ou seja, aspectos que não devem ser comparados – também necessitam ser expressas, uma vez que elas traduzem as limitações de uma analogia (Harrison, 2008) e, neste sentido, permitem uma avaliação das mesmas e das possíveis inferências sobre a entidade modelada realizadas por meio da comparação. Assim, nessa etapa da modelagem analógica a vivência dos subprocessos de *mapeamento*, *inferência*, e de *avaliação* pode ser favorecida.

Em relação à etapa de testes, no caso das analogias, são realizados testes mentais envolvendo as similaridades e diferenças identificadas pelos estudantes. Se nessa etapa a analogia falhar, ou seja, as diferenças entre os domínios comparados superarem as relações de similaridade que eles estabelecem, ou as relações de similaridade não forem condizentes com os aspectos do alvo modelados, os estudantes devem ser guiados pelo professor no sentido de reformulá-la ou propor uma outra analogia. O mesmo ocorre no caso de identificação de possíveis incoerências no modelo proposto. Nesse momento, os questionamentos do professor e a disponibilização de informações sobre a entidade modelada são imprescindíveis para guiar os estudantes na (re)elaboração de suas explicações. Esta etapa da modelagem analógica pode favorecer que os estudantes vivenciem o *subprocesso de avaliação* a partir de novas possibilidades de crítica das correspondências entre as similaridades, das limitações da comparação e das inferências realizadas sobre o alvo. As possíveis reformulações ou criação de novos modelos e analogias também possibilitam o estabelecimento de novas *inferências* sobre o alvo.

Quando o modelo e a analogia são bem-sucedidos nos testes, faz-se necessária a proposição de situações que permitam aos estudantes usá-los em outras situações (*etapa de avaliação*) com o intuito de que eles identifiquem as limitações e a abrangência dos modelos e das analogias elaborados e revisados. No caso das analogias, isso significa identificar, com base no objetivo explicativo inicial, quais aspectos do análogo e do alvo comparados devem e quais não devem ser mapeados (limitações da analogia) e os casos em que a analogia se aplica (abrangência da analogia). Esta etapa da modelagem analógica pode permitir que os estudantes vivenciem o subprocesso de *generalização* de inferências.

As correlações entre as etapas da modelagem analógica e os subprocessos do raciocínio analógico realizadas aqui não implicam que, em uma certa etapa da modelagem analógica, os estudantes estejam sujeitos a vivenciar, exclusivamente, o subprocesso do raciocínio analógico associado. A

associação dos subprocessos a cada uma das etapas teve como objetivo destacar que sua vivência pode ser mais favorecida por aquela etapa.

Considerando que as atividades de ensino fundamentadas na modelagem, por sua natureza, são atividades concebidas para que os estudantes trabalhem em grupo, os modelos e analogias produzidos nesses grupos devem ser socializados com a turma em diferentes momentos. As ideias e as similaridades expressas por estudantes de um grupo podem levar outros estudantes a refletir sobre as ideias e similaridades que fundamentam seus modelos e analogias, contribuindo para a reformulação (ou abandono) dos mesmos. O caráter social das atividades de ensino fundamentadas na modelagem favorece a comunicação e negociação dos conhecimentos elaborados nessas atividades (Blanco-Anaya, Justi, & Díaz de Bustamante, 2017).

Dentre os trabalhos apontados anteriormente que investigam a função criativa das analogias, aqueles que mais se aproximam de nossa perspectiva são os desenvolvidos por Aragón, Oliva e seus colaboradores (por exemplo, Aragón, Oliva, & Navarrete, 2014a; Aragón et al., 2014b). Esses autores também buscam relacionar modelos e analogias em estratégias de ensino com base na proposta de Justi e Gilbert (2002). No entanto, seus trabalhos têm sido desenvolvidos a partir de atividades de ensino destinadas a favorecer o aprendizado de modelos e analogias a partir de modelos curriculares e analogias elaboradas pelo professor, assim como o aprendizado de como usar modelos a partir de analogias já conhecidas. Consideramos a proposta apresentada nesta seção mais ampla, uma vez que a mesma se centra também na aprendizagem de revisão e modificação de modelos e analogias, na reconstrução de modelos e analogias e na criação de novos modelos e analogias⁷ pelos estudantes.

Assumindo que as etapas descritas nessa seção podem funcionar como guias na elaboração e condução de atividades de ensino de ciências fundamentadas na modelagem analógica, elaboramos desenvolvemos e analisamos uma sequência de ensino sobre o processo de dissolução com o objetivo de investigar *como as atividades de modelagem analógica podem contribuir para que estudantes de ciências vivenciem os subprocessos do raciocínio analógico*. Tal estudo contempla nosso segundo objetivo neste artigo.

2ª PARTE: ESTUDO EMPÍRICO

Caracterização dos Sujeitos da Pesquisa e do Contexto de Ensino

Os estudantes participantes dessa pesquisa pertenciam à faixa etária de 15 a 16 anos e cursavam o primeiro ano do ensino médio em uma escola da rede particular de ensino de uma grande cidade brasileira. Eles não haviam tido nenhuma experiência anterior em aulas de ciências com atividades fundamentadas em modelagem, elaboração de analogias, nem atividades experimentais investigativas em suas aulas de Química. Apesar disso, eles se engajaram em todas as atividades propostas, algo que pôde ser evidenciado pela intensa interação estabelecida entre eles e com a professora ao longo do desenvolvimento das mesmas.

A professora de Química tinha alguma experiência anterior com o ensino fundamentado em modelagem a partir de atividades desenvolvidas em disciplinas cursadas na instituição onde realizou sua formação inicial e das discussões com as pesquisadoras. Durante todo o processo, a professora demonstrou grande interesse e disposição, tanto com relação ao desenvolvimento das atividades em sala de aula, quanto com relação ao aprimoramento de seus conhecimentos, algo que também consideramos essencial para o sucesso do trabalho.

Em torno de seis meses antes da aplicação das atividades, os estudantes já haviam estudado modelos atômicos, propriedades periódicas, propriedade das substâncias e ligações químicas. Como parte destes dois últimos conteúdos, o tema dissolução também já havia sido estudado pelos estudantes. De acordo com a professora, esses conteúdos foram ministrados em aulas expositivas, seguidas de exercícios, com poucos experimentos (os quais visavam apenas demonstrar alguns dos fenômenos estudados) e avaliações ao final do processo. Esse era um padrão dominante nas aulas de Química da professora.

⁷ Estes são considerados novos (embora não sejam originais) da perspectiva do estudante.

A Sequência de Ensino

A sequência de ensino foi elaborada pelas autoras deste trabalho e uma primeira versão discutida com os membros do grupo de pesquisa X, no intuito de que eles avaliassem a coerência entre as atividades propostas e as etapas da modelagem analógica, bem como os aspectos relacionados à aprendizagem do tema pelo público-alvo. As sugestões e críticas apontadas pelos membros foram levadas em consideração na reformulação das atividades e produção de uma segunda versão. Um piloto dessas atividades foi conduzido em duas turmas do nono ano do ensino fundamental de uma outra escola particular situada na mesma cidade em que se situa a escola pesquisada e novas reformulações nas atividades foram realizadas a partir da análise dos resultados do piloto (Mozzer & Justi, 2009), resultando na produção da versão final.

A sequência é composta por cinco atividades. Uma primeira atividade, introdutória, foi elaborada com base nas etapas do modelo de ensino com analogias (TWA) de Glynn (1991), com o objetivo de facilitar a compreensão dos estudantes sobre o significado de analogias. Nela, uma comparação entre o modelo atômico de Bohr e o modelo do sistema solar é estabelecida, com o mapeamento das similaridades, contraste entre as similaridades relacionais e superficiais (aspectos físicos) e identificação das diferenças entre os domínios comparados. Julgamos necessário realizar tal atividade, porque a maioria dos estudantes daquela turma não haviam sido solicitados a elaborar analogias ou analisar aquelas estabelecidas pelo professor ou material didático nas aulas de ciências.

Posteriormente, as atividades descritas no quadro 1 foram realizadas. Essas atividades foram elaboradas com base nas etapas da modelagem analógica descritas anteriormente, sendo algumas das solicitações presentes nas mesmas encontram-se exemplificadas nas notas de rodapé associadas ao quadro 1. Durante o desenvolvimento dessas atividades, os estudantes trabalharam ativamente em pequenos grupos (de 5 a 6 estudantes cada), interagindo uns com os outros, com a professora, com as informações disponíveis e com os modelos e analogias expressos. Eles discutiam as ideias que fundamentavam seus modelos e analogias solicitavam o auxílio da professora sempre que tinham alguma dúvida ou não conseguiam estabelecer consenso quanto a essas ideias.

Quadro 1 - Descrição das atividades de modelagem analógica e sua associação com as etapas desse processo (adaptado de Mozzer & Justi, 2009).

Atividade	Descrição	Etapa(s)
1	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de dois sistemas (giz e água; suco de uva em pó e água) que se diferem quanto à solubilidade do soluto em água. • Previsão para o que ocorreria em cada sistema após a junção, com agitação, de seus componentes⁸. • Registro das observações após realização do experimento. • Discussão das possíveis diferenças entre o previsto e o observado. 	Criação
2	<ul style="list-style-type: none"> • Representação material da interpretação, no nível submicroscópico, dos fenômenos observados⁹. • Elaboração de analogias para explicar os fenômenos representados. • Estabelecimento das semelhanças e diferenças entre os domínios comparados. 	Criação e expressão
3	<ul style="list-style-type: none"> • Observação de novos aspectos do sistema modelado (adição do suco na água sem agitação). • Utilização dos modelos e analogias estabelecidas na tentativa de explicar os novos aspectos¹⁰. • Reformulação ou substituição dos modelos e analogias elaborados previamente, quando necessário. 	Condução de testes
4	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão das possíveis inferências a outras situações análogas (sistemas óleo e água e vinagre e água) relacionadas ao fenômeno modelado¹¹. 	Avaliação

⁸ Solicitação: Tente prever o que ocorrerá nos sistemas giz e água e suco de uva e água quando, em cada um deles, seus constituintes forem misturados. Por que você acha que isso ocorrerá?

⁹ Solicitação: Elabore modelos com o objetivo de explicar os fenômenos observados em cada sistema **no nível submicroscópico**. Para isso, utilize os materiais disponibilizados (bolinha de isopor, palitos de dente, massinha de modelar, lápis de cor, papel etc.). Explique seus modelos.

¹⁰ Solicitação: Tente me explicar, por meio de suas representações (modelos concretos, analogias, etc.), o que ocorre com o sistema suco e água quando os seus componentes são adicionados **sem agitação**.

¹¹ Solicitações: Como você explica por que o óleo *não se dissolve* na água? Como você explica por que o vinagre *se dissolve* na água.

A professora da turma, por sua vez, promoveu discussões e questionamentos como estímulos para que eles analisassem criticamente, reformulassem e, às vezes, até abandonassem suas analogias e modelos. Neste sentido, ela solicitava explicações sobre as escolhas dos modos de representação e seus significados e questionava os estudantes quanto à clareza e coerência das ideias expressas em seus modelos e comparações. Ela também elaborava perguntas que permitiam aos estudantes refletir sobre certos aspectos de suas representações. Por sua natureza, esses questionamentos podem permitir uma melhor compreensão dos processos vivenciados e da atribuição de significados pelos estudantes (Andrade & Mozzer, 2016).

Metodologia de Coleta e Análise de Dados

Como mencionado, a coleta de dados do estudo aqui relatado foi realizada em uma escola particular de uma grande cidade brasileira, no último mês do ano letivo. Ela ocorreu em uma turma regular do primeiro ano do ensino médio, a qual contava com 36 estudantes. Participaram da coleta duas pesquisadoras do grupo de pesquisa REAGIR: Modelagem e Educação em Ciências (UFMG), sendo uma delas a primeira autora deste trabalho. O projeto de pesquisa foi submetido e aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa e foram assinados Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos estudantes, de seus responsáveis, da professora e do diretor da escola.

Antes do desenvolvimento das atividades, foram realizadas duas reuniões, de aproximadamente uma hora e meia cada, entre as pesquisadoras e a professora de Química da turma. Nestas reuniões, procuramos obter informações sobre o contexto de ensino e os conhecimentos prévios dos estudantes. Além disso, fornecemos explicações detalhadas sobre o processo de modelagem com base no diagrama Modelo de Modelagem, sobre o estabelecimento de analogias e sobre como esses processos foram conjugados nas atividades propostas. Também discutimos diversos aspectos práticos da aplicação das atividades a partir do trabalho piloto. Consideramos esta etapa essencial, pois a compreensão do professor sobre o processo e os propósitos do trabalho influencia diretamente na maneira como as atividades são conduzidas e, por consequência, no engajamento dos estudantes.

No desenvolvimento das atividades, foram utilizadas seis aulas de 50 minutos cada. As aulas abordaram aspectos qualitativos do processo de dissolução (como a dispersão e a interação entre partículas) durante as atividades de modelagem analógica e foram registradas em áudio e vídeo. Todas as atividades escritas produzidas pelos estudantes, as fotos de seus modelos e as anotações de campo realizadas pelas pesquisadoras compuseram nossas fontes de informação.

Os dados coletados foram integrados na produção de estudos de caso detalhados para cada um dos 6 grupos de estudantes. De acordo com Stake (2000), estudo de caso é uma escolha daquilo que deve ser estudado e, portanto, uma questão fundamental é o conhecimento derivado do caso; em outras palavras o que se aprende ao estudar aquele caso. Para esse autor, um *estudo de caso instrumental* é aquele a partir do qual examina-se um caso particular com o objetivo de compreender um assunto específico ou uma teoria.

Com base nessa perspectiva, neste trabalho usamos um dos seis estudos de caso instrumentais produzidos para subsidiar a discussão do nosso segundo objetivo. A seleção deste estudo de caso se justifica pelos fatos de ele ser representativo dos principais aspectos dos processos vivenciados pelos grupos e de ser o mais completo, isto é, envolver o grupo em que pudemos registrar a maioria dos momentos em que os estudantes produziram e discutiram seus modelos concretos e analogias. Este grupo era constituído de 6 integrantes, identificados neste trabalho por códigos En, onde n é um número de ordem aleatório.

No estudo de caso buscamos analisar as *ideias* que fundamentavam os modelos e analogias dos estudantes, bem como o *processo* a partir do qual estes eram criados, expressos, testados e avaliados, com o objetivo de identificar os elementos das atividades de modelagem que contribuíram para a sua vivência dos subprocessos do raciocínio analógico e, conseqüentemente, para o desenvolvimento do seu conhecimento sobre o processo de dissolução. Tal análise foi submetida a um processo de triangulação (Cohen, Manion, & Morrison, 2011) entre os pesquisadores do grupo de pesquisa REAGIR e as divergências que surgiram foram discutidas até estabelecimento de consenso. Na próxima subseção, apresentamos uma síntese do estudo de caso, evidenciando todos os momentos em que identificamos os elementos buscados.

Resultados e Discussão

Na Atividade 1 (quadro 1), os estudantes registraram por escrito as seguintes previsões para o que ocorreria com os sistemas giz e água: “*Irá se tornar um sistema bifásico, porque o giz é mais sólido, sendo bem provável que todo o giz não se dissolva. Dissolverá lentamente.*” E para o sistema suco e água: “*O suco vai dissolver totalmente, porque o suco já está em partes menores que o giz.*”

Após observarem a mistura dos componentes e discutirem suas observações, eles chegaram às seguintes conclusões: “*O giz afundou e começou a dissolver lentamente, como previsto (...). E quando o giz foi colocado na água, soltou pequenas bolhas.*” (Sistema giz e água); “*O suco dissolveu rapidamente e ficou roxo, como previsto.*” (Sistema suco e água).

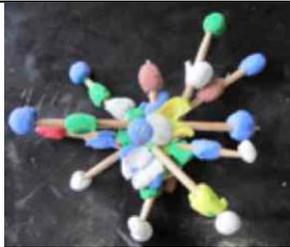
Ao serem solicitados a explicar as diferenças entre suas previsões e observações, os estudantes afirmaram que as pequenas bolhas que saíam do giz evidenciavam que ele estava sendo lentamente dissolvido pela água e que isso ocorria porque a matéria do giz era “mais concentrada” que a do suco. Eles acreditavam que as bolhas observadas eram constituídas de minúsculos pedacinhos de giz que se desprendiam.

No início da atividade 2 (quadro 1), a professora esclareceu a diferença entre os níveis representacionais macroscópico e submicroscópico (Johnstone, 1982), ressaltando que este último diz respeito ao nível das partículas. Após os esclarecimentos, ela solicitou aos estudantes que representassem as partículas de cada um dos componentes dos sistemas *antes* e *após* a mistura. Naquele momento da atividade, os estudantes se envolveram em intensas discussões, a partir das quais elaboraram as representações que constam nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Representações dos estudantes para o sistema giz e água, antes e após a mistura de seus componentes.

Componentes <i>antes</i> da mistura		Componentes <i>após</i> a mistura
		
Figura 4 - Representação da água	Figura 5 - Representação do giz	Figura 6 - Representação do sistema giz e água

Quadro 3 - Representações dos estudantes para o sistema suco e água, antes e após a mistura de seus componentes.

Componentes <i>antes</i> da mistura		Componentes <i>após</i> a mistura
		
Figura 7 - Representação da água	Figura 8 - Representação do suco	Figura 9 - Representação do sistema suco e água

Os estudantes prestaram esclarecimentos sobre os códigos de representação por eles adotados. Com relação à representação das partículas de água (figura 4, quadro 2), eles afirmaram que estas seriam constituídas de dois átomos de hidrogênio (bolinhas de isopor pequenas identificadas com a letra H) e um átomo de oxigênio (bolinhas de isopor grandes identificadas com a letra O) unidos entre si e que “*tem que juntar com outras para formar a água toda*” (E1).

Com relação à representação do giz antes da mistura (figura 5, quadro 2), eles esclareceram que cada um dos pedaços de massinha de diferentes cores representariam os diferentes átomos constituintes da substância, os quais haviam sido dispostos “*bem juntinhos*” para ressaltar a compactação das partículas do giz.

Para explicar melhor como entendiam o processo que ocorreu na mistura do giz com a água, bem como sua representação (figura 6, quadro 2), um dos estudantes afirmou: “*O giz vai absorvendo a água, mas não tão rapidamente quanto o suco. Porque o suco está em partículas menores, então vai absorvendo mais rápido. (...) Tipo assim: a gente vai tirando as partículas (do giz) e grudando na água.*” (E2)

A resposta de E2 ilustra os fatos de, nos momentos iniciais das atividades, os estudantes utilizarem os termos dissolução e absorção como sinônimos, além de confundirem suas observações no nível macroscópico com as representações no nível submicroscópico (ambos descritos previamente por exemplo em Andersson, 1990; Kind, 2004).

Durante a confecção da representação para o suco antes de sua adição na água (figura 8, quadro 3), os estudantes discutiram sobre a dimensão das partículas, sobre a distância em que elas se encontravam umas das outras em comparação às partículas do giz e sobre os códigos de representação utilizados:

- E2: “*Está grande (representação da partícula)! O suco é bem menor que o giz. Mas é bem menor mesmo!*”
E1: “*É, mas no (nível) microscópico...*”
E6: “*O tamanho não importa.*”
E3: “*Não é junto (partículas). É separado! (...) O giz é concentrado, o suco é menos. Não pode ser junto.*”
E2: “*Mas o que tem a ver representar no palito?*”
E3: “*Porque ele (o suco) é separado! Ele não é concentrado!*”

Eles esclareceram para a professora que cada um dos pedaços de massinha fixados no palito de dente (figura 8, quadro 3) representava uma partícula do suco, entendida como cada grãozinho contido no pacote, e que representaram a molécula de água utilizando apenas uma bolinha de isopor como uma simplificação da representação da figura 4 (quadro 2). A representação da figura 9 (quadro 3) para o sistema após a mistura dos componentes com agitação também foi explicada por um estudante: “*Vai absorver na água todinha. Assim (mostra a representação da figura 9, quadro 3).*” (E2)

A professora solicitou aos estudantes que imaginassem algo semelhante a um ‘zoom’ de altíssimo alcance em cada um dos grãozinhos de suco e perguntou o que eles poderiam representar, caso isso fosse possível. De acordo com E1: “*Isso daqui (aponta, indicando a totalidade da representação da figura 11) é o zoom do grãozinho. (...) Vários destes átomos formariam o suco.*”

A professora, então, questionou se os estudantes supunham que os “*átomos se desmanchariam*” na água como representado na figura 9 (quadro 3) e eles negaram esta hipótese. Isso os levou a refletir sobre seu modelo e a reformulá-lo (figura 10).



Figura 10 - Representação reformulada do sistema suco e água.

Em seguida, os estudantes explicaram para a professora suas novas ideias, esclarecendo também os novos códigos de representação, como demonstra o diálogo a seguir:

- E3: “*Eu acho que é porque, como dissolve, vai misturando na água, então era para ficar mais junto com a água.*”

- P: “*Mais junto como? Assim (aponta para a representação da figura 9, quadro 3) ou como no modelo que E2 está segurando (representação da figura 10)?*”
- E1: “*Daquele jeito ali (aponta para a representação da figura 10).*”
- E3: “*Assim, sem ela (a partícula) se juntar (fundir) com outra (aponta para a representação da figura 10).*”
- E2: “*É desse jeito (aponta para a representação da figura 10). Eu acho que do jeito que a gente vê ia ficar assim (aponta para a representação da figura 9, quadro 3), ia misturar na água toda. Mas por dentro das partículas, ia continuar as bolinhas.*”

Eles informaram à professora que as bolinhas coloridas nessa nova representação seriam as diferentes “moléculas” constituintes do suco e que a bola de isopor revestida de massinha verde seria a molécula de água. Nessa fase das atividades, parece que os estudantes tentaram conciliar determinadas características macroscópicas do fenômeno (como o fato de a água se tornar colorida após a adição do suco) com representações submicroscópicas (como a separação das partículas do suco em água).

Na sequência, eles foram solicitados a elaborar analogias para explicar os fenômenos representados. A primeira comparação estabelecida foi entre o giz e um comprimido de analgésico, momento em que eles vivenciaram os subprocessos de *acesso* e *mapeamento*, como demonstra o trecho a seguir:

- P: “*Vocês pensaram em alguma comparação?*”
- E1, E2 e E4: “*Comprimido!*”
- E3 e E4: “*Sem ser o efervescente, o de analgésico.*”
- E3: “*Porque a matéria é concentrada e quando você põe na água vai demorar a dissolver.*”
- E4: “*Como o giz.*”

O análogo ao sistema giz e água inicialmente acessado pelos estudantes foi o sistema comprimido de analgésico e água. Em seguida, eles colocaram em correspondência propriedades descritivas dos dois sistemas como a compactação da matéria no giz e no comprimido e o fato de ambos se dissolverem em água.

A concepção de que o giz é solúvel em água já havia sido manifestada pelos estudantes desde a observação daquele sistema, momento em que eles afirmaram que as pequenas bolhas que saíam do giz eram constituídas de pedacinhos deste. Essa concepção parece ter sido reforçada quando, ao triturarem o giz com o auxílio da colher, a água ficou turva. Esta tarefa foi realizada por iniciativa dos próprios estudantes, no intuito de verificar se, quando estivesse “*menos concentrado*” (pulverizado como o suco), o giz se dissolveria mais facilmente. O fato de a água ter se tornado turva foi associado à aceleração do processo de dissolução do giz.

A pedido da professora, o sistema foi deixado em repouso e a discussão, retomada na aula seguinte. Ao observarem que a fase superior estava mais clara que a inferior, os estudantes concluíram que o giz estava decantando e que não havia dissolvido. A professora solicitou, então, que eles comparassem seus modelos concretos para os dois sistemas após a mistura (figuras 6, quadro 2, e 10) com base nessas discussões.

As discussões que se seguiram, após a comparação desses modelos, parecem demonstrar que os estudantes compreenderam que os processos observados eram diferentes, uma vez que propuseram a reformulação de seu modelo da figura 6 (quadro 2) que deu origem à representação apresentada nas figuras 11a e 11b. O diálogo a seguir, ilustra as discussões:

- E4: “*As bolinhas teriam que estar mais juntas (se refere aos pedaços de massinha da figura 9)!*”
- E6: “*Mas, elas não ficam separadas da água?*”
- E2: “*Pensem comigo, elas (as partículas) estão mais embaixo (fragmentos decantados) e mais em cima (fragmentos em suspensão). (...) Mas do jeito que está ali (aponta para o copo com a mistura), eu não estou vendo nenhuma ligação (entre as partículas de giz e água) ali, não!*”



(a) Representação completa



(b) - Detalhe da representação

Figura 11 - Representação do sistema giz e água

Neste trecho do diálogo, é possível constatar que, na tentativa de explicar para seus colegas os novos aspectos observados (os quais deveriam ser considerados na nova representação), E2 deixou claro que não pensava na existência de ligações entre as partículas de água e de giz. A partir dessa afirmação, somos levados a concluir que os pedaços de massinha fixados pelo estudante nas bolinhas de isopor (figura 11b) indicavam as partículas de giz suspensas, que foram visualizadas por eles na observação do sistema.

A professora retomou também a representação do sistema suco e água (figura 10) e questionou os estudantes sobre a quantidade de partículas de água existentes no sistema observado. A partir desse questionamento, os estudantes realizaram uma nova reformulação no modelo na tentativa de considerarem esse aspecto (figura 12). Quanto aos códigos de representação desse modelo, eles afirmaram que os palitos foram colocados somente para indicar que as partículas de água se encontravam separadas umas das outras.

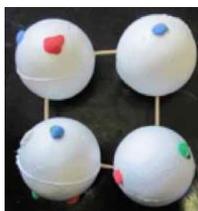


Figura 12 - Representação reformulada para o sistema suco e água

O processo de elaboração de comparações havia sido interrompido para que os estudantes pudessem realizar o experimento proposto por eles de observar o comportamento do giz triturado em água. Por isso, naquele momento os estudantes foram novamente solicitados pela professora a estabelecer comparações ou retomarem as comparações anteriores para explicar os fenômenos observados e os novos aspectos considerados. As comparações elaboradas são apresentadas no quadro 4.

Quadro 4 - Comparações elaboradas pelos estudantes para explicar os fenômenos observados

Comparações	Semelhanças	Diferenças
Água + giz Comprimido analgésico em água.	Fica um pouco de partículas em cima e um pouco embaixo.	Em um mesmo intervalo de tempo, o comprimido, provavelmente, irá se dissolver todo, e o giz só parcialmente.
Água + suco Adição de tinta em água.	A água ficará toda colorida, porque a tinta se espalha na água, como o suco.	A tinta não é tão sólida quanto o suco. No suco fica uns pozinhos embaixo, o que não ocorre na tinta. O suco é formado de pequenas partículas sólidas; e a tinta, de partículas no estado líquido.

Ao longo de todas as atividades, a solicitação de elaboração de uma comparação era sempre acompanhada das solicitações de identificação das semelhanças e diferenças entre os domínios

comparados. Isso porque a identificação das semelhanças torna explícitas as correspondências entre os domínios e as inferências, quando ocorrem, em relação ao domínio alvo. Por outro lado, as diferenças nos permitem identificar os aspectos dos domínios comparados que os estudantes não consideraram correspondentes no mapeamento.

É importante notar que, naquele momento das atividades, apesar de os estudantes já terem representado certos aspectos do fenômeno de dissolução no nível submicroscópico em seus modelos concretos, ao serem solicitados a elaborar comparações que explicassem tais aspectos, eles se restringiram a estabelecer correspondências entre observações macroscópicas. Portanto, nesta fase, eles elaboraram *comparações de mera aparência* (Gentner, 1983), uma vez que os domínios comparados só se assemelhavam e se diferenciavam em termos de suas propriedades descritivas. Por exemplo, na primeira comparação (quadro 4), o giz e o comprimido se assemelham em forma, cor e compactação e se diferem quanto ao tempo de dissolução (consequência do grau compactação); enquanto na segunda, os sistemas suco e água e tinta e água se assemelham quanto à alteração de cor da água pelo espalhamento do soluto¹² e se diferem quanto ao “estado físico das partículas” de soluto.

Por meio do *mapeamento* dessas comparações pelos estudantes, foi possível que a professora tivesse acesso a determinadas concepções inadequadas dos mesmos (como a do ‘estado físico das partículas’) que não haviam sido detectadas a partir de outros modelos expressos (Mozzer & Justi, 2010). Isso permitiu que a professora, por meio da discussão de ideias centrais do modelo cinético-molecular, levasse os estudantes a perceber que um dos critérios para se diferenciar o suco e a tinta em termos de estado físico não seria o tamanho ou o estado físico das próprias partículas, mas a sua organização.

Antes que os estudantes fossem solicitados a analisar suas comparações anteriores, foram discutidas também as diferenças entre os aspectos macroscópicos observados e os submicroscópicos representados em seus modelos com o objetivo de elaborar explicações para o comportamento do sistema. O trecho a seguir ilustra essas discussões:

- P: “Vocês acham que essas comparações da tinta e do comprimido são comparações para aspectos macroscópicos ou submicroscópicos?”
- E2: “Aspectos que eu estou enxergando, macro.”
- E1, E3 e E6: “Macro.”
- P: “O que ocorreu com as partículas desta substância (aponta para o suco)?”
- E2: “As partículas continuaram lá, mas só que separadas.”
- E3: “Eram muito juntas, se separam e espalham pela água.”
- E2: “As do giz, elas continuaram juntas.”
- E3: “As do giz estavam juntas e continuaram juntas e espalhadas (se refere aos pequenos pedaços).”

Essa discussão entre os estudantes e professora, que constituiu parte da *etapa de testes* da modelagem analógica, foi crucial para a *avaliação* das comparações de mera aparência elaboradas anteriormente, seu abandono e estabelecimento das *analogias* apresentadas no quadro 5.

Quadro 5 - Novas comparações elaboradas pelos estudantes para explicar os fenômenos observados.

Analogias	Semelhanças	Diferenças
Água + giz A turma na sala de aula e no laboratório.	Antes os estudantes, como as partículas de giz, estavam juntos na sala de aula e depois se separaram em grupos no laboratório. Nos grupos, certo número de estudantes se mantiveram juntos.	Proporção e dimensão das partículas e dos estudantes
Água + suco Assoprando da poeira.	No suco, as partículas estão próximas como o pó antes do assoprando. O ar separa e espalha o pó, como a água espalha as partículas de suco.	Proporção e estado físico das substâncias

¹² Durante as discussões foi possível notar que o foco da similaridade identificada pelos estudantes estava na alteração de cor da água e não na relação causal entre esta e o espalhamento do soluto. Por essa razão, ela foi considerada uma correspondência entre propriedades descritivas dos domínios.

Novos domínios análogos foram criados pelos estudantes (*acesso*) como resultado da avaliação das comparações anteriores. Eles compararam a não dissolução do giz triturado em água a uma turma de estudantes inicialmente reunidos em sala de aula e que são separados em pequenos grupos para realização de suas atividades no laboratório. No *mapeamento*, eles alinharam cada estudante a uma partícula de giz e os grupos de estudantes aos pequenos pedaços de giz (obtidos após a trituração) e *inferiram* que a ação da trituração seria semelhante à separação dos estudantes em grupos no laboratório. Ao fazerem isto, eles ignoraram as propriedades descritivas dos domínios comparados em favor dos papéis assumidos pela ação mecânica de trituração e pela separação em grupos na estrutura relacional dos domínios (Gentner, 1983). Esse processo também é condizente com o que Nersessian (2002a, 2008) chama de abstração genérica, uma vez que as similaridades mapeadas pelos estudantes passam a ser compreendidas em um nível mais abstrato e as ideias que as embasavam foram usadas em seus modelos explicativos ou na reformulação dos mesmos.

As diferenças identificadas pelos estudantes nesta comparação foram as de que haveria um número muito maior de partículas de giz no sistema do que o de estudantes no laboratório e de que existiria uma enorme diferença entre a dimensão das partículas de giz e o tamanho dos estudantes.

Na comparação entre o processo de dissolução do suco e o assopramento da poeira, o análogo também foi criado pelos estudantes (subprocesso de *acesso*). Como na comparação anterior, durante o *mapeamento*, eles alinharam o ar e a água; e a poeira e os grãos de suco e *inferiram* que as partículas do suco se separam e espalham na água de maneira semelhante à separação e espalhamento das partículas de poeira pela ação do vento. Isso evidencia que, também nesta comparação, o foco estava em relações abstratas de similaridade entre os domínios comparados.

Como diferenças entre os domínios comparados, eles destacaram que o ar está no estado gasoso, enquanto a água se encontra no estado líquido; e que a proporção entre quantidades de substâncias do ar e da poeira em relação as da água e do suco seria muito diferente. Neste caso, os estudantes não foram capazes de identificar diferenças profundas entre os domínios comparados, restringindo-as aos aspectos macroscópicos.

No entanto, é possível perceber, através das semelhanças identificadas nas novas comparações para ambos os sistemas, que os estudantes foram capazes de formular analogias que lhes possibilitavam explicar, no nível submicroscópico, o que observaram no nível macroscópico. Eles também passaram a se ater às *relações* de similaridade entre os domínios comparados e, naquele momento das atividades, propriedades descritivas foram destacadas como diferenças entre os domínios.

Apesar disso, os estudantes não incluíram em suas comparações qualquer ideia de interações entre partículas. Isso é coerente com os esclarecimentos anteriormente prestados por eles de que a presença de palitos que uniam bolinhas de isopor na representação da água (figura 15) só serviria para indicar a distância entre as partículas.

Na atividade 3 (quadro 1) eles foram solicitados a observar a adição de suco em água sem agitação e a discutir suas observações com a professora, como ilustra o diálogo:

- E4: “O suco desceu e subiu se espalhando.”
P: “O que está ocorrendo aqui em cima (aponta para a parte superior do copo contendo a mistura suco e água)?”
E4: “Está ficando mais escuro...”
E2: “Porque está subindo (se refere ao suco).”
P: “Depois que subiu, como E2 e E4 falaram, volta a descer?”
Todos: “Não.”
P: “Por que depois que subiram, as partículas do suco se mantiveram aqui (aponta para a parte superior do copo)?”
E1: “Tem que existir força de atração.”
E4: “Porque senão elas (as partículas) iam ficar lá embaixo! O suco ia ficar todo aqui embaixo e a água em cima dele.”

Em seguida, a professora questionou os estudantes para verificar se eles seriam capazes de, a partir das explicações fornecidas para o suco, fazer *inferências* sobre o comportamento do sistema giz e água.

- P: “No caso do giz, o que ocorreu?”
E2 e E4: “As partículas desceram.”

- P: “Pensando nessas ideias que estamos discutindo, o que difere isso (aponta para o sistema giz e água) disso (aponta para o sistema suco e água)?”
- E1: “Aqui teria atração entre a água e as partículas de suco e aqui não tem força de atração entre a água e as partículas de giz.”

Diante dessa resposta, a professora discutiu com os estudantes que as intensidades das forças de atração podem variar e solicitou que eles avaliassem, qualitativamente, as intensidades das interações em ambos os sistemas, como ilustra o trecho a seguir:

- E1: “A maior é a da água com o pó (de suco).”
- P: “Vocês concordam com ele?”
- E2: “Concordo, porque dá para ver que esse aqui, quando colocou o pó, ele subiu e o giz não.”
- P: “E voltando para esse sistema (aponta para a mistura giz + água)...”
- E2: “É fraca! A da água com o giz...”
- E1: “É menor que a da água com a água e do giz com o giz.”

Os estudantes foram, então, solicitados a analisar se, em suas comparações e modelos mais atuais, haviam levado em consideração aspectos referentes às últimas observações e discussões. A partir da avaliação da comparação estabelecida entre o sistema água e suco e a poeira no ar, eles concluíram que a limitação identificada era mais comprometedora do que as relações que a sua analogia possibilitava:

- E6: “A poeira sobe e depois desce (decanta), mas esse aqui (se refere à mistura do suco em água sem agitação) é o contrário: desce e depois sobe.”
- E3: “É. Desce e depois sobe por causa da força de atração, não é?”
- E6: “A poeira sobe e depois desce por causa da gravidade. (...) Aqui (aponta para o suco) também tem força da gravidade, mas tem atração entre as partículas.”

Esta citação evidencia a realização de experimentos mentais pelos estudantes a partir dos quais eles constataram que sua analogia com o assopramento do pó era capaz de explicar o espalhamento das partículas, mas não a interação entre elas. A consideração deste aspecto os levou a propor uma nova comparação (quadro 6). Isso significa dizer que os estudantes, na tentativa de utilizar os modelos propostos para explicar o processo de dissolução do suco sem agitação (teste empírico), realizaram experimentos mentais que lhes possibilitaram avaliar suas analogias durante a etapa de testes da modelagem analógica.

Quadro 6 - Nova comparação elaborada pelos estudantes para explicar os fenômenos observados.

Analogia	Semelhanças	Diferenças
Água + suco O ímã atrai algumas coisas.	O ímã atrai algumas coisas, como a água atrai as partículas do suco.	O ímã atrai e gruda coisas sem que haja uma distribuição homogênea como as partículas de suco e água. As partículas de suco e água não se encostam como o ímã encosta nos materiais que atrai; “elas se ligam”.

Na tentativa de incluir a força de atração como um aspecto a ser considerado em seu modelo para a dissolução do suco em água, os estudantes acessaram como domínio análogo o sistema ímã e materiais ferromagnéticos (acesso). No mapeamento, eles alinharam o ímã e as partículas de água, os materiais ferromagnéticos e as partículas do suco, inferindo relações de similaridade funcionais entre as forças atrativas existentes entre esses elementos dos domínios comparados.

Uma vez que os estudantes estabeleceram diferenças entre as ideias de ligação química entre partículas e contato físico entre elas – ideia proveniente da utilização do modelo de Dalton para explicar a ligação (Mozzer & Justi, 2012) –, a professora solicitou maiores esclarecimentos para verificar exatamente como eles compreendiam aquela ligação.

- P: “E o que é uma ligação aqui (aponta para o palito que conecta as representações das moléculas de água, no modelo da figura 12)?”
- E1: “Interação. Atração.”
- P: “E o que causa essa atração?”
- E1: “Um polo negativo e um polo positivo.”

P: “O que gera esses polos?”

E6: “Um átomo tendo mais prótons (aponta para a representação do oxigênio na molécula de água) atrai mais os elétrons do outro (aponta para a representação do hidrogênio na molécula de água).”

É possível perceber, a partir da nova analogia e dos esclarecimentos dos estudantes, que houve uma evolução de uma ideia inicial de espalhamento de partículas por ação da agitação, as quais se encontrariam dispersas (“soltas”), para uma ideia de atração mais próxima da cientificamente aceita e caracterizada pela interação eletrostática entre as partículas. Isso significa que eles foram capazes de estabelecer novas *inferências* sobre o domínio alvo a partir de sua comparação com o ímã, as quais passaram a compor seu modelo explicativo para o processo.

Na atividade 4 (quadro 1), foram trazidas duas questões sobre solubilidade em sistemas diferentes daqueles que os estudantes haviam trabalhado nas atividades precedentes para que eles respondessem a partir das discussões anteriores e considerando as abrangências e limitações de seus modelos e analogias. Na questão 1 (Como você explica porque o óleo não se dissolve na água?), eles responderam: “Porque o óleo possui densidade diferente da água e não existe atração suficiente entre a água e o óleo para eles se dissolverem. O óleo é apolar e a água é polar.” Na questão 2 (Como você explica porque o vinagre se dissolve na água?), a resposta foi: “Pois existem atrações suficientes entre o vinagre e a água. A água é polar e o vinagre é polar, assim eles se dissolvem.”

Ainda é muito comum professores de Química explicarem o processo de dissolução a partir da polaridade das substâncias. Para facilitar a memorização dos estudantes de casos em que ocorre ou não dissolução, eles ensinam, como se a regra “*semelhante dissolve semelhante*” fosse sempre uma verdade. Na maioria das vezes, os estudantes se prendem a esta máxima, sem que qualquer reflexão sobre como o processo ocorre seja realizada.

A partir de suas respostas também é possível notar uma tentativa de conjugar modelos prévios – relacionados à suposta ‘regra de dissolução’ e à concepção que associa densidade como fator determinante da solubilidade (Ebenezer & Erickson, 1996) – com seus conhecimentos atuais. Apesar disso, com base nos indícios sobre a evolução da compreensão dos estudantes sobre o processo de dissolução, durante as atividades propostas, somos levados a acreditar que eles foram capazes de fazer *generalizações* quanto aos aspectos relacionados às intensidades das interações eletrostáticas para explicar o processo de dissolução.

Para discussão de nossa segunda questão de pesquisa – Como as atividades propostas com base nas etapas da modelagem analógica podem contribuir para que os estudantes de ciências vivenciem os subprocessos do raciocínio analógico? – elaboramos, a partir dos resultados discutidos nessa seção, o quadro 7, no qual relacionamos elementos dessas atividades e as etapas em que eles ocorreram com os subprocessos que favoreceram.

Quadro 7 - Elementos da modelagem analógica e os subprocessos do raciocínio analógico que eles fomentaram.

Subprocesso(s)	Elementos do ensino fundamentado em modelagem analógica	Etapas da modelagem
<i>Acesso e mapeamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> Solicitação, após a observação do fenômeno, de produção e expressão de um modelo concreto, de elaboração de analogias que explicassem o fenômeno e de fornecimento de esclarecimentos sobre as correspondências de similaridades entre os domínios comparados. 	<i>Criação e Expressão</i>
<i>Inferências</i>	<ul style="list-style-type: none"> Solicitação da formulação de explicações em resposta às discussões ou aos questionamentos do professor sobre os modelos e analogias criados. Solicitação de comparação entre modelos explicativos e analogias elaborados para sistemas de comportamentos diferentes (ou similares, dependendo do caso), quando os estudantes já são capazes de fornecer explicações coerentes para um deles. 	<i>Condução de testes</i>
<i>Avaliação</i>	<ul style="list-style-type: none"> Proposição de novas observações empíricas. Solicitação explícita (nas atividades escritas e pelo professor) do estabelecimento das diferenças entre os domínios por eles comparados e análise destas frente às relações de similaridade que a 	<i>Condução de testes</i>

Subprocesso(s)	Elementos do ensino fundamentado em modelagem analógica	Etapa(s) da modelagem
	comparação possibilita. <ul style="list-style-type: none"> Solicitação explícita, pelo professor, da análise das comparações criadas com base nas explicações e discussões estabelecidas ao longo das atividades. 	
Generalizações	<ul style="list-style-type: none"> Apresentação de um novo contexto para que os estudantes possam tentar estender, a ele, as inferências resultantes do processo vivenciado. 	Avaliação

É importante ressaltar que a não linearidade, a possibilidade de recorrência e a estreita conexão entre as etapas da modelagem (Gilbert & Justi, 2016; Justi & Gilbert, 2002) também caracterizam as etapas da modelagem analógica pensadas para o ensino de ciências e descritas neste trabalho. Esse dinamismo pode permitir que os subprocessos do raciocínio analógico sejam vivenciados em etapas diferentes daquelas que apresentamos no quadro 7. Por exemplo, os estudantes podem realizar uma avaliação das correspondências de similaridades entre os domínios que comparam tão logo as expressem e, assim, vivenciarem esse subprocesso de avaliação durante a etapa de expressão da comparação.

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Ao assumirmos a perspectiva de que, como os modelos, as analogias podem ser artefatos de pensamento, consideramos que sua criação, crítica e revisão, dentro de sua função criativa, podem auxiliar os estudantes na construção de conhecimentos de ciências. Assumimos também que as analogias podem desempenhar o papel de fontes de ideias na elaboração de modelos (Clement, 2008). Isso nos levou a propor uma sistematização de etapas da modelagem analógica destinadas ao ensino de ciências fundamentada na caracterização de Justi e Gilbert (2002) e Gilbert e Justi (2016) das etapas da modelagem, em resposta às duas primeiras questões de pesquisa propostas neste trabalho: *quais etapas podem ser usadas para guiar a proposição e o desenvolvimento de atividades de modelagem analógica no ensino de ciências?*; e *como descrevê-las?*

Resumidamente, as etapas da modelagem analógica podem ser assim descritas: na *etapa de criação*, os estudantes são solicitados pelo professor a elaborar modelos e analogias para explicar a entidade modelada. Nessa etapa, eles são esclarecidos sobre os objetivos para os quais deverão elaborar os modelos e analogias, estimulados a recordar ou obter informações relacionadas a tal entidade e solicitados a selecionar um domínio análogo para estabelecer uma analogia inicial, a partir da qual irão elaborar modelos. Na *etapa de expressão*, os modelos e as analogias criados devem ser expressos por meio de algum modo de representação, entre eles o verbal, a partir do qual as relações de similaridades e as diferenças entre os domínios comparados são explicitadas. Na *etapa de testes*, são realizados testes mentais das analogias, envolvendo as similaridades e as diferenças identificadas pelos estudantes e testes mentais e/ou empíricos dos modelos. Se a analogia e/ou o modelo falhar(em) com relação aos seus objetivos explicativos iniciais, os estudantes devem ser guiados pelo professor por meio da disponibilização de novas informações e de questionamentos no sentido de auxiliá-los a reformular ou propor uma nova analogia e/ou um novo modelo. Por outro lado, quando o modelo e a analogia são bem-sucedidos nos testes, faz-se necessária a proposição de situações que permitam aos estudantes usá-los em outras situações (*etapa de avaliação*) com o intuito de que eles identifiquem as limitações e a abrangência dos modelos e das analogias elaborados e revisados.

Essas etapas da modelagem analógica fundamentaram a elaboração de atividades sobre o tema dissolução, cujos dados, coletados durante o desenvolvimento das mesmas em um contexto de ensino regular, foram analisados e compuseram o estudo de caso discutido na segunda parte deste trabalho. Nossos resultados evidenciaram elementos específicos das atividades de modelagem analógica que favoreceram a ocorrência dos subprocessos de raciocínio analógico, inclusive os de avaliação, proposição de inferências e generalização, identificados como não espontâneos no estudo anterior realizado por Mozzer e Justi (2012). Por exemplo: a elaboração e expressão de modelos e analogias favoreceram os subprocessos de *acesso* e *mapeamento*, enquanto a execução de testes favoreceu a *avaliação* da pertinência dos modelos e analogias propostos frente aos objetivos explicativos estabelecidos. Além disso, ações do professor suscitadas pelas atividades na condução do processo (principalmente as de promover as discussões entre pares, fazer questionamentos sobre os códigos de representação utilizados pelos estudantes, sobre suas ideias anteriores e sobre os aspectos que justificavam seus modelos e

comparações) favoreceram, direta ou indiretamente, a ocorrência de todos os subprocessos do raciocínio analógico.

Neste sentido, nossos resultados evidenciam que a vivência da modelagem analógica favorece o desenvolvimento pelos estudantes de capacidades relacionadas ao raciocínio analógico, as quais estão associadas aos subprocessos envolvidos neste raciocínio (mapeamento explícito de relações de similaridade; inferências sobre o alvo resultantes do mapeamento; avaliação das similaridades e diferenças e possível reformulação da comparação; generalização das inferências). Isso amplia os achados de Aragón, Oliva e Navarrete (2014b) a partir dos quais os autores puderam apenas hipotetizar uma influência mútua positiva entre os processos de modelagem e de raciocínio analógico.

Para além desses elementos, nossos resultados também nos permitem supor outras contribuições do processo de elaboração de analogias fundamentado na modelagem. Uma delas, diz respeito à *visualização* do nível submicroscópico a partir de relacionamentos com as observações no nível macroscópico (Gilbert, Queiroz, & Justi, 2010). Apesar de já terem estudado o tema, os estudantes, inicialmente, não foram capazes de propor representações exclusivamente no nível submicroscópico e que incluíssem informações referentes às interações entre as partículas e à intensidade dessas interações em seus modelos concretos e analogias elaborados para explicar os processos observados. Essas informações passaram a ser representadas nos modelos e analogias criados e/ou reformulados nas atividades 3 e 4. Isto destaca (i) o processo de construção de ideias científicas no ensino de ciências como lento e gradual; e (ii) a modelagem analógica como uma rica possibilidade para que as ideias dos estudantes em desenvolvimento sejam expressas e reelaboradas em um processo consonante com (mas não igual a) as práticas investigativas da ciência (Oliva & Aragón, 2009).

Ademais, ao fornecer oportunidades para que os estudantes expressassem suas próprias comparações, o professor pode detectar que, apesar de serem solicitados a elaborar analogias que representassem suas ideias no nível submicroscópico, eles estabeleceram *comparações de mera aparência*. Tal procedimento forneceu subsídios para que o professor percebesse a necessidade de relembrar aos estudantes, em diferentes momentos das atividades, o significado desses níveis de representação e o que se pretendia que eles explicassem.

Finalmente, a partir de nossos resultados, somos levados a supor que atividades fundamentadas nas etapas da modelagem analógica propostas neste trabalho podem facilitar a evolução do estabelecimento de *comparações de mera aparência* para *analogias* na medida em que comparações relacionais deste tipo são estabelecidas quando um conhecimento mais bem fundamentado sobre o domínio alvo está em desenvolvimento ou já foi desenvolvido (Vosniadou, 1989); ou seja, quando os estudantes já são capazes de transitar entre os dois níveis de representação (macroscópico e submicroscópico) na construção de uma compreensão mais abrangente da química (Gilbert et al., 2010; Justi & Gilbert, 2006).

Como implicações deste trabalho para o ensino de ciências, destacamos que a descrição proposta para as etapas da modelagem analógica pode orientar professores e pesquisadores na proposição e condução de atividades voltadas para o ensino de ciências, nas quais modelos e analogias são criados, criticados e revisados pelos estudantes, num processo em que os significados vão sendo gradualmente negociados na tentativa de se compreender a entidade modelada. Uma preocupação central na proposição dessas etapas foi a de fornecer subsídios para que os subprocessos do raciocínio analógico fossem favorecidos ao longo da modelagem analógica visto que, ainda que possam existir certas especificidades de acordo com as diferentes teorias sobre o assunto, eles são apontados como gerais e importantes na elaboração de analogias (Clement, 2008; Gentner & Holyoak, 1997).

Assim, nossa proposta se diferencia dos modelos TWA e guia FAR, uma vez que nela a função criativa das analogias e seu papel como fontes de ideias para a elaboração de modelos são conjugados, em lugar de realçar apenas a sua função explicativa por meio da apresentação de análogos previamente selecionados pelo professor e da identificação das correspondências almeçadas por este.

Uma vez que destacamos a relevância de que as atividades de modelagem analógica destinadas ao ensino de ciências sejam guiadas pelo professor, outra possível implicação deste trabalho seria a inclusão, na formação dos professores, de discussões sobre modelagem, sobre raciocínio analógico e sobre as ações do professor que viabilizam a integração desses processos. Isto poderia contribuir para apoiar iniciativas de professores de favorecer a elaboração, revisão e modificação, pelos estudantes, de suas analogias e modelos a partir da modelagem analógica.

Dado o caráter inovador do conhecimento discutido aqui, reconhecemos que investigações adicionais sobre a abrangência das evidências e a validade das proposições apresentadas neste trabalho para outras temáticas e outros domínios do conhecimento poderiam contribuir para a pesquisa na área de ensino de ciências. Outra possível implicação desse conhecimento para a pesquisa na área seria a investigação de como a vivência de atividades fundamentadas na modelagem analógica poderia contribuir para o desenvolvimento de conhecimentos dos estudantes *sobre* ciências. No que concerne ao primeiro ponto, novos estudos têm sido desenvolvidos por nós e nossos colaboradores (Andrade & Mozzer, 2017; Silva & Mozzer, 2015).

AGRADECIMENTOS

CNPq e FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Science Education*, 91(3), 398-418. [DOI:10.1002/sce.20196](https://doi.org/10.1002/sce.20196)
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85. [DOI:10.1080/03057269008559981](https://doi.org/10.1080/03057269008559981)
- Andrade, G. M. P. C., & Mozzer, N. B. (2016). Análise dos Questionamentos do Professor em Atividades Fundamentadas em Modelagem Analógica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(3), 825-850.
- Andrade, G. M. P. C., & Mozzer, N. B. (2017). *Proposta de uma sequência didática sobre o uso de pesticidas fundamentada na modelagem analógica*. In XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, Brasil. Recuperado de <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0800-1.pdf>
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2014a). Contributions of learning through analogies to the construction of secondary education pupils' verbal discourse about chemical change. *International Journal of Science Education*, 36(12), 1960-1984. [DOI:10.1080/09500693.2014.887237](https://doi.org/10.1080/09500693.2014.887237)
- Aragón, M. M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2014b). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las ciencias*, 32(3), 337-356.
- 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. [DOI: 10.1002/1098-2736\(200009\)37:7<719::AID-TEA6>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200009)37:7<719::AID-TEA6>3.0.CO;2-V)
- 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. [DOI:10.1037/0278-7393.28.4.672](https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.4.672)
- Blanco-Anaya, P., Justi, R., & Díaz de Bustamante, J. (2017). Challenges and Opportunities in Analysing Students Modelling. *International Journal of Science Education*, 39(3), 377-402. [DOI:10.1080/09500693.2017.1286408](https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1286408)
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18(4), 237-261. [DOI:10.1007/BF00118013](https://doi.org/10.1007/BF00118013)
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In Glover, J., Ronning, R., & Reynolds, C. (Orgs.), *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. [DOI:10.1080/095006900416901](https://doi.org/10.1080/095006900416901)
- Clement, J. (2008). *Creative Model Construction in Scientists and Students: The role of imagery, analogy and mental simulations*. Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education (Org.)*. London and New York: RoutledgeFalmer.
- 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. [DOI:10.1080/0950069042000276712](https://doi.org/10.1080/0950069042000276712)
- Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614. [DOI:10.1002/sce.3730780605](https://doi.org/10.1002/sce.3730780605)
- Davies, J., Nersessian, N. J., & Goel, A. K. (2005). Visual models in analogical problem solving. *Foundations of Science*, 10, 133-152. [DOI:10.1007/s10699-005-3009-2](https://doi.org/10.1007/s10699-005-3009-2)
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672. [DOI:10.1002/sce.3730750606](https://doi.org/10.1002/sce.3730750606)
- Duit, R., & Glynn, S. M. (1996). Mental modelling. In Welford, G., Osborne, J., & Scott, P. (Orgs.). *Research in Science Education in Europe: Current issues and themes* (pp. 166-176). London: Falmer.
- Ebenezer, J. V., & Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: a phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201. [DOI:10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199604\)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199604)80:2<181::AID-SCE4>3.0.CO;2-C)
- 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 Vosniadou, S. & Ortony, A. (Orgs.). *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. [DOI:10.1037/0003-066X.52.1.32](https://doi.org/10.1037/0003-066X.52.1.32)
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1998). Learning science through models and modelling. In Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (Orgs.). *International Handbook of Science Education* (pp. 53-66). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching Science Education*. Basel, Switzerland: Springer International Publishing.
- Gilbert, J., Queiroz, A. S., & Justi, R. (2010). The use of a Model of Modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding. In Tasar, M. F. & Çakmakci, G. (Orgs.). *Contemporary Science Education Research: International Perspectives* (pp. 43-51). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In Glynn, S. M., Yearny, R. H. & Britton, B. K. Orgs.). *The Psychology of Learning Science* (pp. 219-240). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M., & Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In Glover, J., Ronning, R., & Reynolds, C. (Orgs.). *Handbook of Creativity: Assessment, Research and Theory* (pp. 383-398). New York: Plenum Press.
- 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. [DOI:10.1002/tea.3660280907](https://doi.org/10.1002/tea.3660280907)

- Haglund, J., & Jeppsson, F. (2012). Using Self-Generated Analogies in Teaching of Thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 898-921. DOI:10.1002/tea.21025
- Harrison, A. G. (2008). Teaching with analogies: friends or foes? In Harrison, A. G. & Coll, R. K. (Orgs.). *Using analogies in middle and secondary science classrooms: The FAR guide-an interesting way to teach with analogies*. (pp. 6-21). California: Corwin.
- Hesse, M. (1966). *Models and Analogies in Science*. Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame Press.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-355. DOI: 10.1207/s15516709cog1303_1
- 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 (Orgs.), *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.
- Jonassen, D. (2008). Model building for conceptual change. In Vosniadou, S. (Org.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 676-693). New York and London: Routledge.
- 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. DOI:10.1080/09500690110110142
- Justi, R., & Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of nature of models in chemistry. In Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M., (Orgs.). *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 119-130). Dordrecht: Springer.
- Kind, V. (2004). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (Org.). London: Royal Society of Chemistry.
- Knuuttila, T. (2005a). *Models as epistemic artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation*. Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Knuuttila, T. (2005b). Models, representation and mediation. *Philosophy of Science*, 72(5), 1260-1271. DOI:10.1086/508124
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630. DOI:10.1080/09500690802538045
- 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. DOI:10.1007/s11165-010-9176-3
- 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.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In Morgan, M. S. & Morrison, M. (Orgs.). *Models as mediators: Perspectives on natural and social science* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2009). *Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem*. In VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciências, Florianópolis, Brasil. Recuperado de posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/216.pdf
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2010). *Concepções de alunos de ciências sobre estrutura atômica e ligação química expressas em suas comparações*. In IV Colóquio Internacional de Educação e Contemporaneidade, Aracaju, Brasil. Recuperado de http://educonse.com.br/2010/eixo_05/E5-50.pdf

- 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. DOI:10.1080/09500693.2011.593202
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2015). Nem tudo que reluz é ouro: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(1), 123-147.
- Mozzer, N. B., Queiroz, A. S., & Justi, R. (2007). *Proposta de ensino para introdução ao tema interações intermoleculares via modelagem*. In VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Florianópolis. Recuperado de www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p186.pdf
- Nersessian, N. J. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In Gierem, R. N. (Org.). *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. In Magnani, L., Nersessian, N. J., & Thagard, P. (Orgs.). *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 5-22). New York: Academic Plenum Publishers.
- Nersessian, N. J. (2002a). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In Carruthers, P., Stich, S., & Siegal, M. (Orgs.). *The Cognitive Basis of Science* (pp. 133-153): Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (2002b). Maxwell and 'the method of physical analogy: Model-based reasoning, generic abstraction and conceptual change. In Malamet, D. (Org.). *Reading Philosophy of Nature: Essays in the History and Philosophy of Science and Mathematics too Honor Howard Stien on this 70th birthday* (pp. 129-166). Chicago and La Salle: Open Court.
- Nersessian, N. J. (2008). Model-based reasoning practices: Historical exemplar. In Nersessian, N. J. (Org.). *Creating Scientific Concepts* (pp. 19-60). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Oliva, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 3(3), 363-384.
- Oliva, J. M., & Aragón, M. M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27(2), 195-208.
- Portides, D. P. (2011). Seeking representations of phenomena: Phenomenological models. *Studies in History and Philosophy of Science*, 42(2), 334-341. DOI:10.1016/j.shpsa.2010.11.041
- Rattermann, M. J., & Gentner, D. (1998). More evidence for a relational shift in the development of analogy: children's performance on a causal-mapping task. *Cognitive Development*, 13, 453-478. DOI:10.1016/S0885-2014(98)90003-X
- Roth, W. M. (1995). *Authentic school science. Knowing and learning in open-inquiry science laboratories*. Dordrecht: Kluwer.
- Silva, T. A., & Mozzer, N. B. (2015). *Conjugando modelagem e analogia no ensino de equilíbrio químico*. Trabalho apresentado no X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia, Brasil.
- Stake, R. (2000). Case studies. In Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (Orgs.). *The Handbook of Qualitative Research* (pp. 435-454). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1991). Using analogies in secondary chemistry teaching. *Australian Science Teachers Journal*, 37, 10-14.
- Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. J. (1998). Teaching science effectively with analogies: an approach for pre-service and in-service teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(1), 85-101. DOI:10.1023/A:1009423030880

- Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In Vosniadou, S. & Ortony, A. (Orgs.). *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 413-437). Cambridge: Cambridge University Press.
- Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A MODELING METHOD for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606-619. [DOI:10.1119/1.17849](https://doi.org/10.1119/1.17849)
- Wilbers, J., & Duit, R. (2006). Post-festum and heuristic analogies. In Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (Orgs.). *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. [DOI:10.1002/tea.3660301008](https://doi.org/10.1002/tea.3660301008)

Recebido em: 20.06.2017

Aceito em: 09.10.2017