



“Nem tudo que reluz é ouro”: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências

“All that glitters is not gold”: A discussion on analogies and other similarities and tools used in science teaching

Nilmara Braga Mozzer

Departamento de Química
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
nilmara@iceb.ufop.br

Rosária Justi

Departamento de Química & Faculdade de Educação
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
rjusti@ufmg.br

Resumo

Este artigo apresenta uma ampla revisão da literatura nacional e internacional sobre analogias no ensino de Ciências. Seus objetivos principais são: diferenciar as analogias de outros tipos de similaridades e recursos didáticos frequentemente confundidos por professores, autores de livros e pesquisadores; explicitar e discutir os fundamentos teóricos relacionados às analogias e sua utilização no ensino; e discutir criticamente algumas das principais estratégias de uso das analogias como ferramentas de ensino. Neste sentido, buscamos preencher uma lacuna existente na literatura sobre o tema publicada no Brasil, na tentativa de contribuir para fomentar discussões entre pesquisadores da área de Educação em Ciências e para o desenvolvimento do conhecimento de professores de Ciências sobre analogias.

Palavras-chave: Analogias; similaridades; recursos didáticos; ensino de Ciências.

Abstract

This paper presents a comprehensive review of the national and international literature on analogies in science teaching. It aims mainly at: establishing differences among analogies and both other kinds of similarities and teaching strategies that are often mistaken by teachers, textbooks' authors, and researchers; presenting and discussing the main theoretical frameworks concerning analogies and their use in science teaching; and discussing, in a critical way, some of the main strategies for using analogies in science teaching. In this way, the paper fills a gap in the Brazilian literature in the area. Therefore it may contribute to foster discussions among science education researchers and to the development of science teachers' knowledge about analogies.

Keywords: Analogies; similarities; teaching strategies; science teaching.

Introdução

A tentativa de compreender e explicar o não familiar a partir do familiar é um processo inerente à cognição humana. Neste sentido, as analogias são ferramentas de pensamento potencialmente úteis nos processos de ensino e aprendizagem de Ciências como a Química, no qual inúmeras ideias abstratas e não familiares aos estudantes são discutidas. Elas podem ser definidas como comparações que propiciam o estabelecimento de *relações* entre um domínio familiar, denominado *base* (GENTNER, 1983), *fonte* (HOLYOAK; THAGARD, 1995), *análogo*¹ (DUI, 1991; GLYNN, 1991) e outro não familiar ou pouco familiar, denominado *alvo* (GENTNER, 1983; GLYNN, 1991; HOLYOAK; THAGARD, 1995).

Analogias podem favorecer: um melhor entendimento por parte dos estudantes de conceitos e entidades abstratos a partir daquilo que eles já compreendem; o desenvolvimento de novos conhecimentos; e a modificação de concepções alternativas (BROWN; CLEMENT, 1989; CLEMENT, 1993; DUIT, 1991; THIELE; TREAGUST, 1991; BLANCHETTE; DUNBAR, 2002; HARRISON, 2008b; MOZZER; JUSTI, 2012; VOSNIADOU, 1989). Além disso, elas podem funcionar como ferramentas de investigação, permitindo a proposição de novas questões, relações e hipóteses (GLYNN et al., 1989; HARRISON, 2008b; WILBERS; DUIT, 2006).

Diante desse conjunto de possíveis benefícios, de acordo com Dagher (1994), a importância das analogias na aprendizagem de Ciências, em geral, não pode ser subestimada à aprendizagem conceitual, mas atrelada também ao desenvolvimento da criatividade e da imaginação, à construção de um pensamento mais integral e interconectado, à melhoria da autoestima e outros fatores atitudinais que podem estar envolvidos na aprendizagem com analogias; sendo várias dessas contribuições intimamente relacionadas com as atividades de modelagem² (OLIVA; ARAGÓN, 2009).

Apesar de todas essas vantagens apontadas na literatura, o uso que professores e autores de materiais instrucionais fazem dessas ferramentas no ensino de Ciências,

¹ Neste trabalho optamos por adotar essa nomenclatura para nos referir ao domínio familiar.

² Processo de elaboração, crítica e refino de modelos.

bem como seu entendimento sobre elas, é ainda limitado e, muitas vezes, inadequado. Trabalhos realizados em diferentes países indicam que, frequentemente, professores:

- *não possuem um repertório bem preparado e validado de analogias, tendendo a elaborá-las sem o devido cuidado, no momento mesmo em que ensinam (FERRAZ; TERRAZZAN, 2002; THIELE; TREAGUST, 1994; TREAGUST; DUIT; JOSLIN, 1992);*
- *apresentam analogias como algo (um artefato, não um processo de raciocínio) pronto e acabado, capaz de “transmitir” conhecimentos para os estudantes (OLIVA, 2003; OLIVA et al., 2001);*
- *fornece pouco ou nenhum esclarecimento aos estudantes sobre os aspectos metafóricos da linguagem antropomórfica que utilizam em suas comparações (TABER; WATTS, 1996);*
- *almejam que os estudantes compreendam relações analógicas que apresentam um significado claro e objetivo para eles, mas não para seus estudantes (DUIT et al., 2001);*
- *selecionam análogos pouco familiares aos estudantes ou, às vezes, mais complexos do que o alvo (DUIT, 1991; SILVA; TERRAZZAN, 2009; TREAGUST; DUIT; JOSLIN, 1992);*
- *tendem a confundir as analogias com outros tipos de similaridades (como metáforas, comparações de mera aparência etc.) ou outros recursos didáticos (como exemplos e modelos) (MOZZER; JUSTI, 2013; TREAGUST; DUIT; JOSLIN, 1992);*
- *parecem desconhecer a importância da identificação e discussão das limitações das analogias, isto é, das características e propriedades não compartilhadas entre o análogo e o alvo e/ou das condições nas quais a analogia não se aplica (MOZZER; JUSTI, 2013; OLIVA, ARAGÓN et al., 2001; TREAGUST; DUIT; JOSLIN, 1992; VENVILLE, 2008).*

Como reflexo desse contexto de uso das analogias, concepções alternativas podem ser facilmente desenvolvidas pelos estudantes, exatamente porque as analogias não são diretamente transferidas da estrutura cognitiva dos professores para a dos estudantes, mas reinterpretadas por estes (DAGHER, 1994). Nesse processo, existe um risco subjacente de que os estudantes interpretem literalmente a analogia apresentada pelo professor ou autor e/ou estabeleçam relações não pertinentes entre os domínios comparados, por imaginarem um encaixe perfeito entre o análogo e o alvo (DUIT, 1991). Há também o risco de os estudantes compreenderem as representações do conhecimento científico como isentas de limitações (HARRISON, 2008b).

Ênfase é atribuída por diversos pesquisadores ao papel do professor como guia no raciocínio analógico dos estudantes (por exemplo, DUIT, et al., 2001; GICK; HOLYOAK, 1983; OLIVA, ARAGÓN, et al., 2001). Mas, como guiar quando não se sabe o “sentido”?

Alguns trabalhos publicados no Brasil, na área do ensino de Ciências (BOZELLI; NARDI, 2007; SILVA; TERRAZZAN, 2008, 2009; ZAMBON; TERRAZZAN, 2013) e, em específico, de Química (BERNARDINO; RODRIGUES; BELLINI, 2013; DA ROSA; PIMENTEL; TERRAZZAN, 2007; FERRY; NAGEM, 2008), raramente caracterizam as analogias de forma detalhada (e, às vezes, até adequada), esclarecendo sobre os domínios comparados, explicitando as correspondências relacionais e as diferenciando das correspondências perceptuais e superficiais – algo necessário quando se almeja utilizar as analogias com finalidades relacionadas às aprendizagens de conteúdo e de habilidades investigativas.

Um exemplo de inadequação na caracterização das analogias é a utilização por Ferry e Nagem (2008) da linguagem matemática de conjuntos para representar essa ferramenta. Os autores associam a interseção entre os domínios análogo e alvo (conjuntos) a *elementos comuns* aos domínios e não às *relações* existentes entre eles.

Além disso, esses autores denominam “contra-analogia” uma comparação na qual se privilegia as diferenças entre os domínios comparados (por exemplo: “O átomo, de acordo com a teoria de Thomson, **não seria como** um doce brigadeiro.” (FERRY; NAGEM, 2008, p. 16)). Isso significa que, em lugar de privilegiarem o papel das discussões das limitações de uma analogia na elaboração de representações adequadas do domínio alvo, Ferry e Nagem sugerem comparar essas diferenças. Entretanto, não ficam claras na proposição quais seriam as vantagens dessa comparação para a aprendizagem dos estudantes, uma vez que tal constructo não se baseia na premissa fundamental das analogias, a saber, a de favorecer a compreensão do não familiar a partir do familiar pela combinação entre o estabelecimento das relações de similaridade e o reconhecimento das diferenças.

Outro exemplo diz respeito à inadequada interpretação das relações analógicas ditas “estruturais” como o *compartilhamento de uma mesma aparência física* pelos domínios em lugar do *compartilhamento das relações* que os elementos estabelecem nas estruturas do análogo e do alvo. Essa parece ser a causa de:

- *autores como Zambon e Terrazan (2013) identificarem como limitação de uma analogia estabelecida entre o comportamento de um gás e de pessoas, o tamanho dos elementos em cada um desses domínios. Algo semelhante é observado em Silva e Terrazan (2008) e da Rosa, Pimentel e Terrazan (2007) que colocam em correspondência o tamanho do Sol e o do núcleo atômico em uma analogia entre o sistema solar e o modelo atômico de Rutherford. Se tais analogias se estabelecem a partir da comparação de domínios de natureza diferente, obviamente as dimensões dos domínios comparados serão diferentes, isto é, tal diferença é inerente à comparação e não uma limitação da mesma, ou algo que esteja sendo mapeado; e*
- *estudantes interpretarem analogias de forma inadequada quando o compartilhamento de relações não é claramente explicitado. Um exemplo ocorre na comparação entre uma cebola cortada ao meio e o modelo atômico de Bohr apontada por Silva e Terrazan (2009), a partir da qual e sob as condições mencionadas, os estudantes podem colocar em correspondência a existência de camadas em ambos os domínios em lugar da relação de organização concêntrica nos sistemas.*

Além disso, existem trabalhos em que os estudantes elaboram suas próprias analogias guiados por seus professores ou pesquisadores (como MENDONÇA; JUSTI; OLIVEIRA, 2006; MOZZER; JUSTI, 2012; ZAMBON; TERRAZAN, 2013) e outros em que os estudantes ‘recebem’ analogias prontas, ‘transmitidas’ por seus professores ou materiais instrucionais (como NAGEM; FIGUEROA; CARVALHO, 2003; RIBEIRO; BARRETO, 2007; SILVA; GAZOLA; TERRAZAN, 2003; SILVA; TERRAZAN, 2008). Blanchette e Dunbar (2000) associaram esses empregos das analogias às expressões ‘paradigma da *produção*’ e ‘paradigma da *recepção*’, respectivamente. No Brasil, como ocorre em âmbito internacional, pouco se tem discutido sobre o uso das analogias com base no paradigma de *produção* em contraste com seus usos fundamentados no paradigma da *recepção*.

Diante desse quadro e no sentido de fomentar discussões entre pesquisadores da área de Educação em Ciências e contribuir para o desenvolvimento do conhecimento de professores de Ciências sobre analogias, nossos principais objetivos neste artigo são:

- *estabelecer algumas distinções fundamentais entre as analogias e outros tipos de similaridades e recursos didáticos frequentemente confundidos por professores, autores de livros e pesquisadores;*

- *explicitar e discutir os fundamentos teóricos relacionados às analogias e sua utilização no ensino; e*
- *discutir criticamente algumas das principais estratégias de uso das analogias como ferramentas de ensino propostas na literatura do ensino de Ciências.*

Neste sentido, este artigo apresenta uma ampla revisão da literatura nacional e internacional e busca preencher uma lacuna existente na literatura sobre o tema publicada no Brasil.

Distinção entre Analogias e outras Similaridades e Recursos Didáticos

A relação entre Analogias e Modelos

Para compreender o que são as analogias no contexto da ciência e, a partir daí, pensá-las no ensino de Ciências, e de Química em particular, precisamos compreender também o que são modelos nesses contextos.

De um modo geral, podemos afirmar que, na ciência, modelos são representações parciais de entidades (objetos, eventos, processos ou ideias) elaborados com um objetivo específico (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000) e que estabelecem relações de similaridade com essas entidades (GIERE, 1988). Para Giere, é impossível estabelecer uma relação direta entre um conjunto de afirmações sobre o domínio representado (entidade) e o próprio domínio. Tal relação é de similaridade e *sempre indireta*, mediada pelos modelos que são análogos ao domínio representado. Assim, enquanto o tipo de correspondência que um modelo estabelece com o conjunto de afirmações que o caracterizam (as quais se reduzem à sua definição) é uma relação de verdade/falsidade, a relação entre o modelo e aquilo que ele representa, é de similaridade. A figura 1 representa esses relacionamentos.

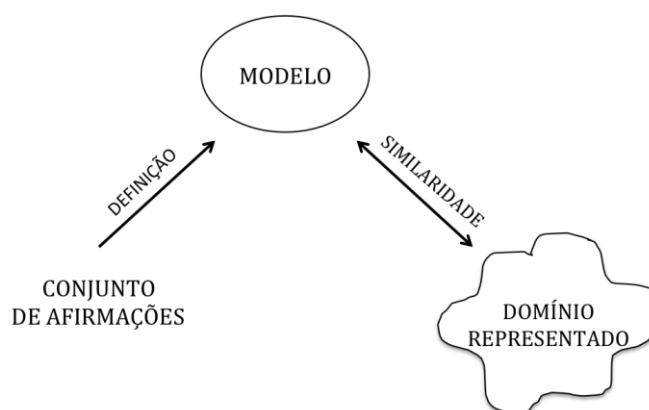


Figura 1: Representação do relacionamento entre um conjunto de afirmações sobre o modelo, o próprio modelo e aquilo que ele representa, adaptado de Giere (1988, p.83).

Duit (1991) também se fundamenta nessa ideia ao afirmar que o que faz um modelo ser um modelo são as relações analógicas que o originam. Estas são estabelecidas entre certos aspectos estruturais do domínio representado pelo modelo (alvo ou R_1 na figura 2) e do domínio análogo (R_2 na figura 2), familiar àquele que elabora o modelo. Portanto, de acordo com essa perspectiva, modelos são representações parciais e

estruturalmente análogas aos domínios comparados (modelo analógico ou R_M na figura 2) (DUIT, 1991), enquanto *analogias* são as relações de similaridade estabelecidas entre tais domínios³. Em outras palavras, enquanto os modelos são produtos de um raciocínio analógico (*processo*), as analogias são instrumentos para a elaboração desses modelos (isto é, constituem parte essencial do processo).

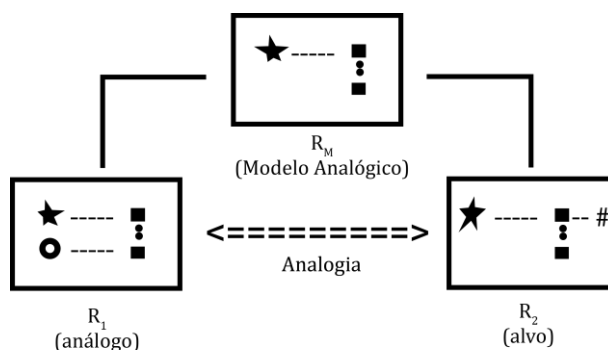


Figura 2: Adaptação do esquema de Duit (1991) sobre o significado de analogia.

No ensino de Ciências, considerando a complexidade dos modelos científicos ou de suas formas de representação, professores e autores de materiais didáticos desenvolvem simplificações dos mesmos: os chamados *modelos curriculares* (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000). Visando facilitar a compreensão dos estudantes sobre algum aspecto do modelo curricular, são elaborados *modelos de ensino*. Dado o seu objetivo, os modelos de ensino são muito utilizados no ensino de Química, em particular, e de Ciências, em geral, sendo que os mais comumente empregados são: os modelos concretos (3D); os desenhos, os gráficos e os diagramas (2D); as simulações; e as analogias (JUSTI, 2010).

Desse modo, as analogias podem ser consideradas modelos de ensino por possibilitarem aos professores e autores a expressão de ideias sobre os modelos curriculares, de forma a torná-los mais acessíveis aos estudantes (COLL, 2005). No entanto, não se deve perder de vista o *status processual do raciocínio analógico*, uma vez que a comparação de domínios semelhantes entre si – um familiar e outro desconhecido – envolve o estabelecimento e/ou a reinterpretção de relações analógicas (coerentes ou não com as almejadas pelo professor) que levam o estudante à elaboração de um modelo mental⁴.

Vale chamar a atenção para o fato de que a utilização do termo analogia em referência ao domínio análogo (DUIT, 1991) – por exemplo, analogia do sistema solar para o átomo de Bohr – deve ser pensada a partir do processo de estabelecimento de relações entre os domínios. Quando ocorre uma excessiva valorização do análogo no ensino de Ciências, ou seja, quando os professores restringem suas explicações a este

³ Apesar da ênfase atribuída por Gentner (1983; 1989) às relações que ela denomina de ordem superior, ou seja, relações de relações (como causais e matemáticas), consideramos que, no contexto do ensino de Ciências, as analogias são mais apropriadamente definidas como *comparações relacionais* independente do tipo de relação compartilhada entre os elementos nas estruturas dos domínios.

⁴ Representação cognitiva privada e pessoal, elaborada por um indivíduo por conta própria ou dentro de um grupo (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000), enquanto lida com uma tarefa de raciocínio específico (NERSESSIAN, 1999).

domínio, deixando que a analogia “fale por si mesma” (THIELE; TREAGUST, 1994), sem que as relações a serem estabelecidas sejam negociadas com os estudantes, existe um grande risco de que estes elaborem modelos mentais que não são coerentes com os modelos curriculares.

Definir as analogias – tanto na ciência, quanto no ensino de Ciências – como relações de similaridade entre domínios⁵ significa dizer que, quando as correspondências (processo conhecido como *mapeamento*) entre elementos (ou partes das estruturas) dos domínios alvo e análogo são estabelecidas, os atributos de objeto (propriedades descritivas como cor, tamanho, forma etc.) desses elementos são ignorados em prol da correspondência de relações (predicados relacionais) que eles estabelecem. Essas *relações advém do papel similar desempenhado pelos elementos nas estruturas dos domínios comparados* (GENTNER, 1983; 1989).

Analogias e Outras Similaridades e Recursos Didáticos

Como enfatizado anteriormente, as analogias se distinguem das demais similaridades e recursos didáticos por meio do tipo de correspondência estabelecida entre os domínios comparados e de sua explicitação.

Uma analogia que ilustra esses aspectos é a comumente estabelecida por professores de Química entre o modelo atômico de Bohr⁶ e o sistema solar. Neste caso, as inferências pretendidas dizem respeito, principalmente, à estrutura relacional comum aos domínios. Então, nesta comparação espera-se que relações como, por exemplo, as expressas no quadro 1, sejam mapeadas, enquanto um mapeamento de atributos como ‘o núcleo é amarelo (ou quente) como o sol’ seja ignorado.

Quadro 1: Mapeamento na analogia entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.

ALVO (Modelo atômico de Bohr)	MAPEAMENTO ⁷	ANÁLOGO (Sistema solar)
O elétron gira em torno do núcleo.	↔	Os planetas giram em torno do Sol.
O núcleo atrai os elétrons e é atraído por ele.	↔	O Sol atrai os planetas e é atraído por eles.
O fato de o núcleo atrair os elétrons faz com que os elétrons girem em torno do núcleo.	↔	O fato de o Sol atrair os planetas faz com que os planetas girem em torno do Sol.

⁵ A relações analógicas são simétricas, de forma que não há uma hierarquia entre o análogo e o alvo e que os conhecimentos sobre esses domínios se influenciam mutuamente (DUIT, 1991; DUIT; GLYNN, 1996).

⁶ Infelizmente, ainda é comum o estabelecimento errôneo da comparação entre o sistema solar e o modelo atômico de Rutherford. Nesta comparação, as órbitas elípticas dos planetas são colocadas em correspondência às “órbitas circulares percorridas pelos elétrons”, atributo que não condiz com aquele modelo atômico, mas com um “modelo híbrido” criado por autores de livros e professores a partir dos modelos de Rutherford e Bohr (JUSTI; GILBERT, 2000). Como esses autores alertam, o uso desses modelos no ensino pode levar a inúmeras concepções incorretas, inclusive com relação à natureza da ciência.

⁷ Neste artigo, as correspondências de relações são representadas com setas duplas preenchidas e as correspondências de atributos com setas com hachuras para diferenciar a profundidade dessas correspondências. As correspondências entre os elementos de cada domínio (por exemplo entre elétrons e planetas) serão omitidas para efeito de praticidade.

Outro tipo comum de comparação são as *similaridades literais*. Estas são estabelecidas quando tanto predicados relacionais quanto atributos de objetos são mapeados (GENTNER, 1983; 1989). Por exemplo, uma comparação entre a dissolução do açúcar e a dissolução do sal em água, na qual são mapeados atributos como o “desaparecimento” do soluto e a formação de uma solução líquida e relações como o balanço das interações em ambos os sistemas⁸, é uma similaridade literal (veja o esquema do mapeamento no quadro 2).

Quadro 2: Mapeamento na similaridade literal estabelecida entre a dissolução do açúcar e a dissolução do sal em água.

ALVO (Dissolução do açúcar)	MAPEAMENTO	ANÁLOGO (Dissolução do sal)
O açúcar “desaparece” na água.	◀ ▶	O sal “desaparece” na água.
Forma-se uma solução líquida.	◀ ▶	Forma-se uma solução líquida.
A interação açúcar-água é mais intensa do que as interações açúcar-açúcar e água-água.	↔	A interação sal-água é mais intensa do que as interações sal-sal e água-água.

As *comparações de mera aparência* constituem um outro tipo de comparação. Nelas o mapeamento é realizado, exclusivamente, a partir de correspondências de atributos de objetos (propriedades descritivas) (GENTNER, 1983; 1989). Por exemplo, se na comparação anterior apenas o desaparecimento do soluto e a formação da solução líquida forem colocados em correspondência (veja o esquema do mapeamento no quadro 3), teríamos uma comparação de mera aparência.

Quadro 3: Mapeamento na comparação de mera aparência estabelecida entre a dissolução do açúcar e a dissolução do sal em água.

ALVO (Dissolução do açúcar)	MAPEAMENTO	ANÁLOGO (Dissolução do sal)
O açúcar “desaparece” na água.	◀ ▶	O sal “desaparece” na água.
Forma-se uma solução líquida.	◀ ▶	Forma-se uma solução líquida.

Dos três tipos de comparações mencionados, as analogias possuem maior poder inferencial do que as similaridades literais e as comparações de mera aparência, nesta ordem (DUIT, 1991; DUIT; GLYNN, 1996). Isso significa que elas são mais fecundas do que as demais na elaboração de modelos mais abrangentes (aqueles que representam um maior número de aspectos do domínio alvo) devido à possibilidade de mapeamento de relações estruturais de ordem elevada (relações causais e matemáticas). Um exemplo deste tipo de relação é a relação causal que foi mapeada na comparação anterior entre o átomo de Bohr e o sistema solar: o fato de o núcleo atrair os elétrons *faz com que* os elétrons girem em torno do núcleo assim como o fato de o Sol atrair os planetas *faz com que* os planetas girem em torno do Sol. Entretanto,

⁸ Vale ressaltar que trata-se de uma relação, pois as naturezas das interações entre os solutos (sendo um molecular e o outro iônico) e destes com o solvente são diferentes.

esta relação causal não é um atributo suficiente para o sucesso do raciocínio analógico visto que, como comentado, ele depende grandemente da negociação de significados entre o professor e os estudantes.

Por exemplo: ao elaborar uma comparação do tipo “átomos se ligam como pessoas que se dão as mãos” (TAYLOR; COLL, 2008), o professor pode ter em mente o estabelecimento de uma analogia a partir dos mapeamentos entre a disposição dos átomos na estrutura e a disposição das pessoas de mãos dadas e entre a interação entre partículas submicroscópicas e a interação entre pessoas. No entanto, dificilmente o mapeamento ocorrerá no sentido almejado pelo professor se deixado completamente a cargo do estudante que inicia seus estudos sobre o tema. Neste caso, contato físico pode ser o atributo mapeado pelos estudantes (comparação de mera aparência), o que pode resultar em sérios problemas na compreensão do tema.

O estabelecimento de comparações de mera aparência pelos estudantes também pode ser resultado da interpretação inadequada de comparações comumente encontradas nos livros didáticos de Química ou apresentadas por professores em sala de aula, devido ao fato de estes não explicitarem ou solicitarem a explicitação do mapeamento. Um exemplo pode ser fornecido a partir da analogia estabelecida entre o modelo de Thomson e o pudim de passas. Trabalhos como os de Souza, Justi e Ferreira (2006) e Monteiro e Justi (2000) evidenciam o mapeamento de atributos incorretos entre os domínios análogo e o alvo (passas distribuídas *exclusivamente na superfície* do pudim como elétrons *exclusivamente na superfície* do átomo) por estudantes e pelos próprios autores de livros. Como consequência dessas elaborações, esses trabalhos também apontam a ausência de auxílio adequado aos estudantes no estabelecimento do mapeamento por parte de autores e professores⁹.

Como comentado no início desse trabalho, a literatura da área também pode contribuir para dificuldades dos estudantes pelo mesmo motivo. Quando comparações como aquela entre uma cebola cortada ao meio e o modelo atômico de Bohr (SILVA; TERRAZZAN, 2008) são apresentadas sem a devida discussão, estudantes podem colocar em correspondência a existência de camadas em ambos os domínios em lugar da relação de organização concêntrica nos sistemas e, neste caso, estabelecerem uma comparação de *mera aparência*.

Apesar do poder inferencial mais baixo das similaridades literais, de acordo com Gentner e Markman (1997), o que existe entre analogia e similaridade literal é de fato um *continuum* e não uma dicotomia. Psicologicamente falando, trata-se de um importante *continuum*, porque comparações de similaridade globais (de atributos e relacionais) são mais fáceis de serem notadas e mapeadas (especialmente para iniciantes) do que as comparações puramente analógicas, apesar de ambas serem regidas pelos mesmos princípios de mapeamento.

⁹ É importante destacar que o conhecimento de conteúdo do professor influencia no reconhecimento de relações e limitações adequadas de uma analogia. Por exemplo, no trabalho de Silva e Terrazan (2008), os autores parecem considerar pertinentes os apontamentos de um estudante das seguintes limitações na comparação entre o pudim de passas e o modelo de Thomson: as passas estariam imóveis no pudim, enquanto os elétrons estariam em movimento no modelo; e entre prótons e elétrons existe espaço vazio, enquanto entre as passas e a massa não. Isso é algo incoerente com as ideias que fundamentam o modelo de Thomson. Isto porque tal modelo não discute a questão da movimentação de elétrons e, muito menos, prevê a existência de prótons.

Além disso, como evidenciado por alguns de nossos trabalhos (MOZZER, 2013; MOZZER; JUSTI, 2009), sob orientação, a elaboração de similaridades literais pelos próprios estudantes pode evoluir à elaboração de analogias. Por exemplo, estudantes envolvidos em atividades de modelagem, inicialmente estabeleceram comparações entre a dissolução de um suco em pó e a dissolução do açúcar mapeando atributos e relações como aqueles constantes no quadro 2. Após participarem de discussões guiadas para revisão e reformulação de seus modelos, foram capazes de elaborar analogias nas quais mapearam relações entre interações de partículas e interações pessoais, sem que propriedades descritivas fossem destacadas.

Em contraste com as similaridades literais, comparações de mera aparência – ao compartilharem somente descrições de objetos, mas não relações entre os domínios – são o oposto de analogias. Por isso, tais combinações são nitidamente limitadas em sua utilidade preditiva. Apesar disso, elas devem ser levadas em consideração uma vez que, frequentemente, ocorrem entre crianças e outros iniciantes e, como comentado, podem interferir na aprendizagem dos mesmos. Quando expressas pelos estudantes, elas podem permitir ao professor acessar concepções inadequadas dos estudantes que, dificilmente, ele acessaria através de um questionamento direto (MOZZER; JUSTI; COSTA, 2011).

As metáforas também são comparações. Duas distinções essenciais, que também dizem respeito ao mapeamento, podem ser feitas entre as analogias e as metáforas: enquanto nas analogias existe uma identidade entre os elementos nos diferentes domínios e as relações entre eles são *explicitamente* mapeadas, nas metáforas a comparação é *implícita* e os atributos e relações não são coincidentes nos dois domínios. Por essa razão, se tomadas literalmente, metáforas como ‘átomos são sistemas solares’ constituem absurdos (AUBUSSON; HARRISON; RITCHIE, 2006; DUIT, 1991).

Refletindo sobre a importância que as conexões entre o análogo e o alvo assumem no uso eficiente de uma comparação no ensino de Ciências, o uso de metáforas nesse contexto se mostra limitado, a menos que seus aspectos relacionais implícitos, quando existentes, sejam explicitados. Neste caso, porém, metáforas se convertem em analogias. Assim, se a metáfora exemplificada anteriormente (‘átomos são sistemas solares’) for acompanhada de mapeamentos como os do quadro 1, isto é, se pensarmos que elétrons giram em torno do núcleo como planetas giram em torno do Sol, que o núcleo atrai os elétrons e é atraído por eles assim como o Sol atrai os planetas e é atraído por eles etc., ela passa a ser uma analogia.

Além das metáforas, existem outros “parentes” das analogias apontados por Duit e Glynn (1996) que se prestam aos mesmos objetivos: buscar facilitar o entendimento e/ou a explicação do não familiar a partir do familiar. Entre eles estão: as *alegorias*, que procuram explicar algo que vai além daquilo que os nossos sentidos são capazes de perceber, fazendo uso de imagens para este fim (por exemplo: a imagem de uma mulher de olhos vendados que representa a justiça); as *fábulas*, nas quais diferentes criaturas, como os animais, assumem o comportamento de seres humanos evidenciando algum comportamento moral (por exemplo: a fábula da cigarra e da formiga); e as *parábolas*, nas quais uma narração é utilizada para evocar outras realidades contendo ensinamentos, doutrinas de ordem superior (por exemplo: a parábola do semeador atribuída à Jesus). Todos esses “parentes” das analogias,

apresentam a mesma limitação apontada para as metáforas quando se trata do seu uso no ensino de Ciências.

Finalmente, é importante distinguir as analogias dos exemplos. Segundo Treagust, Duit e Joslin (1992), enquanto as analogias estabelecem explicitamente comparações entre partes de estruturas de um domínio não familiar e outro familiar, os exemplos, instâncias de um mesmo conceito (GLYNN, et al., 1989), servem para ilustrar as características desse conceito. Assim, quando a interação entre um soluto molecular polar e a água é mapeada para a interação entre um soluto iônico e a água, como na comparação entre a dissolução do açúcar em água e a do sal em água, temos uma analogia porque o que é comparado são as relações entre as partículas participantes dos sistemas. No entanto, se a dissolução do sal e a dissolução do açúcar são mencionadas como instâncias do processo de dissolução, elas são exemplos deste conceito.

As distinções entre as analogias e outras similaridades e entre as analogias e recursos didáticos apresentadas nessa seção assumem sua importância quando consideramos, como destacou Dagher (1995) que, mais significativo do que discutir a relevância ou não do uso das analogias no ensino de Ciências é considerar as condições a partir das quais elas podem se tornar úteis. Para isso, o primeiro passo é saber o que são e o que não são analogias (OLIVA, ARAGÓN, et al., 2001).

As Analogias e seu uso no Ensino de Ciências

Tipos de Analogias

Em consonância com Vosniadou (1989) e Vosniadou e Ortony (1989), consideramos que analogias e outros tipos de comparações podem ser estabelecidas tanto *entre domínios conceituais diferentes* quanto *dentro do mesmo domínio conceitual*. O que diferencia essas comparações é o tipo de mapeamento realizado entre os domínios (relacional e/ou perceptual). Assim, o exemplo da analogia entre o átomo de Bohr e o sistema solar é um caso de uma comparação *entre* domínios diferentes, enquanto que a similaridade literal e a comparação de mera aparência estabelecidas entre os processos de dissolução do açúcar e do sal são comparações *dentro* do mesmo domínio conceitual.

Outra classificação interessante e bastante conhecida é a que distingue as analogias quanto ao nível de enriquecimento. Ela foi elaborada por Curtis e Reigeluth (1984) a partir de uma pesquisa em livros didáticos de Ciências nos Estados Unidos. Esse sistema de classificação das analogias envolve três tipos:

- *analogias simples, nas quais a comparação é declarada sem que os fundamentos nos quais ela se baseia sejam explicitados. A interpretação desse tipo de comparação é deixada a cargo do estudante. Um exemplo é afirmar somente: 'energia de ativação é como um morro';*
- *analogias enriquecidas, nas quais o mapeamento é realizado de forma explícita, deixando claras as semelhanças entre os domínios e as limitações da analogia, ou seja, as características e propriedades não compartilhadas entre o análogo e o alvo e/ou as condições nas quais a analogia não se aplica. Por exemplo, a analogia simples entre a energia e ativação e o morro pode passar a ser enriquecida se a discussão com os*

estudantes for embasada em explicitações de mapeamentos como os apresentados no quadro 4.

No entanto, enriquecer uma analogia, de acordo com Harrison e Treagust (2006), vai além de dizer para o estudante quais são os fundamentos ou condições de uma analogia. Para os autores, isto significa trabalhar com os estudantes no sentido de que os mesmos compreendam que essas comparações dizem respeito a processos e funções dinâmicas (e, acrescentamos, sobretudo a relações) compartilhados pelos domínios, e não limitadas a propriedades descritivas;

- *analogias estendidas, que contêm um misto de mapeamentos simples e enriquecidos, ou todos os vários mapeamentos são enriquecidos. Nelas o análogo selecionado compartilha múltiplas similaridades com o alvo ou vários análogos são usados para descrever o mesmo alvo. Um exemplo é a analogia entre um sistema em equilíbrio químico e uma pessoa na escada rolante, explicitada no quadro 5.*

Quadro 4: Analogia estabelecida entre a energia de ativação e o carro conduzido no morro.

ALVO (Energia de ativação na reação)	MAPEAMENTO	ANÁLOGO (Carro conduzido no morro)
Altura da barreira de energia.	↔	Altura do morro.
Transposição da barreira de energia pelos reagentes.	↔	Direção de um carro pelo morro.
LIMITAÇÕES		
<ul style="list-style-type: none"> - Enquanto existe somente um carro, existe uma enorme quantidade de partículas de reagentes. - Carros se movimentam muito lentamente se comparados com às partículas submicroscópicas. - Carros mantêm as características químicas de sua estrutura ao transporem o morro, enquanto reagentes se transformam em novas substâncias (produtos). 		

A maior crítica às analogias estendidas pode ser relacionada ao seu maior benefício: as múltiplas similaridades mapeadas entre o análogo e o alvo. Caso as limitações não sejam devidamente discutidas, essa característica das analogias estendidas pode suscitar no estudante (e até no professor) as ideias de que um análogo pode ser uma “descrição verdadeira” do alvo; ou de que uma analogia pode “ensinar tudo” (HARRISON; TREAGUST, 2006). Assim, o “problema” não é a existência das limitações (que são inerentes à qualquer comparação), mas a não discussão das mesmas.

Uma alternativa às analogias estendidas pode ser o uso de analogias *múltiplas*. Neste caso, cada analogia é selecionada: (i) para representar um aspecto de determinado conceito que ela melhor explica e elas são apresentadas sequencialmente ou; (ii) para representar de maneiras diferentes o mesmo aspecto de um conceito (neste caso, apresentadas paralelamente) (HARRISON, 2008a). Para ilustrar a situação (i), no ensino de equilíbrio químico, poderíamos selecionar a analogia entre uma dança de casais na escola e a igualdade das velocidades das reações direta e inversa¹⁰ para representar

¹⁰ Essa analogia foi proposta por um professor participante da pesquisa realizada por Harrison e de Jong (2005). Nela, compara-se uma situação de baile colegial na qual 500 meninos e 500 meninas de olhos vendados dançam no ginásio da escola. Numa lateral do ginásio, existe uma ‘sala de compromissos’ que

um aspecto do estado de equilíbrio e, depois disso, a analogia entre a pessoa na escada rolante e a taxa de velocidade das reações direta e inversa para representar um sistema em equilíbrio que sofre uma pequena perturbação. Para ilustrar a situação (ii) poderíamos imaginar a comparação entre a proporção dos diâmetros do núcleo atômico e do átomo de hidrogênio com a proporção de uma bolinha de gude no centro do grande estádio de futebol e também com a proporção de uma formiguinha no centro de um grande parque. Isto seria feito sem nenhuma ordem específica, uma vez que ambas as comparações enfatizam o mesmo aspecto: a relação de proporcionalidade entre os tamanhos das entidades.

Quadro 5: Analogia estabelecida entre as taxas de velocidade das reações direta e inversa e uma pessoa andando em uma escada rolante (adaptação da analogia proposta por um professor de Química em THIELE; TREAGUST, 1994).

ALVO (Taxas de velocidade de reação)	MAPEAMENTO	ANÁLOGO (Pessoa na escada rolante)
Favorecimento da produção de reagentes ou produtos em uma reação no reestabelecimento do estado de equilíbrio.	\longleftrightarrow	Favorecimento do deslocamento ascendente ou descendente de uma pessoa que sobe uma escada rolante que está se movimentando no sentido da descida.
A velocidade da reação direta é maior do que a da inversa (resultando na formação de mais produtos).	\longleftrightarrow	A pessoa sobe uma escada rolante que está se movimentando no sentido da descida e aumenta sua velocidade nessa subida.
A velocidade da reação direta é menor do que a da inversa (resultando na formação de mais reagentes).	\longleftrightarrow	A pessoa sobe uma escada rolante que está se movimentando no sentido da descida e diminui sua velocidade nessa subida.
A velocidade da reação direta é maior do que a da inversa (resultando na formação de mais produtos).	\longleftrightarrow	A escada rolante diminui a sua velocidade em relação à velocidade da pessoa.
LIMITAÇÕES		
<ul style="list-style-type: none"> - Se a pessoa se encontrar parada na escada rolante, nenhum dos mapeamentos anteriores será válido. - Reagentes e produtos estabelecem um equilíbrio químico, enquanto o equilíbrio entre a pessoa e a escada rolante é físico. - Pessoas e escadas rolantes se movimentam unidirecionalmente se comparado ao movimento aleatório das partículas submicroscópicas. - Pessoas e escadas rolantes mantêm as características químicas de sua estrutura ao se movimentarem, enquanto reagentes e produtos passam por transformações químicas. 		

comporta a quantidade máxima de 250 casais. À medida que meninos e meninas se chocam, vão para sala de compromissos e tiram a venda para decidir se ficam juntos ou se desfazem o casal e saem da sala. Casais desfeitos saem, enquanto outros que se formaram entram.

O fato de que estudantes em uma sala de aula apresentam diferentes interesses e níveis de conhecimento prévio de um conceito pode ser beneficiado pelo uso de múltiplas analogias. Na ilustração anterior sobre o uso das diferentes analogias para o mesmo aspecto do conceito de átomo (a proporção núcleo-átomo), alguns estudantes poderiam se interessar por futebol e, portanto, se atentar para as dimensões do estádio, enquanto outros poderiam ser mais familiarizados com as dimensões de um parque. Por outro lado, estudantes que imaginam a existência de uma “resposta correta única” para a solução de problemas de Ciências podem se sentir confusos com tal uso (HARRISON; TREAGUST, 2006) e até mesmo questionarem o professor sobre qual comparação deveriam usar.

Formas de Expressão de Analogias

Duas formas de expressão são comuns para as analogias: verbal e verbal-visual. A primeira delas, a mais comum, é apresentada de forma oral (por professores e estudantes) ou escrita (por professores, estudantes ou pelos materiais didáticos impressos). A segunda caracteriza um misto das duas formas de expressão, isto é, as analogias verbais são acompanhadas de figuras, desenhos (por exemplo, ver figura 3) e diagramas esquemáticos (como os apresentados nos quadros 1 a 5 deste trabalho), com o intuito de aumentar a familiaridade do estudante com o análogo ou de permitir uma melhor visualização das relações almejadas.

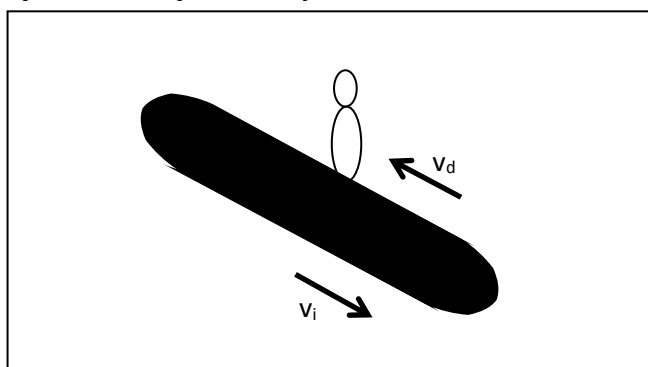


Figura 3: Desenho que acompanhou a analogia verbal estabelecida entre as taxas de velocidade das reações no equilíbrio químico e a pessoa na escada rolante (THIELE; TREAGUST, 1994).¹¹

A expressão verbal-visual também pode utilizar uma simulação como recurso. Um exemplo é a distribuição de balas por um professor em sala de aula como análogo à quantidade de calor fornecida a dois corpos da mesma substância e com massas diferentes, de forma a ocasionar uma mesma variação de temperatura. O análogo é simulado através da distribuição de 100 balas para vinte estudantes dos quarenta de uma turma. Cada um deles ganha 5 balas e o professor questiona a turma sobre a quantidade total de balas necessária para que toda a turma ganhe a mesma quantidade de balas que os primeiros vinte alunos. Neste caso, a igualdade na variação da temperatura nos dois corpos é colocada em correspondência à igual quantidade de balas distribuída para cada estudante; enquanto a relação entre a quantidade de calor fornecida e a massa do corpo (ou a quantidade de partículas) é colocada em correspondência com a relação entre a quantidade total de balas distribuída e o número de estudantes (adaptação da analogia proposta por GUIMARÃES; FONTE BOA, 2006, p.38).

¹¹ v_d : velocidade da reação direta; v_i : velocidade da reação inversa.

Outro recurso para a expressão verbal-visual das analogias é a dramatização. Neste caso, é frequente a dramatização de analogias antropomórficas – como aquela entre a energia de partículas submicroscópicas, como átomos e moléculas, e a movimentação entusiasmada de dançarinos acompanhando diferentes ritmos musicais, usada na simulação da mudança de estados físicos da matéria (TAYLOR; COLL, 2008). As principais vantagens desse recurso apontadas na literatura são: o engajamento dos estudantes na atividade; a motivação dos mesmos; o auxílio na recapitulação, entendimento e retenção de conceitos fundamentais; e a aprendizagem resultante (mas que é provocada mais pela negociação do discurso durante a atividade do que pela dramatização em si) (AUBUSSON; FOGWILL, 2006). No entanto, especial cuidado tem que ser tomado pelos professores ao se valerem de analogias antropomórficas para que concepções animistas não sejam desenvolvidas pelos estudantes, isto é, para que eles não pensem que partículas têm vontade e sentimento próprios (como as pessoas têm).

O Uso das Analogias

No ensino de Ciências, duas maneiras essenciais se destacam no uso das analogias: a apresentação destas pelo professor ou material instrucional e a sua elaboração pelos próprios estudantes. Ambas são discutidas nesta seção a partir de algumas iniciativas advindas das pesquisas na área. Todavia, antes de iniciarmos essa discussão, é importante destacar as condições de uso das analogias mais frequentemente apontadas na literatura como aquelas necessárias para que elas cumpram seu papel como modelos de ensino, isto é, para que elas contribuam para que o estudante entenda algum aspecto do conteúdo que está sendo discutido. São elas:

- *o análogo deve ser suficientemente familiar aos estudantes ou ter sua familiaridade aumentada por meio de discussões (DUIT, 1991; GLYNN, et al., 1989; THIELE; TREAGUST, 1994);*
- *o domínio alvo deve ser novo e/ou de difícil compreensão para os estudantes (DUIT, 1991; TREAGUST; HARRISON; VENVILLE, 1998);*
- *a analogia, sempre que possível, deve se apresentar em associação com uma representação visual do análogo, a qual deve ser explorada (GLYNN, et al., 1989; MONTEIRO; JUSTI, 2000; THIELE; TREAGUST, 1995);*
- *as limitações das analogias devem ser exploradas com os estudantes (GLYNN, 1991; OLIVA; ARAGÓN, 2009; THIELE; TREAGUST, 1994; VENVILLE, 2008);*
- *a apresentação ou elaboração de uma analogia deve ser sempre um processo guiado (DUIT, 1991; GLYNN, 1991; MOZZER, 2013; OLIVA; ARAGÓN, 2009; TREAGUST; HARRISON; VENVILLE, 1998).*

Buscando atender, senão todas, pelo menos a maioria dessas condições, três estratégias instrucionais de uso de analogias foram desenvolvidas e bem difundidas na literatura: o modelo TWA (*“Teaching with Analogies”*) desenvolvido por Glynn (1991); o Guia FAR (*“Focus-Action-Reflection”*), desenvolvido por Treagust, Harrison e Venville (1998) e Analogias ponte (*“Bridging Analogies”*) elaborada por Clement e colaboradores (BROWN; CLEMENT, 1989; CLEMENT, 1993).

No TWA, Glynn enfatiza a necessidade de um acompanhamento mais de perto, por parte do professor, quando este propõe uma analogia em uma situação de ensino. Neste sentido, seu modelo contém orientações divididas nos seguintes estágios:

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 similaridades;*
5. *Tirar conclusões sobre o alvo;*
6. *Indicar as limitações da analogia.*

Glynn alerta para o fato de que, embora a ordem em que os estágios serão realizados possa variar (especialmente os estágios 2 e 3 que podem ocorrer antes do 1 e os estágios 5 e 6 que podem ocorrer em ordem inversa), é de fundamental importância o cumprimento de todos eles para que as compreensões inadequadas que podem ser originadas de um raciocínio analógico não guiado sejam minimizadas.

O número de passos dessa proposta é o alvo da principal crítica de Harrison e Treagust (2006). Esses advertem que, em uma situação real e dinâmica de sala de aula, professores podem se esquecer de implementar um ou mais passos. Com base em pesquisas realizadas com professores em salas de aula e a partir de diferentes temas (por exemplo, TREAGUST; DUIT; JOSLIN, 1992; HARRISSON; TREAGUST, 1993), Treagust, Harrison e Venville (1998) propuseram o guia FAR. Ele, é constituído de três estágios para melhorar a apresentação e interpretação das analogias e cada um deles pode conjugar planejamento por parte do professor e pesquisa-ação. Os objetivos de cada um desses estágios são:

- *Foco: estar certo daquilo que os estudantes sabem e do objetivo do uso da analogia (O conceito alvo é difícil, pouco familiar ou abstrato?; O que os estudantes já conhecem sobre ele?; O análogo é familiar aos estudantes?);*
- *Ação: assegurar-se de que os estudantes são familiares com o análogo e garantir espaço para discussão das similaridades e das diferenças entre os domínios;*
- *Reflexão: refletir sobre a utilidade da analogia perante o objetivo de ensino e os resultados alcançados (A analogia foi clara e útil ou foi confusa?; Foi possível alcançar os resultados almejados? À luz desses resultados, existe alguma mudança que poderia ou necessitaria ser realizada da próxima vez que a analogia for usada?).*

Outra estratégia instrucional envolvendo analogias bastante conhecida é a “Bridging Analogies” elaborada por Clement e colaboradores (BROWN; CLEMENT, 1989; CLEMENT, 1993). Ela foi elaborada com base em estudos sobre concepções alternativas dos estudantes e buscando tirar proveito das intuições físicas válidas dos estudantes através da proposição de um domínio análogo (a que os autores chamam de âncora) que seja intuitivamente entendido pela maioria dos estudantes.

Apesar da preocupação com a familiaridade dos estudantes pelo análogo, Clement e seus colaboradores são conscientes de que a relação analógica que aquele estabelece com o alvo nem sempre é imediatamente compreendida/estabelecida. Levando esse outro aspecto em consideração, os autores apontam a proposição um análogo intermediário (analogia ponte) – ou de uma série deles, os quais se relacionam uns aos outros – como uma alternativa para minimizar o grande “salto” de conhecimento que pode existir entre o domínio análogo e o domínio alvo almejado. Na transição da âncora para o alvo, são estabelecidas sucessivas discussões (como se estivessem sendo estabelecidas várias pontes), isto é, através de um processo de solução contínua que visa engajar o estudante no processo de raciocínio analógico.

A estratégia de analogias ponte pode ser exemplificada a partir do estudo de caso relatado por Clement e Brown (2008) e esquematizado na figura 4. O estudante entrevistado por um dos autores, para o qual a mesa não exerceria qualquer força sobre o livro (concepção comum entre os estudantes), é apresentado à âncora (livro sobre a mola). Para ele, a mola comprimida pelo livro exerceria uma força para cima, enquanto o mesmo não se aplicaria ao alvo (situação representada pela linha pontilhada na figura 4). Uma situação ponte (livro sobre uma mesa flexível) é proposta, levando o estudante a refletir sobre a âncora e a ponte. A partir da discussão, o estudante compreende que as situações são análogas (situação representada pela linha cheia que conecta a âncora e a ponte na figura 4), porque em ambas existe compressão ou dobramento e uma tendência de retorno à situação de equilíbrio. A discussão também é responsável pelo fato de o estudante passar a visualizar a mesa como uma tábua flexível que dobraria de maneira imperceptível (situação representada pela linha cheia que conecta a ponte ao alvo na figura 4).

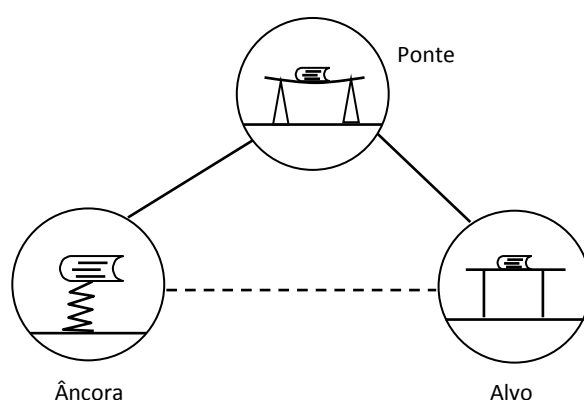


Figura 4: Diagrama que representa uma estratégia “Bridging analogies” para a compreensão do domínio alvo “força normal”¹² (CLEMENT; BROWN, 2008, p.140).

O modelo TWA, o guia-FAR e “Bridging analogies” são estratégias instrucionais úteis quando se trata de apresentar as analogias aos estudantes e auxiliá-los em sua (re)interpretação das mesmas. A principal qualidade compartilhada por todas elas está no fato de se tentar garantir que os estudantes estabeleçam as relações analógicas almejadas pelo professor. Além disso, as duas primeiras também tentam explicitamente garantir que os estudantes não façam extrapolações inadequadas, ou seja, que sejam capazes de enxergar as limitações da analogia. O guia FAR ressalta também o caráter reflexivo do processo de ensino, destacando a importância de o professor refletir *para, na e sobre* a utilização das analogias como ferramentas didáticas.

Apesar dessas qualidades inegáveis, esses modelos conservam o principal aspecto que julgamos negativo na maioria das iniciativas: a ênfase no fornecimento do domínio análogo ao estudante (paradigma da *recepção*). Os autores do TWA e os do guia FAR mencionam a possibilidade de seus modelos serem utilizados também em situações de elaboração de analogias pelos próprios estudantes, mas ainda não existem trabalhos sobre como os estágios propostos funcionariam em, ou seriam adaptados para, essa situação.

¹² As linhas pontilhadas indicam a rejeição inicial ou incerteza da relação analógica, enquanto as linhas cheias, indicam a aceitação da relação analógica.

Além da possibilidade de pouca (ou nenhuma) familiaridade com o análogo ou de o análogo não “despertar” a ideia adequada nos estudantes que mesmo as discussões propostas nas estratégias podem não conseguir contornar, o principal problema do *uso exclusivo* das analogias prontas, no nosso ponto de vista, é a limitação da criatividade do estudante e da participação do mesmo na construção do seu conhecimento na área.

Atualmente, existem poucos estudos sobre estudantes utilizando analogias espontaneamente ou elaborando suas próprias analogias. Esses poucos estudos conduzidos nessas perspectivas (por exemplo, KAUFMAN; PATEL; MAGDER, 1996; MOZZER; JUSTI, 2012; PITTMAN, 1999; WONG, 1993) evidenciam o que foi afirmado por Oliva e colaboradores:

[...] se os estudantes são instruídos a criar, aplicar e modificar suas próprias analogias – em oposição à mera aplicação de analogias específicas apresentadas por outrem – contribui-se positivamente à auto-regulação de suas explicações sobre os fenômenos científicos e, em geral, o avanço na compreensão conceitual dos fenômenos científicos é favorecido (OLIVA et al., 2001, p.457).

Em consonância com essas ideias, resultados de pesquisas como as mencionadas no parágrafo anterior nos fornecem apoio empírico para a crença de que o envolvimento dos estudantes no processo de criação de suas próprias analogias pode estimular novas inferências e *insights*. Ademais, múltiplas relações podem ser percebidas e discutidas, favorecidas pela diversidade de domínios análogos que podem coexistir em uma atividade de elaboração de analogias em sala de aula.

Em nossos trabalhos atuais (MOZZER, 2013; MOZZER; JUSTI; COSTA, 2011) temos investigado a conjugação entre atividades de elaboração de analogias pelos estudantes e atividades de modelagem fundamentadas no diagrama ‘Modelo de Modelagem’ de Justi e Gilbert (2002). Outra iniciativa de conjugar modelagem e analogia advém dos trabalhos de Oliva e seus colaboradores (ARAGÓN; OLIVA, 2013; OLIVA, 2014; OLIVA; ARAGÓN, 2009). Esses autores apontam para pesquisas futuras a serem realizadas por seu grupo com relação à elaboração de analogias e modelos pelos próprios estudantes, mas ainda se concentram na exploração do entendimento dos estudantes a partir de analogias previamente elaboradas por seus professores.

Apesar das diferenças no enfoque, essas duas linhas de pesquisa compartilham da perspectiva da modelagem como um processo dinâmico e não linear que envolve quatro etapas complexas: a produção de um modelo mental; a expressão desse modelo em um modo de representação (verbal, gestual, 3D, 2D etc.); os testes do modelo (empíricos ou mentais); e a avaliação da abrangência e limites desse modelo. Em contextos de ensino, as atividades de modelagem constituem um conjunto de atividades didáticas que buscam envolver os estudantes em todas essas etapas.

Nossas investigações (MOZZER, 2013; MOZZER; JUSTI; COSTA, 2011) com estudantes elaborando suas analogias no processo de modelagem têm evidenciado que tal conjugação pode favorecer:

- *a expressão e comunicação de ideias: a partir de solicitações para que estudantes expressem suas analogias em algum modo (verbal, material, gestual ou através de uma combinação destes);*

- *a negociação de significados: a partir de solicitações pelo professor e/ou pares de esclarecimentos sobre o significado das ideias dos estudantes e dos códigos utilizados na expressão de suas analogias ou dos questionamentos sobre a coerência dessas ideias de base;*
- *a revisão de representações: a partir das ocasiões fornecidas pelas solicitações e questionamentos para que os estudantes (re)elaborem suas analogias e modelos analógicos;*
- *a identificação de limitações: a partir de solicitações explícitas de identificação ou da exposição a situações que os permitam determinar o limite de validade das relações analógicas.*

Esses aspectos estão intimamente relacionados com a prática da própria ciência e, nesse sentido, um ensino de Ciências através da elaboração de analogias sob tal perspectiva pode ser considerado autêntico.

Discussão Geral

Na perspectiva da literatura revista nesse trabalho, consideramos que o potencial das analogias como ferramentas didáticas e investigativas depende da compreensão da natureza das similaridades envolvidas, da explicitação destas e do uso que se faz dessas comparações nos processos de ensino e aprendizagem.

No que diz respeito à primeira condição, faz-se necessário que as analogias sejam compreendidas como comparações relacionais em oposição às comparações entre atributos de objeto (propriedades descritivas). Com relação à segunda condição, o mapeamento, um subprocesso do raciocínio analógico, deve ser realizado ou orientado de forma explícita. Essa é a única forma de identificarmos o tipo de comparação estabelecida (mera aparência, similaridade literal, analogias, ou algum outro tipo). Além disso, o conhecimento das características e/ou propriedades que estão sendo mapeadas entre os domínios análogo e alvo e o conhecimento sobre os próprios domínios são requisitos que nos permitem avaliar uma comparação e identificar suas possíveis limitações – algo essencial para a compreensão do caráter parcial dos modelos de ensino e da ciência. No que concerne à condição de uso dessas comparações, seja via apresentação ou via elaboração, é essencial garantir a participação ativa do estudante na negociação e construção de significados (BROWN; CLEMENT, 1989) em um processo mediado pelo professor.

Esse importante papel atribuído ao professor no processo de ensino com analogias ressalta a necessidade do desenvolvimento de seu conhecimento em duas vertentes inter-relacionadas e distintas:

- *conhecimento de conteúdo, para que o professor seja capaz de compreender e selecionar adequadamente aspectos do domínio alvo (modelo curricular) que serão representados na analogia; e*
- *conhecimento pedagógico de conteúdo, para que as analogias sejam adequadamente utilizadas por eles como modelos de ensino dos quais podem lançar mão para facilitar o entendimento dos estudantes dos aspectos do domínio alvo.*

No desenvolvimento desses conhecimentos, devida atenção precisa ser dada às analogias na formação do professor de Ciências, pois, como observou Venville (2008), a grande maioria dos professores dessa área não recebe nenhum treinamento *formal* no uso de analogias. Isso contribui decisivamente para que seu uso ineficaz seja uma constante.

Além disso, pelo fato de os fundamentos dessa revisão serem coerentes com o significado atribuído pelos cientistas às analogias (comparações relacionais) e com uso que eles fazem delas (na resolução de problemas, no desenvolvimento de seus modelos mentais, na explicação e na comunicação de conceitos abstratos da ciência), acreditamos também poder contribuir para que pesquisas sobre analogias e raciocínio analógico realizadas na área do ensino de Ciências no Brasil sejam estabelecidas a partir dos fundamentos do uso das mesmas na ciência. Isso porque, como destacado por Harrison (2008b), as analogias são importantes ferramentas de pensamento no ensino de Ciências, porque também o são na ciência. Essa fundamentação é uma condição necessária para que tais pesquisas possam subsidiar uma efetiva ação docente no ensino de Ciências com analogias.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq.

Referências

ARAGÓN, M.M.; OLIVA, J.M. Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogias. **Enseñanza de las Ciencias**, vol.31, n.2, p.9-30, 2013.

ARAGÓN, M.M.; OLIVA, J.M.; NAVARRETE, A. Contributions of learning through analogies to the construction of secondary education pupils' verbal discourse about chemical change. **International Journal of Science Education**, vol.36, n.12, p.1960-84, 2014. Acesso em 07 de março de 2014. Doi: 10.1080/09500693.2014.887237.

AUBUSSON, P.J.; FOGWILL, S. Role play as analogical modelling in science. In: AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.M. (Orgs.). **Metaphor and Analogy in Science Education**. Dordrecht: Springer. 2006. p.93-104.

AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.. Metaphor and analogy: serious thought in science education. In: AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.M. (Orgs.). **Metaphor and Analogy in Science Education**. Dordrecht: Springer. 2006. p.1-9.

ERNARDINO, M.A.D.; RODRIGUES, M.A.; BELLINI, L. M. Análise crítica das analogias do livro didático público de química no estado do Paraná. **Ciência & Educação**, vol.19, n.1, p.135-150, 2013.

BLANCHETTE, I.; DUNBAR, K. How analogies are generated: the roles of structural and superficial similarity. **Memory & Cognition**, vol.28, n.1, p.108-124, 2000.

BLANCHETTE, I.; DUNBAR, K. Representational change and analogy: how analogical inferences alter target representations. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition**, vol.28, n.4, p.672-685, 2002.

BOZELLI, F.C.; NARDI, R. Explicação no ensino de Física: o uso de analogias em sala de aula por licenciandos. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). Florianópolis, 2007. MORTIMER, E.; PINHO ALVES, J. (Orgs.) **Atas...** Florianópolis: ABRAPEC, 2007. (CD-ROM).

BROWN, D. E.; CLEMENT, J. Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. **Instructional Science**, vol.18, n.4, p.237-261, 1989.

CLEMENT, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with student's preconceptions in physics. **Journal of Research in Science Teaching**, vol.30, n.10, p.1241-47, 1993.

CLEMENT, J.; BROWN, D.E. Using analogies and models in instruction to deal with students' preconceptions. In: CLEMENT, J. (Org.). **Creative Model Construction in Scientists and Students: The role of imagery, analogy and mental simulations**. Dordrecht: Springer. 2008. p.139-155.

COLL, R.K. The role of models/and analogies in science education: Implications from research. **International Journal of Science Education**, vol.27, n.2, p.183-198, 2005.

CURTIS, R.V.; REIGELUTH, C.M. The use of analogies in written text. **Instructional Science**, vol.13, n.2, p.99-117, 1984.

DA ROSA, S.; PIMENTEL, N.L.; TERRAZZAN, E.A. O uso de analogias em um livro didático destinado ao ensino de química de grau médio. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). Florianópolis, 2007. MORTIMER, E.; PINHO ALVES, J. (Orgs.) **Atas...** Florianópolis: ABRAPEC, 2007. (CD-ROM).

DAGHER, Z. R. Does the use of analogies contribute to conceptual change? **Science Education**, vol.78, n.6, p.601-614, 1994.

DAGHER, Z.R. Analysis of analogies used by science teachers. **Journal Research in Science Teaching**, vol.32, n.3, p.259-270, 1995.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, vol.75, n.6, p.649-672, 1991.

DUIT, R.; GLYNN, S.M. Mental modelling. In: WELFORD, G.; OSBORNE, J.; SCOTT, P. (Orgs.). **Research in Science Education in Europe: Current issues and themes**. London: Falmer. 1996. p.166-176.

DUIT, R.; ROTH, W.M.; KOMOREK, M.; WILBERS, J. Fostering conceptual change by analogies between Scylla and Charybdis. **Learning and Instruction**, vol.11, p.283-303, 2001.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. O uso espontâneo de analogias por professores de biologia: observações da prática pedagógica. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, vol.4, n.2, p.1-15, 2002.

FERRY, A.S.; NAGEM, R.L. Analogias & contra-analogias: uma proposta para o ensino de ciências numa perspectiva bachelardiana. **Experiências em Ensino de Ciências**, vol.3, n.1, p.7-21, 2008.

GENTNER, D. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. **Cognitive Science**, vol.7, n.2, p.155-170, 1983.

GENTNER, D. The mechanisms of analogical learning. In: Vosniadou, S.; Ortony, A. (Orgs.). **Similarity and Analogical Reasoning**. Cambridge: Cambridge University Press. 1989. p. 199-241.

GENTNER, D.; MARKMAN, A.B. Structure mapping in analogy and similarity. **American Psychologist**, vol.52, n.1, p.45-56, 1997.

GICK, M.L.; HOLYOAK, K.J. Schema induction and analogical transfer. **Cognitive Psychology**, vol.15, p.1-38, 1983.

GIERE, R.N. **Explaining Science: A cognitive approach**. Chicago and London: University of Chicago Press., 1988.

GILBERT, J.; BOULTER, C.; ELMER, R. Positioning models in science education and in design and technology education. In: Gilbert, J.; Boulter, C. (Orgs.), **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p.3-17.

GLYNN, S.M. Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In: GLYNN, S.M.; YEARNY, R.H.; BRITTON, B.K. (Orgs.). **The Psychology of Learning Science**. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1991. p.219-240.

GLYNN, S.M.; BRITTON, B.K.; SEMRUD-CLIKEMAN, M.; MUTH, K.D. Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In: GLOVER, J.; RONNING, R.; REYNOLDS, C. (Orgs.). **Handbook of Creativity: Assessment, research and theory**. New York: Plenum Press. 1989. p.383-398.

GUIMARÃES, L.A.M.; FONTE BOA, M.C. **Física: Termologia e Óptica**. Niterói: Galera Hiperídia, 2006.

HARRISON, A.G. Multiple analogies are better than one-size-fits-all analogies. 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**. California: Corwin. 2008a. p.46-65.

_____. 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**. California: Corwin. 2008b. p.6-21.

HARRISON, A.G.; DE JONG, O. Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching**, vol.42, n.10, p.1135-59, 2005.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Teaching and learning with analogies: friend or foe? In: AUBUSSON, P.J.; Harrison, A.G.; Ritchie, S.M. (Orgs.). **Metaphor and Analogy in Science Education**. Dordrecht: Springer. 2006. p.11-24.

_____. Teaching with analogies: A case study in grade 10 optics. **Journal Research in Science Teaching**, vol.30, n.10, p.1291-1307, 1993.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. **Mental leaps: Analogy in creative thought**. Cambridge: Bradford, 1995.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: DOS SANTOS, W.L.P.; MALDANER, O.A. (Orgs.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Unijuí. 2010.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'. **International Journal of Science Education**, vol.22, n.9, p.993-1009, 2000.

- JUSTI, R.; GILBERT, J. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, vol.24, n.4, p.369-387, 2002.
- KAUFMAN, D.R.; PATEL, V.L.; MAGDER, S.A. The explanatory role of spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. **International Journal of Science Education**, vol.18, n.3, p.369-386, 1996.
- MENDONÇA, P.C.C.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M.M. Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, vol.6, n.1, p.35-54, 2006.
- MONTEIRO, I.G.; JUSTI, R. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, vol.5, n.2, p.48-79, 2000.
- MOZZER, N. B. **O entendimento conceitual do processo de dissolução a partir da elaboração de modelos e sob a perspectiva da Teoria de Campos Conceituais**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- MOZZER, N.B.; JUSTI, R. Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). Florianópolis, 2009. MORTIMER, E.; PINHO ALVES, J. (Orgs.) **Atas...** Florianópolis: ABRAPEC, 2009. (CD-ROM).
- MOZZER, N.B.; JUSTI, R. Students' pre- and post-teaching analogical reasoning when they draw their analogies. **International Journal of Science Education**, vol.34, n.3, p.429-458, 2012.
- MOZZER, N.B.; JUSTI, R. Science teachers' analogical reasoning. **Research in Science Education**, vol.43, n.4, p.1689-1713, 2013.
- MOZZER, N.B.; JUSTI, R.; COSTA, P.P. Students' analogical reasoning when participating in modelling-based teaching activities. In: BRUGUIÈRE, C.; TIBERGHEN, A.; CLÉMENT, P. (Orgs.). **E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship**. Lyon, França: European Science Education Research Association.2011. p.764-769.
- NAGEM, R.L.; FIGUEROA, A.M.S.; CARVALHO, E.M. Metodologia de ensino com analogias: um estudo sobre a classificação dos animais. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Bauru, 2003. NARDI, R.; BORGES, O. (Orgs.). **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2003. (CD-ROM).
- NERSESSIAN, N.J. Model-based reasoning in conceptual change. In MAGNANI, L.; NERSESSIAN; N.J.; THAGARD, P. (Orgs.). **Model-based Reasoning in Scientific Discovery**. New York: Academic Plenum Publishers, 1999. p.5-22.
- OLIVA, J.M. Rutinas y guiones del profesorado de ciencias ante el uso de analogias como recurso de aula. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, vol.2, n.1, p.31-44, 2003. Disponível em <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen2/REEC_2_1_2.pdf>. Acesso em 09 de janeiro de 2014.

OLIVA, J.M.; ARAGÓN, M.M. Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: Marco teórico. **Enseñanza de las Ciencias**, vol.27, n.2, p.195-208, 2009.

OLIVA, J. M.; ARAGÓN, M. M.; MATEO, J.; BONAT, M. Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, vol.19, n.3, p.453-470, 2001.

OLIVA, J.M.; ARAGÓN, M.M.; MATEO, J.; BONAT, M. Cambiando las concepciones y creencias del profesorado de ciencias en torno al uso de analogías. **Revista Iberoamericana de Educación** vol.4, n.1, p.1-10, 2001. Disponível em <http://aufop.com/aufop/uploaded_files/articulos/1227733146.pdf>. Acesso em 09 de janeiro de 2014.

PITTMAN, K.M. Student-generated analogies: another way of knowing. **Journal of Research in Science Teaching**, vol.36, n.1, p.1-22, 1999.

RIBEIRO, P.R.S.; BARRETO, S.R.G. *Desenvolvimento de analogia para a aprendizagem do conceito de solução eletrolítica*. In: XLVII Congresso Brasileiro de Química. Natal, 2007. **Atas...** Natal: ABQ, 2007.

SILVA, L.L.; GAZOLA, C.D.; TERRAZZAN, E.A. O uso de analogias no ensino de óptica: uma experiência em andamento. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), Bauru, 2003. NARDI, R.; BORGES, O. (Orgs.). **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2003. (CD-ROM).

SILVA, L.L.; TERRAZZAN, E.A. Correspondências estabelecidas e diferenças identificadas em atividades didáticas baseadas em analogias para o ensino de modelos atômicos. **Experiências em Ensino de Ciências**, vol.3, n.2, p.21-37, 2008.

SILVA, L.L.; TERRAZZAN, E.A. Familiaridade de alunos de ensino médio com situações análogas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol.26, n.1, p.145-172, 2009.

SOUZA, V.C.A.; JUSTI, R.; FERREIRA, P.F.M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Investigações em Ensino de Ciências**, vol.11, n.1, p.7-28, 2006.

TABER, K.J.; WATTS, M. The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding. **International Journal of Science Education**, vol.18, n.5, p.557-568, 1996.

TAYLOR, N.; COLL, R.K. Using analogies to increase student interest in science. 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**. California: Corwin, 2008. p.32-45.

THIELE, R.B.; TREAGUST, D.F. Using analogies in secondary chemistry teaching. **Australian Science Teachers Journal**, vol.37, p.10-14, 1991.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. **Journal of Research in Science Teaching**, vol.31, n.3, p.227-242, 1994.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. Analogies in chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, vol.17, n.6, p.783-795, 1995.

- TREAGUST, D.F.; DUIT, R.; JOSLIN, P. Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. **International Journal of Science Education**, vol.14, n.4, p.413-422, 1992.
- TREAGUST, D.F.; HARRISON, A.G.; VENVILLE, G.J. Teaching science effectively with analogies: an approach for pre-service and in-service teacher education. **Journal of Science Teacher Education**, vol.9, n.1, p.85-101, 1998.
- VENVILLE, G.J. The focus-action-reflection (FAR) guide - Science teaching analogies. 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**. California: Corwin, 2008. p.22-31.
- VOSNIADOU, S. Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In: VOSNIADOU, S.; ORTONY, A. (Orgs.). **Similarity and Analogical Reasoning**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p.413-437.
- VOSNIADOU, S.; ORTONY, A. Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In: VOSNIADOU, S.; ORTONY, A (Orgs.), **Similarity and Analogical Reasoning**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p.199-241.
- WILBERS, J.; DUIT, R. Post-festum and heuristic analogies. In: AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.M. (Orgs.). **Metaphor and Analogy in Science Education**. Dordrecht: Springer, 2006, p.37-49.
- WONG, E.D. Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. **Journal of Research in Science Teaching**, vol.30, n.10, p.1259-72, 1993.
- ZAMBON, L.B.; TERRAZZAN, E.A. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol.35, n.1, p.1505-1-1505-9, 2013.

Recebido em março de 2014, aceito para publicação em julho de 2014.